UNIVERSITÉ AIX-MARSEILLE I – Université de Provence
Département d'Histoire de l'Art et Archéologie (UFR Civilisations et Humanités)

N° attribué par la bibliothèque :

THÈSE
Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ AIX-MARSEILLE I
Formation doctorale : Espaces, Cultures et Sociétés

présentée et soutenue publiquement
par Vanessa PY
le 3 décembre 2009

Titre :

MINE, BOIS ET FORÊT DANS LES ALPES DU SUD AU MOYEN AGE

Approches archéologique, bioarchéologique et historique

Volume II

Directeur de thèse :
M. Michel FIXOT
Codirectrice :
Mme Aline DURAND

JURY :
M. Mathieu ARNOUX (rapporteur)
Mme Marie-Christine BAILLY-MAÎTRE
M. Philippe BRAUNSTEIN (rapporteur)
Mme Béatrice CAUUET
Mme Brigitte TALON

Le deuxième volume s'articule en deux parties. La première porte sur la haute montagne minière et agropastorale de Freissinières. Elle concerne l'étude archéologique et anthracologique des mines de Fangeas-Faravel et retrace l'histoire de l'activité. Elle décrit l'organisation des espaces de travail, la dynamique opératoire. La forêt artisanale est restituée au crible des charbons de bois miniers. Le bois dans la mine et pour la mine occupe un second volet. Ses images, sa mise en scène, ses descriptions, ses vestiges archéologiques, sont étudiés et confrontés. Un troisième volet est consacré à l'analyse dendrologique et morpho-technologique de l'exceptionnel matériel ligneux de Fangeas. Elle conduit à une description détaillée des étapes de la chaîne opératoire technique du bois, dans la forêt jusque dans la mine, avec ses gestes, ses outils. Le dernier volet replace l'activité minière au sein d'une dynamique générale de mise en valeur du milieu. Il soulève le problème de sa relation et de ses interactions avec l'agrosylvopastoralisme dans un territoire de haute montagne excentré. La dernière partie rassemble des éléments pour écrire une histoire culturelle du feu minier, des pratiques et des gestes techniques. L'étude croisée des sources écrites et anthropologiques, des processus de combustion, du comportement du bois au feu, des données de l'expérimentation sérielle, dégage les traits forts du mode opératoire de l'extraction par le feu au Moyen Âge.

TABLE DES MATIÈRES DU VOLUME II

TROISIEME PARTIE ..... : LA HAUTE MONTAGNE ARTISANALE ET AGROPASTORALE MEDIEVALE : L'EXEMPLE DE FARAVEL-FANGEAS DANS LA MONTAGNE DE DORMILLOUSE (FREISSINIERES, 05)..... 539

I. ETUDE ARCHEOLOGIQUE ET ANTHRACOLOGIQUE DU SECTEUR MINIER DE *FARAVELLUM* 543

I.1. CADRE DE L'ÉTUDE - PROBLÉMATIQUES GÉNÉRALES..... 543

I.1.1. Historique des recherches et cadre scientifique 543

Les prospections thématiques de 1992 543

Les raisons de la mise en place d'une fouille programmée 544

I.1.2. Données toponymiques, ethnographiques et historiques 548

Les marmites de cuivre et la mine de *Faravellum* 548

Histoire de la vallée 549

I.1.3. Les conditions naturelles 551

Géographie et biogéographie 551

Géologie et gîtologie 555

I.2. CARACTÉRISATION ARCHÉOLOGIQUE DES OUVRAGES MINIERS ÉCHELONNÉS ENTRE 1970 ET 2100 MÈTRES D'ALTITUDE 561

I.2.1. Quartier de Faravel 562

Faravel I 562

Le versant est : des travaux superficiels peu étendus 562

Le versant ouest : une exploitation plus dense 567

Faravel II 572

I.2.2. Quartier de Fangeas 579

Les ouvrages de recherche 579

La Grande Fosse et ses abords 585

Le Grand Puits et ses abords 589

I.2.3. Quartier du Réseau de la Cascade 595

I.3. ANALYSE DES REMBLAIS MINIERS ET DES REMPLISSAGES, DYNAMIQUE OPÉRATOIRE ET CHRONOLOGIE DE L'EXPLOITATION 600

I.3.1. Étude des remplissages des ouvrages de Faravel I 600

Halde Supérieure (versant ouest) 600

Tranchée Amont (versant ouest) 603

Fosse ouest (versant ouest) 606

Galerie 3 (versant est) 613
I.3.2. Les remplissages des ouvrages de Faravel II 617
Tranchée Supérieure 617
Tranchée Moyenne 620
La Tranchée Inférieure 624
I.3.3. Les remplissages des ouvrages de Fangeas 627
La Galerie de Recherche de la Grande Fosse 627
La Grande Fosse 627
Les remplissages 627
Le plancher boisé 636
Les enchevêtrements de bois 642
Dynamique opératoire 643
Le Grand Puits et ses abords 646
La fosse du Grand Puits 646
Fouille des déblais de surface 652
I.3.4. Synthèse 664

I.4. ANALYSE ANTHRACOLOGIQUE DES DÉPÔTS CARBONISÉS 669
I.4.1. L'échantillonnage 669
Choix des dépôts 669
Mode de prélèvement et effectif optimal des échantillons 669
I.4.2. Étude des proportions des taxons, de leur distribution spatiale et de leur représentativité paléoécologique 671
Faravel I – versant est – 2100 m d'altitude 672
Les dépôts des Attaques Supérieures 672
Les dépôts de la Galerie 3 674
Faravel I – versant ouest – 2100 m d'altitude 681
Les dépôts de la Halde Supérieure 681
Les dépôts de la Fosse ouest 684
Les dépôts de la Tranchée Amont 685
Faravel II – 2070 m d'altitude 688
Les dépôts de la Tranchée Supérieure 688
Les dépôts de la Tranchée Moyenne 690
Les dépôts de la Tranchée Inférieure 693
Fangeas – 1970-2000 m d'altitude 695
Les dépôts de la Grande Fosse 695
Les dépôts du Grand Puits 696
I.4.3. Le diagramme anthracologique de synthèse 700
Avant l'an Mil 700
De l'an Mil à la fin du XIIe siècle 701
Première moitié du XIIIe siècle 702

II. OBJETS EN BOIS ET BOISAGES : DES TEMOINS PEU CONNUS ET ETUDIES DU TRAVAIL MINIER AUX XIE-XIIIE SIECLES 707

II.1. ESSAI DE SYNTHÈSE SUR LES DONNÉES DES SOURCES ÉCRITES (XIe-XVe SIÈCLES) 709

II.1.1. Les structures de surface et les boisages 710
II.1.2. Des ouvriers spécialisés ? 716
II.1.3. Outillage et équipements 720
II.1.4. Droits d'usage de la forêt pour les boisages et les équipements miniers 721
L'antivage 721
Des privilèges miniers pour garantir l'approvisionnement en bois 724

II.2. LE BOIS, SON TRAVAIL ET SA MISE EN ŒUVRE DANS L'ICONOGRAPHIE MINIÈRE DE LA FIN DU MOYEN ÂGE ET DE LA RENAISSANCE (1470-1550) 728

II.2.1. Équipements, objets et étayage 729
II.2.2. Les aménagements de surface et de sub-surface 735
II.2.3. Le travail du bois 741

II.3. APERÇU DE LA DOCUMENTATION ARCHÉOLOGIQUE MÉDIÉVALE SUR LE BOIS MINIER 749

II.3.1. Les galeries et leurs équipements 750
II.3.2. Puits et treuils 754
II.3.3. Chantiers 759
Soutènement 759
Plancher de stockage et de circulation 762
II.3.4. Équipements d'accès et outillage 765
II.3.5. Les dispositifs d'exhaure 768
II.3.6. Le carreau de la mine 770

II.4. NOTE DE SYNTHÈSE SUR LES OUTILS DU TRAVAIL DU BOIS 774

II.4.1. Grandes lignes de l'évolution de la gamme d'outils disponibles 774
II.4.2. Les outils du travail du bois en contexte minier 779

III. ETUDE DES BOIS ET DU MOBILIER PERISSABLE DE FANGEAS : DES ELEMENTS NOUVEAUX POUR CARACTERISER LA TECHNOLOGIE ET LES USAGES DU BOIS AU MOYEN AGE 785

III.1. BUTS ET MÉTHODES DE L'ANALYSE DU MATÉRIEL LIGNEUX 785

III.1.1. Problématique 785
III.1.2. État de conservation et provenance du matériel 789
III.1.3. Méthodologie appliquée à l'étude des bois 802

Prélèvements 802
Les grands bois 802
Les menus bois, chutes et débris 803
Étude et analyses sur le terrain 804
III.1.4. Analyses en laboratoire 806
Identification xylologique 806
Observations macroscopiques : vers une approche tracéologique 808
Approche morphométrique 809
Étude dendrochronologique 810
Traitement et restauration 811

III.2. LES BOIS D'ÉTAYAGE ET DE CONSTRUCTION 812
III.2.1. Les rondins 812
III.2.2. Les bois blanchis ou grossièrement équarris 817
III.2.3. Les bois débités de long 819
Planches, plateaux et dosses 820
Quartiers 824
Bois à sections quadrangulaires 825
III.2.4. Bois d'appui, supports et assemblages 826
Les bois à encoches 826
Bois à fourche 829
Bois avec orifices d'insertion et/ou mortaises 830
Bois avec trous de chevilles 835
III.2.5. Éléments « architecturaux » 836
Pièce à rainure 836
Pièce à entaille 838
Chevilles charpentières ? 838
Coins, cales et clés de blocage 841

III.3. LE MOBILIER ET LES ÉQUIPEMENTS EN BOIS DE FANGEAS 844
III.3.1. Équipements 844
Poulie de levage 844
Échelle 846
Kletterbaüme 847
Goulottes 849
III.3.2. Outillage, petit matériel et fournitures 852
Éléments de cuveaux 852
Manches d'outils 858
Torches et *Kienspane* 861
Objets « insolites » 862
Coupelle de lampe ou écope ? 862

Planchette d'allumage ou accident ? 864
Bois à protubérance terminale 864
Les pièces en cuir 865

III.4. MENUS BOIS ET DÉCHETS 869
III.4.1. Absence de référentiel archéologique et expérimental pour l'époque médiévale 869
III.4.2. Première approche morphométrique des déchets et des menus bois de Fangeas 871
Les branchettes et les brindilles 871
Les déchets du travail du bois 874

III.5. LES MAILLONS DE LA CHAÎNE OPÉRATOIRE TECHNIQUE DU BOIS À FANGEAS AUX XIe-XIIIe SIÈCLES 881
III.5.1. De la forêt au chantier 882
L'acquisition 882
Sélection des bois et marquage 882
Préparation de l'arbre 885
Abattage 887
Transport et débardage 889
III.5.2. Le chantier sur le carreau de la mine : les étapes de transformation 894
Préparation des billes 894
Tronçonnage (segmentation) 895
Le débit de long : la technique de la refente 899
Le façonnage, finition et pose 901

IV. A L'INTERFACE DES ESPACES MINIERS ET AGROPASTORAUX : EVOLUTION DU PAYSAGE DE HAUTE MONTAGNE SUD-ALPIN ET GESTION DES RESSOURCES FORESTIERE AU MOYEN AGE ET AU DEBUT DES TEMPS MODERNES 905

IV.I. EXPLOITATION DU MINERAI ET FIXATION D'UNE HABITAT MINIER EN HAUTE MONTAGNE : LE CAS DE LA VALLÉE DE FREISSINIÈRES 906
IV.I.1. Résultats synthétiques des prospections archéologiques : données sur l'habitat médiéval dans la vallée de Freissinières 908
IV.1.2. Investigations sur le site de Coste de Tonis I 912
Organisation générale du site 912
Sondage de la structure de Coste de Tonis I-1 – 2200 m d'alt. 916
Sondage de la structure de Coste de Tonis I-16 – 2190 m d'alt. 920
IV.1.3. Investigations sur le plateau de Fangeas 923
Fangeas VI – 2010 m d'alt. 925
Fangeas VII – 2000 m d'alt. 927

Fangeas X – 2000 m d'alt. 928
Fangeas IV – 2010 m d'alt. 934
IV.1.4. Les cabanes médiévales du plateau de Faravel 935
Le site de Faravel XII – 2170 m d'alt. 936
Les sites de Faravel VII et VIII – 2150 m d'alt. 938
IV.1.5. Synthèse 941
Chronologie de l'occupation 941
Liens entre ces structures et l'activité minière ? 943

IV.2. LE PAYSAGE FORESTIER DE LA MONTAGNE DE DORMILLOUSE : APPROCHE DIACHRONIQUE ET COMPARAISONS SUD-ALPINES 947
IV.2.1. Données anthracologiques agropastorales 947
Faravel XIX – 2310 m d'alt. 948
Coste de Tonis I – 2200 m d'alt. 950
Les dépôts de la structure CTI-1 950
Les dépôts de la structure CTI-16 954
Fangeas X – 2000 m d'alt. 955
Fangeas VI et VII – 2000-2010 m d'alt. 959
IV.2.2. Diagramme pollinique et analyse isotopique des tourbes du bas-marais de Fangeas – 1990 m d'alt. 967
Site et séquençage chronologique 969
Description synthétique du diagramme pollinique par zones 970
Variations des rapports isotopiques et précision du séquençage chronologique 973
IV.2.3. Les grandes étapes de l'histoire du milieu à l'interface des dynamiques économiques et sociales 976
Du Néolithique à la fin de l'âge du Bronze 976
Âge du Fer et époque romaine 981
L'Antiquité tardive et le haut Moyen Âge 986
Du Xe au XVe siècles 987
Des Temps Modernes au XIXe siècle 997
Synthèse 1002

IV.3. L'HOMME MONTAGNARD DANS SON ENVIRONNEMENT : LES MODALITÉS DE LA GESTION DES RESSOURCES LIGNEUSES POUR LES ACTIVITÉS AGROPASTORALES ET MINIÈRES AU MOYEN ÂGE ET AU DÉBUT DES TEMPS MODERNES DANS LE MASSIF DES ÉCRINS 1007
IV.3.1. La forêt « domestique » 1007
Esquisses sur l'habitat et le bois 1007
Formes, substructions et subdivision de l'espace habité 1008
Élévations et charpente 1011
La couverture 1014

Aménagements intérieurs 1018
Le bois de feu : changements et évolution des pratiques d'approvisionnement 1019
Le territoire d'approvisionnement 1019
Le calibre des produits du boisillage 1021
Le temps du boisillage, le temps de la feuille ? 1027
IV.3.2. La forêt pour la mine 1036
Un territoire d'approvisionnement en bois de chauffe ancré dans la forêt subalpine ? 1036
Interactions et divergences des modalités d'approvisionnement minières et agropastorales 1039
Les essences exploitées 1040
La forêt domestique est-elle aussi la forêt industrielle ? 1041

PARTIE IV..... : ELEMENTS POUR UNE HISTOIRE CULTURELLE ET TECHNIQUE DU FEU MINIER 1045

I. L'ABATTAGE PAR LE FEU : SAVOIR, TECHNIQUES, PRATIQUES 1049

I.1. UN « OUTIL » À TOUT FAIRE 1050

I.2. UNE SPÉCIALISATION MINIÈRE 1057

II. REGARDS CROISES SUR LE COMBUSTIBLE BOIS MINIER 1074

II.1. DES PROPRIÉTÉS COMBUSTIBLES DU BOIS 1074
II.1.1. Les étapes de la combustion du bois 1074
II.1.2. Variation des propriétés combustibles en fonction de l'espèce 1077
II.1.3. Variations des propriétés combustibles en fonction des facteurs extrinsèques 1081

II.2. ÉTATS DU COMBUSTIBLE BOIS POUR L'ABATTAGE PAR LE FEU 1086
II.2.1. Les données de la documentation écrite et iconographique médiévale et moderne 1086
XIVe-XVIe siècles 1087
XVIIe-XVIIIe siècles 1096
II.2.2. Les données anthracologiques 1106
Les saisons d'abattage et la question de l'écorce 1106
État physiologique et phénologique du bois d'abattage 1110
Morphologie et calibre du bois d'abattage 1119

II.3. DE L'ART DE FAIRE UN BÛCHER 1124

III. EXPERIMENTATIONS SERIELLES DE L'ABATTAGE PAR LE FEU EN MILIEU SOUTERRAIN 1139

III.1. CADRE DE L'ÉTUDE ET PROBLÉMATIQUES 1140
III.1.1. Travaux précurseurs et principaux résultats 1140
III.1.2. Les expérimentations du Fournel 1147
Les tâtonnements 1147
Les nouvelles motivations 1151

III.2. LE PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1155
III.2.1. Postulats de base 1155
III.2.2. Mesures et enregistrement des données 1156
III.2.3. Déroulement des expériences 1161
La plateforme expérimentale 1161
Choix et préparation du combustible 1162
Mise en place des sondes thermiques 1167
Construction du bûcher 1169
Suivi scientifique du feu 1173
Dynamique du feu et réactions de la roche 1173
Températures de combustion 1175
Après le feu 1182
Le foyer 1182
La purge 1185
Évolution générale du front de taille 1188

III.3. ANALYSE DES RÉSIDUS 1191
III.3.1. Approche granulométrique 1191
Caractères des résidus expérimentaux 1191
Comparaison des matériaux expérimentaux et archéologiques 1196
III.3.2. Approche anthracologique 1197
Les fentes radiales de retrait 1198
La vitrification ou cristallisation 1200

III.4. FACTEURS PRÉGNANTS ET RENDEMENTS 1202
III.4.1. Le facteur bûcher 1202
Aménagement des bois 1202
La quantité de bois mise au feu 1203
III.4.2. Le facteur combustible 1205
L'hygrométrie 1205
Le calibre 1207
L'essence 1209
III.4.3. Le facteur environnement 1210
La roche 1210
L'aérage 1211

La saison 1212

III.5. SYNTHÈSE : LE MODE OPÉRATOIRE DE L'ABATTAGE PAR LE FEU ET SES CONSÉQUENCES SUR L'ORGANISATION DU TRAVAIL ET L'ENVIRONNEMENT 1213

III.5.1. De la forêt au carreau de la mine 1213

III.5.2. Du carreau minier au front de taille 1215

Temps de travail 1215

Transport du bois 1216

L'abattage 1217

III.5.3. Du front de taille au traitement des matériaux 1219

Purge et tri 1219

Circulation, stockage et évacuation des matériaux 1222

III.5.4. Impact environnemental et sur la santé des mineurs 1223

Consommation ligneuse et la question du déboisement 1223

Pollution au plomb 1225

Mineurs silicosés ? 1226

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 1229

INDEX LATIN-FRANÇAIS DES PLANTES ET DES TAXONS MENTIONNÉS DANS CE MÉMOIRE 1239

GLOSSAIRE 1243

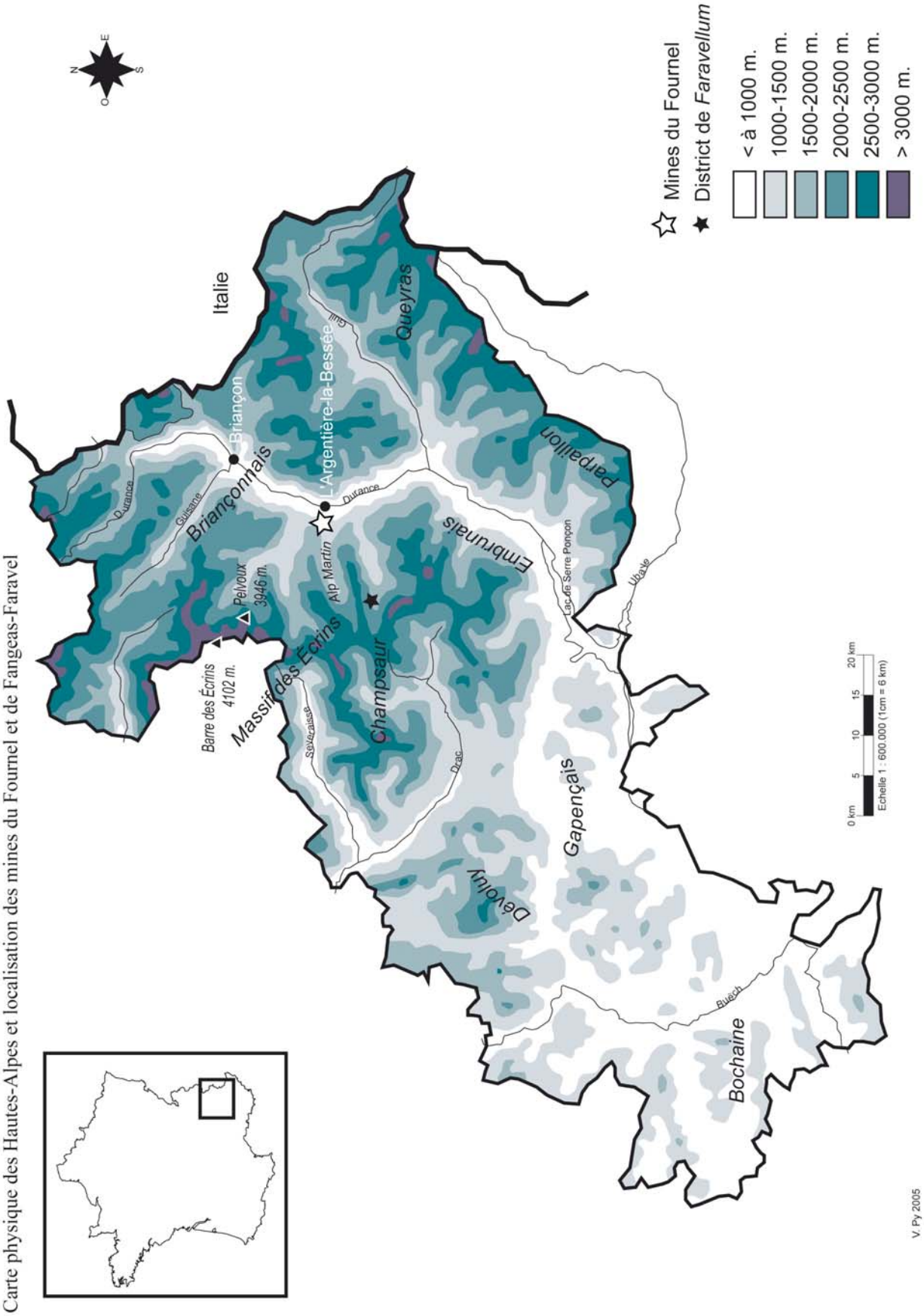
SOURCES, OUTILS ET BIBLIOGRAPHIE 1253

TABLE DES ILLUSTRATIONS 1313

TROISIÈME PARTIE

LA HAUTE MONTAGNE ARTISANALE ET AGROPASTORALE MÉDIÉVALE : L'EXEMPLE DE FARAVEL-FANGEAS DANS LA MONTAGNE DE DORMILLOUSE (FREISSINIÈRES, 05)

Carte 1 : Carte physique des Hautes-Alpes et localisation des mines.



I. ÉTUDE ARCHÉOLOGIQUE ET ANTHRACOLOGIQUE DU SECTEUR MINIER DE *FARAVELLUM*

I.1. CADRE DE L'ÉTUDE - PROBLÉMATIQUES GÉNÉRALES

I.1.1. Historique des recherches et cadre scientifique

Les prospections thématiques de 1992

Les mines métalliques de Faravel-Fangeas ont été redécouvertes dans le cadre de cette dynamique de recherche par l'équipe de B. Ancel. Les ouvrages de prospection et les travaux mal conservés dont le souterrain était peu ou pas accessible, ont fait l'objet de repérages. Les vestiges de surface et les ouvrages souterrains accessibles ont été visités et ont fait l'objet de croquis et de photographies. Cette investigation superficielle donne une évaluation générale du potentiel archéologique du site (Ancel 1992).

Les ouvrages miniers situés sur des affleurements de lentilles minéralisées peu puissantes étaient apparemment très réduits en longueur et en profondeur. Intégralement creusés par abattage par le feu, ils se présentaient sous la forme d'une succession de cavités arrondies de taille métrique constituant des tranchées et des chantiers sub-verticaux dont les parties profondes encombrées de remblais ne semblaient pas cacher d'ouvrage stratégique. La topographie du site avait favorisé une exploitation à ciel ouvert et un drainage naturel. Leur durée d'exploitation ne semblait pas avoir pu dépasser quelques dizaines d'années d'activité continue. Mais, les conditions climatiques de la haute montagne avaient pu impliquer une activité saisonnière pouvant allonger la durée d'exploitation de plusieurs d'années. Ces

déductions ne correspondaient pas avec la documentation écrite dans laquelle les mines d'*Eregum* et de *Faravellum* avaient été l'objet d'âpres disputes entre l'archevêque d'Embrun et son Église pendant plus d'un demi-siècle. Or, à ce moment-là, il n'avait pas encore été démontré que ces disputes concernaient autant les revenus des mines de l'Argentière au Fournel que ceux des mines de Faravel dans la montagne de Dormillouse.

Les travaux repérés n'avaient jamais été repris par les exploitants du XIXe siècle, mais avaient été reconnus par des prospecteurs (quelques trous de fleuret). Les difficultés techniques majeures rencontrées par les exploitants au Moyen Âge paraissaient avoir été le transport des matériaux et l'approvisionnement en bois de feu. Toutefois, il n'était pas complètement exclu que certains ouvrages fortement remblayés, comme les puits noyés de Fangeas, ne masquent des travaux profonds. Pour prospecter la base des travaux et retrouver les vestiges d'éventuels ouvrages d'assistance, des fouilles archéologiques avaient été alors préconisées.

En surface, l'existence de structures d'habitat, voire d'installations métallurgiques qui seraient à découvrir aux abords des sites miniers ou plus bas dans la vallée, était suspectée. Mais, les prospections n'avaient pas permis de découvrir des sites à scories caractéristiques d'une activité métallurgique pratiquée *in situ*. La question restait ouverte.

Les raisons de la mise en place d'une fouille programmée

Les recherches archéologiques ont repris dans la vallée de la Byaisse et la montagne de Dormillouse en 1998, mais dans le cadre d'une prospection inventaire diachronique[1] et de campagnes de sondages archéologiques dirigées par K. Walsh[2] (Walsh, Mocci 1998 ; Walsh 2000 ; 2001 ; Walsh, Mocci 2002 ; Walsh, Mocci 2003b). Elles ont notamment permis d'inventorier une série de structures d'occupation probablement en relation avec l'activité d'extraction (*cf. infra*, carte 2) (Walsh, Mocci 1998). La présence de sites pastoraux, agropastoraux et miniers, dans la même montagne pastorale, a stimulé l'intérêt des chercheurs

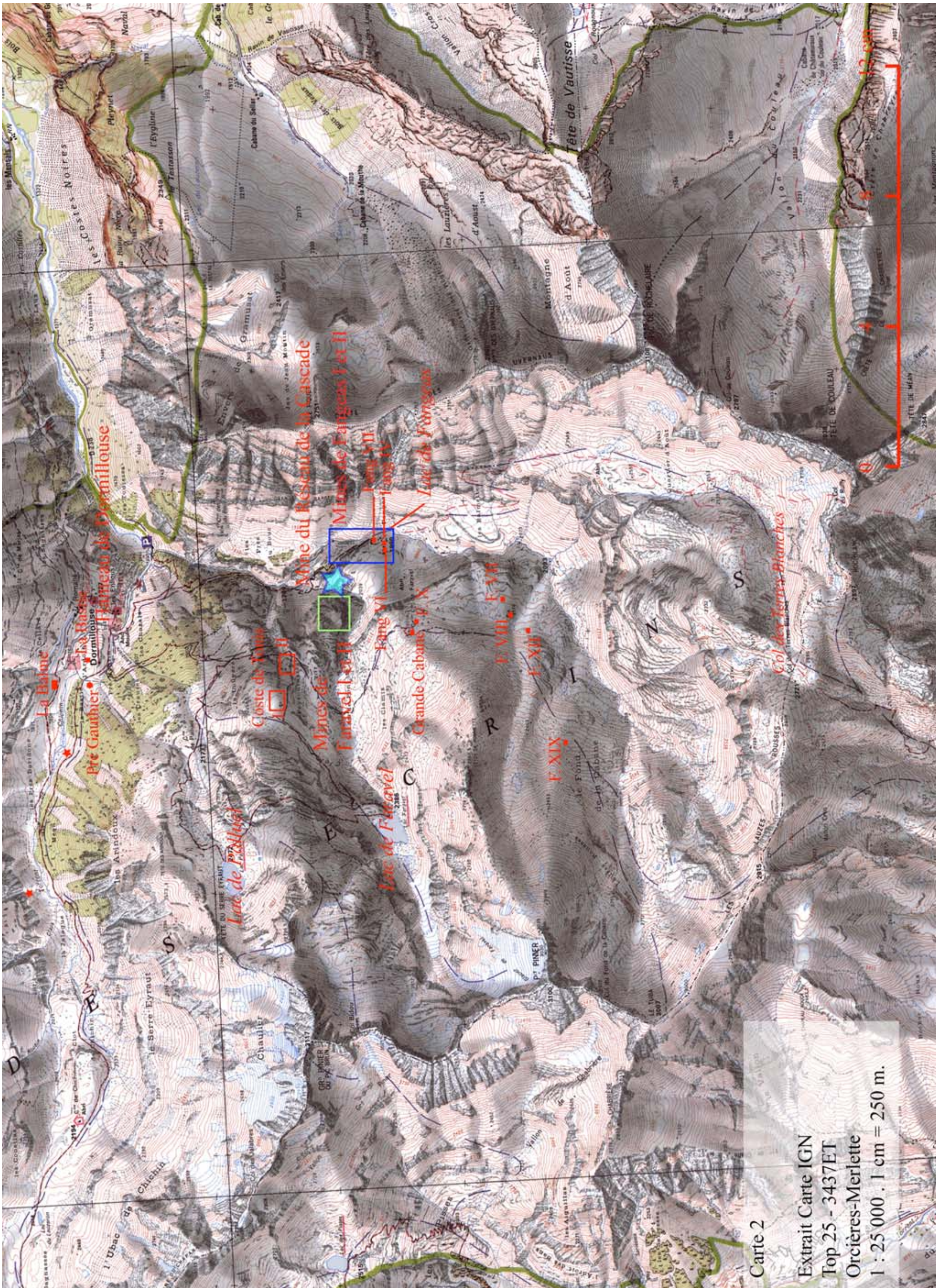
[1] Ces travaux constituent avec les recherches parallèles conduites dans le haut Champsaur par l'équipe de J. Palet une des premières entreprises d'archéologie pastorale alpine, avec, sans prétendre à l'exhaustivité, les recherches réalisées dans la vallée des Merveilles (Lumley *et al.* 1992 ; Lumley 1995) et dans les Alpes du Nord (Bintz 1999).

[2] Maître de conférences, Université de York.

travaillant sur les modes d'occupation et d'exploitation des ressources de haute montagne *via* leur impact environnemental. Les travaux archéologiques sur les structures d'occupation pastorales et agrospastorales ont été encadrés par le P.E.V.S. « La forêt et le troupeau dans les Alpes du Sud du Tardiglaciaire à l'époque actuelle, à l'interface des dynamiques naturelles et des dynamiques sociales », fédéré par J.-L. de Beaulieu, et le P.C.R. « Occupation du sol et pastoralisme de la préhistoire au Moyen Age sur le versant sud des Alpes françaises », coordonné par Ph. Columeau puis par Ph. Leveau (Beaulieu *et al.* 2003). Parallèlement aux investigations de B. Ancel, ils ont contribué au lancement d'une fouille programmée sur les sites miniers de Faravel et de Fangeas dans une perspective de caractérisation de l'articulation des espaces miniers et pastoraux *via* l'étude de leur impact environnemental. La définition de cette problématique a nécessité le prélèvement d'un carottage pollinique réalisé par l'équipe de J.-L. de Beaulieu dans le bas-marais de Fangeas. L'objectif était de pouvoir mesurer l'impact cumulé des différentes activités anthropiques sur l'environnement naturel à travers les changements et l'évolution du milieu végétal. Toutes ces recherches ont alors été intégrées plus récemment au programme Eclipse II « Étude comparée de l'évolution à haute résolution des évènements climatiques et des activités anthropiques dans les Alpes méridionales françaises au cours des deux derniers millénaires » porté par A. Véron. Il s'agissait de pouvoir corréler les données archéologiques avec les marqueurs d'intensité de pollution au plomb observés dans les sédiments de la zone humide de Fangeas.

Les problématiques définies en amont des travaux d'archéologie minière étaient donc multiples. Un premier axe de travail était de pouvoir caractériser de façon précise la dynamique d'exploitation de ces mines, leur chronologie, et les stratégies d'exploitation mises en œuvre par les mineurs. Le type de minéralisation, l'altitude, la puissance du filon, la topographie du site et le mode d'exploitation dominé par des travaux à ciel ouvert, constituent un contexte minier particulier. Il fallait pouvoir le comparer avec le Fournel. L'une des caractéristiques communes à nombre de travaux médiévaux et plus anciens ouverts en haute montagne est leur mauvaise accessibilité et leur état généralisé de remblaiement limitant considérablement la caractérisation de leurs dimensions, de la forme originelle des ouvrages, de leur organisation et des modes d'exploitation. Ces difficultés sont cumulées avec l'extrême indigence de la documentation écrite, rarement éclairante sur les stratégies d'exploitation. L'état de conservation supposé de vestiges remblayés n'ayant pas subi de véritables travaux de reprise modernes et la dimension modeste des exploitations par rapport à la mine du Fournel offraient un cadre de travail idéal pour étudier les différentes étapes de la chaîne

opératoire technique de l'abattage par le feu. Le deuxième axe de travail était d'appliquer la méthode d'analyse des remblais développée dans la mine du Fournel et surtout de travailler sur les dépôts carbonisés pour obtenir des données sur le territoire d'approvisionnement en bois de feu des mineurs dans un gradient altitudinal plus élevée que celui du Fournel (Py 2006a ; Py, Ancel 2007). De plus, l'analyse couplée des traceurs géochimiques et paléoécologiques enregistrés dans les sédiments de la tourbière de Fangeas ouvraient des possibilités de reconstitution de l'évolution du couvert forestier et de caractérisation de l'impact minier sur l'abaissement de la limite supérieure des forêts denses en interaction avec les activités pastorales et agrospastorales. Parallèlement aux travaux d'archéologie minière, nous avons entrepris d'ouvrir des sondages et des chantiers de fouille sur les structures d'occupation atypiques pouvant potentiellement ouvrir des possibilités d'analyse du combustible domestique et/ou artisanal dont l'aire d'approvisionnement pouvait recouper les espaces d'exploitation miniers. Tous ces travaux visaient à participer à la reconstitution de l'évolution globale du milieu naturel en interaction avec les activités humaines dans la montagne de Dormillouse dans un espace aujourd'hui asylvatique.



Carte n° 2 : Localisation des sites mentionnés dans le texte sur un extrait de la carte IGN au 1/25000.

I.1.2. Données toponymiques, ethnographiques et historiques

Les marmites de cuivre et la mine de *Faravellum*

Les mines de la vallée de Freissinières sont connues dans la tradition orale locale sous le terme de « marmites de cuivre ». Les rares personnes encore vivantes qui ont vécu leur enfance dans la vallée en ont entendu parler par leurs grands-parents qui eux-mêmes transmettaient cette information de leurs aïeux. Le lieu-dit « Peyrourasses »[3], situé près des ouvrages miniers de Faravel, pourrait être l'attestation de l'ancienneté de cette dénomination. En effet, les mots « Peyrourasses » ou « Peyrouras » sont des augmentatifs du mot occitan « peiron » traduit par le mot français « chaudron » (Faure 1998). De même, le lieu-dit « Peyrorettes », mentionné sur le cadastre napoléonien pour désigner le secteur du lac de Fangeas, est issu de la même racine toponymique. Ces anciens lieux-dits marqués sur le cadastre napoléonien seraient le reflet de la perception de ce site surprenant par les bergers et les gens de la vallée. Ils semblent avoir été frappés par l'étrangeté de l'architecture des trous miniers, avec leurs formes rondes et coalescentes qui rappellent la forme des marmites.

D'autres ont rapporté que l'on faisait chauffer le minerai vers l'emplacement actuel du parking situé en aval de Dormillouse, au fond de la vallée de la Byaisse[4]. Les femmes le descendaient pour le traiter dans la vallée car le bois était trop rare plus haut en altitude. Elles réalisaient la préparation mécanique à la main. Ils avaient entendu dire que les mineurs avaient autrefois occupé le lieu-dit de la Bastie, situé en amont du hameau de Dormillouse, où des ruines et des anciens aménagements agropastoraux sont encore visibles (*cf. supra*, carte 2). La mémoire des gens de la vallée a certainement gardé en souvenir la tentative de reprise moderne. Les prospections et les essais métallurgiques rapportés par la tradition orale, doivent répondre aux efforts réalisés par le pouvoir royal pour mettre en valeur les ressources

[3] TOP 25, 3437 ET, Orcières-Merlette.

[4] « Des fours destinés à traiter le minerai, existaient aux prés de la Gorge : Séraphin Baridon, qui habite aujourd'hui la Roche de Rame, nous a rapporté se souvenir de leur existence au début du siècle. Selon une légende une cloche serait cachée en ce lieu sous les éboulis. » (Baridon *et al.* 1990, p. 57).

naturelles des hautes vallées alpines durant la deuxième moitié du XVIIIe siècle[5]. Mais, contrairement à l'Argentière, les mines de Faravel-Fangeas n'ont jamais fait l'objet d'une véritable reprise moderne attestée par des textes et par l'archéologie. Quelques études signalent des gîtes cuprifères et parlent des travaux de prospection dont fait écho la mémoire des gens du pays. Au XIXe et au début du XXe siècle, les mentions des mines de Freissinières dans la littérature érudite indiquent leur exploitation médiévale, suggérée par des textes du XIIe siècle. Mais, les érudits ne sont pas parvenu à les localiser.

La localisation de la mine de *Faravellum* ou *Falavellum* mentionnée pour la première fois en 1169 dans une bulle pontificale ne pose pourtant pas de problème particulier. Le toponyme « Faravel » composé de racines oronymiques pré-indoeuropéennes caractérise un promontoire au-dessus d'un vallon. Il désigne encore aujourd'hui le plateau qui domine le vallon de Fangeas et du Pont de Fer et par extension tout le secteur pastoral situé en aval du lac de Faravel et en amont de Fangeas incluant le plateau de Faravel (*cf. supra*, carte 2). Au XIIe siècle, le toponyme *Falavel* pouvait désigner l'ensemble de la montagne pastorale de Faravel-Fangeas. Il a donc été utilisé par l'administration archiépiscopale et pontificale pour désigner toutes les mines exploitées sur ce territoire de haute montagne. Elles sont des satellites de la grande exploitation de l'Argentière comme l'attestent les données chronologiques, textuelles et techniques.

Histoire de la vallée

La tradition locale attribue la création de Dormillouse aux Lombards qui se seraient réfugiés et installés à Dormillouse après avoir été défaits vers 570 (571) à *Mustias Calmes* par les troupes du patrice *Ennius Mummole*, successeur d'Amat. En effet, on a longtemps cru pouvoir situer *Mustias Calmes* au lieu-dit « Plan de Phasy »[6] (Février *et al.* 1989, p. 454), au débouché de la vallée de Freissinières. Cette hypothèse sans fondement véritable et ne bénéficiant d'aucune découverte archéologique récente est encore bien ancrée dans les

[5] A.D.H.A., Freissinières, HH 2210 : *Arrêt du conseil d'état : Établissement des fabriques de tuiles et exploitation des carrières d'ardoises* (1784).

[6] GRÉGOIRE DE TOURS, *Histoire des Francs*, IV, 42 ; LADOUCETTE (J.-C.-F.), *Histoire, Topographie, Antiquités*…, pp. 32-35.

mentalités. Or, il est plus juste de situer le site de la bataille au débouché du col de Larche : la *vallis Mustias* n'étant autre que la haute vallée de l'Ubaye.

Le nom de lieu Dormillouse, « Dormil », est formé de deux racines oronymiques pré-indoeuropéennes, Dor et Mel, qui renvoient aux pénétrations ligures du premier âge du Fer attestées par les recherches archéologiques récentes dans la montagne de Faravel (Walsh, Mocci 2003a ; Walsh *et al.* 2005, 2006, 2007).

À l'heure actuelle, aucune étude sérieuse sur l'histoire médiévale de la vallée de Freissinières n'a été réalisée. Elle possède par ailleurs une abondante littérature locale principalement due à son rôle de vallée-refuge pour les vaudois[7] puis les protestants jusqu'au XVIIIe siècle.

Aujourd'hui, le lieu-dit « la Bastie » où l'on peut encore voir les vestiges d'une enceinte[8], est le seul indice d'une occupation médiévale à Dormillouse. Ce site offre l'emplacement idéal d'une motte castrale. Mais, seules des recherches archéologiques permettraient d'attester ou non d'une la présence d'un tel site. Les sources écrites mentionnant Dormillouse remontent seulement au XVe siècle, mais l'implantation plus ancienne d'un habitat permanent antérieur au XIIIe siècle n'est pas exclue.

À l'époque romaine et jusqu'à une époque difficile à déterminer[9], Freissinières faisait partie avec Champcella, la Roche et l'Argentière, du territoire de l'ancienne *mutatio* de *Rama*[10]. Au moins depuis le XIIe siècle, les seigneurs majeurs de la Roche et de Champcella résident dans le château de Rame[11] situé dans la plaine de la Durance, en contrebas du gouffre de Gourfoura dominé par le plateau en amphithéâtre de Pallon. Au début du XIIIe siècle, d'après la tradition, les inondations répétées de la Durance auraient ruiné le bourg de Rame et poussé les seigneurs à résider en discontinuité dans les lieux, abandonnant la gestion de la seigneurie aux seigneurs inférieurs de Freissinières. Depuis cet épisode, le château de Pallon[12] dominant la vallée de la Durance et l'entrée de la vallée de Freissinières, aurait pris de plus en

---

[7] FORNIER (M.), *Histoire générale…*, II, pp. 438 et suiv. ; III, pp. 132 et suiv.

[8] Observations personnelles.

[9] ROMAN (J.), *Tableau historique…*, I, p. 56.

[10] ROMAN (J.), *Tableau historique…*, I, p. 52.

[11] ROMAN (J.), *Tableau historique…*, I, p. 56.

[12] Le nom de lieu « Pallon » apparaît pour la première fois dans un acte de 1250 où le pape Innocent IV confirme à l'archevêque d'Embrun les biens et les privilèges de son église. FORNIER (M.), *Histoire générale …, op. cit.*, III, pp. 237-239, appendice n°25.

plus d'importance (Pogneaux 1997, p. 50). Jusqu'au courant du XIVe siècle, les habitants du mandement de Pallon auraient constitué une seule et même communauté[13].

Au XIIe siècle, les seigneurs de Freissinières exerçaient des droits banaux sur la majeure partie des terres de Freissinières, de Pallon, de Champcella et de la Roche-de-Rame (Humbert 1972, p. 114, n. 32). Ils étaient aussi propriétaires de terres avec l'Église d'Embrun au moins depuis le XIe siècle. Les comtes de Forcalquier, auxquels ils devaient théoriquement rendre hommage, ne se manifestent en Haute-Durance qu'à partir de la première moitié du XIIe siècle. À ce moment-là, ils ne semblent pas posséder de terres en bien propre dans la vallée de Freissinières, ni même exercer aucune prérogative seigneuriale dans ce territoire.

La population de cette haute vallée alpine a su tirer de bonne heure partie de leur éloignement géographique des centres du pouvoir comtal. À partir de la deuxième moitié du XIVe siècle, les habitants du mandement de Pallon achètent les droits d'usage au seigneur inférieur de Pallon et au seigneur majeur de Rame. À cette époque, les mines de *Faravellum* sont bel et bien déjà plongées dans l'oubli. Elles ne font à nouveau surface qu'avec l'intervention des archéologues au début des années 90.

I.1.3. Les conditions naturelles

Géographie et biogéographie

La vallée de Freissinières est située en rive droite de la Durance, à 25 km au sud de Briançon, sur la bordure méridionale du massif du Pelvoux (Hautes-Alpes). Au nord et au nord-est, bordée par les crêtes montagneuses de Dormillouse, la Tête de la Lauzière, la Pointe des Casses, les Mamelons de la Séa et les falaises du Rocher de Touard, elle est limitrophe avec la commune de l'Argentière-La Bessée où se trouvent les mines du Fournel (*cf. supra*, carte 1). Situé à 1837 m d'altitude, le col des Lauzes offre le passage le plus rapide pour relier les deux vallées. Avec des altitudes comprises entre 900 et 3200 m, la majeure partie du territoire communal est formée de hauts massifs alpins et s'inscrit dans la zone centrale du

[13] ALBERT (A.), *Histoire géographique…*, p. 173.

Parc National des Écrins (*cf. supra*, cartes 1 et 2). La vallée de Freissinières se caractérise par ses nombreux hameaux habités de façon annuelle et/ou saisonnière. Ils sont échelonnés d'est en ouest, côté adret, entre 1127 et 1700 m d'altitude. Le versant du Poua qui relie le hameau des Meyries au col d'Anon, autre passage vers l'Argentière, comporte sept hameaux[14] sur les treize que compte la commune. Le hameau de Ville, avec sa mairie, son église et son cimetière, constitue le point central du « village » de Freissinières. Dormillouse, le plus haut perché, est étagé entre 1680 et 1780 m d'altitude (*cf. supra*, carte 2). Il occupe une pente douce et ensoleillée qui surplombe le verrou. Il est le seul situé dans la zone centrale du Parc (*cf. infra*, pl. 1, ph. 1).

À 100 m au-dessus de l'ancienne station romaine de *Rama*, la vallée de Freissinières s'étend vers l'ouest, sur une vingtaine de kilomètres, entre deux chaînes de montagnes, depuis le hameau de Pallon (extrémité orientale) jusqu'au col de Freissinières ou d'Orcières qui ouvre un passage étroit vers le Champsaur. Pallon trône sur un plateau en amphithéâtre qui domine la vallée de la Durance. Il offre un point de vue qui fut longuement prisé car il permettait une surveillance du pays guillestrin. Sur une éminence rocheuse située au-dessus du village, les ruines d'une maison-forte sont encore visibles (Pogneaux 1997, p. 50). Au nord-ouest de ce plateau, la « plaine » du Plan s'étale sur environ 80 ha. À cet endroit, là où la vallée est très resserrée, la Biaysse et l'ancien glacier se sont taillés un passage à travers le chaînon calcaire qui ferme la vallée. Autrefois, un barrage naturel retenait un lac qui devait se prolonger jusqu'au hameau des Ribes. Bordée d'est en ouest par les hameaux du Plan (1145 m d'alt.), des Meyries (1160 m d'alt.), de Ville (1220 m. d'alt.) et des Ribes (1187 m d'alt.), la plaine est constituée par les alluvions de la Byaisse où verdissent de riches prairies et cultures. Le versant d'ubac est dominé par des futaies de mélèzes, de sapins et de pins. Les pentes décharnées de l'adret sont fortement marquées par l'érosion.

[14] Les Meyries (1160 m d'alt.), Ville (1220 m d'alt.), les Houdouls (1300 m d'al.), Maison Neuve (1370 m d'alt.), les Roberts (1413 m d'alt.), les Fazis (1450 m d'alt.), les Aujards (1600 m d'alt.).

PLANCHE N° 1 : OUVRAGES DU VERSANT OUEST (LA GRANDE FOSSE)

1. Vue du versant ouest avec Faravel I et II.
Au loin, sur le versant adret, le hameau de Dormillouse (cl. V. Py).

2. Ouverture d'accès à la Grande Fosse
(cl. B. Ancel).

3. Vue haldes versant ouest Faravel I (cl. B. Ancel).

4. Fond Grande Fosse, départ ouvrage
de recherche (cl. B. Ancel).

5. Haut Grande Fosse.(cl. B. Ancel).

Au-delà du Champ Bardon, limitée au sud par les falaises schisteuses du Gourre et du Gramusat, la vallée se rétrécit. On pénètre dans la Combe, couloir sombre, étroit et froid, où le peuplement se maintient difficilement dans les hameaux des Violins (1285 m d'alt.) et des Mensals (1310 m d'alt.) (*cf. supra*, carte 2, p. 547). Le versant d'ubac y est abrupt. Recouvertes d'éboulis, les pentes ne laissent que très peu de place aux cultures. Au-delà du hameau des Mensals, en face du Gramusat et au pied du Grand Pinier, la vallée aboutit au cône de Dormillouse situé aux portes de la zone centrale du Parc National des Écrins (*cf. supra*, carte 2, p. 547 et pl. 1, ph. 1, 553). Le parking marque la fin de la Combe au lieu-dit la Gorge.

À l'ouest, la vallée de Chichin, perchée à 300 m au-dessus du verrou de Dormillouse, forme le dernier tronçon de la vallée de Freissinières (*cf.* carte 2, p. 547). Parsemées de nombreux blocs d'éboulis provenant des versants sud (montagne du Chapan) et nord (la Crête du Martinet, Tête du Plumel et la Soulaure ou Pic Félix Neff), les terres y sont de piètre qualité. Au milieu du XIXe siècle, on cultivait aux abords du village de Dormillouse qui abritait à ce moment 200 habitants, du seigle et du froment de mauvaise qualité, et les jardins produisaient quelques légumes et du chanvre pour fabriquer des toiles[15]. Au sud de Dormillouse, les plateaux et les lacs de Palluel (2472 m d'alt.), Faravel (2386 m d'alt.) et Fangeas (1990 m d'alt.) sont dominés par le col des Terres Blanches (2721 m d'alt.) et les massifs du Petit et du Grand Pinier (3100 m et 3117 m d'alt.).

Le réseau hydrographique de la vallée est inclus dans celui de la Durance. Il est dominé par le torrent de la Byaisse qui naît au lieu nommé la Gorge, là où se rejoignent les eaux des torrents des Oules et de Chichin. Il se caractérise par de nombreux torrents secondaires dont le cours capricieux a grandement contribué à l'érosion des versants (cônes de déjection des adrets) (*cf.* carte 2, p. 547). Contrairement à la Vallouise, les restes glaciaires sont peu abondants voire rares[16]. La formation de cette vallée latérale, suspendue par rapport à la Durance, a été engendrée par l'érosion glaciaire. Son rôle a été prépondérant dans la sculpture du relief actuel dominé par des auges glaciaires, des verroux et des systèmes morainiques divers. À Faravel, le passage des glaciers, attesté par de beaux polis glaciaires, a mis à nu certains affleurements filoniens facilitant la prospection minière (*cf supra*,. pl. 1, ph.

[15] LADOUCETTE (J.-C.-F.), *Histoire, Topographie, Antiquités…*, p. 3.

[16] Névés résiduels dans le vallon de Chichin et petit glacier de Faravel sur le flanc nord du Petit Pinier (3100 m d'alt.).

1, 2 et 3, p. 553). Plus ancienne qu'au nord, la dislocation de l'appareil glaciaire a probablement eu une influence sur la disposition actuelle de la végétation (Meyer 1981).

Les mines de Fangeas et de Faravel sont échelonnées entre 1900 et 2200 m d'altitude au sud de Dormillouse entre les petits verroux glaciaires de Faravel et de Fangeas (*cf.* carte 2, p. 547 et fig. n°1, p. 556). À l'est, le secteur minier est délimité par le torrent des Oules, dominé par la Grande Barre, à l'ouest, par le plateau et le verrou de Faravel, au sud, par le plateau de Fangeas et le torrent de Pont de fer, et au nord, par le torrent de Clos de Bois qui se jette dans celui des Oules. Il répond aux limites altitudinales de l'étage subalpin (1800-2300 m d'alt.) des Alpes dites internes. Le site de Faravel est campé dans un paysage dénué de grands ligneux, à l'exception de rares pieds de mélèzes (*Larix decidua*) dispersés (*cf.* pl. 1, ph. 1 et 3, p. 553). La végétation dominante se compose d'une pelouse subalpine dense, parcourue par des troupeaux, et ponctuée de taches de ligneux bas plus ou moins étendues. Elle est caractéristique de la zone de combat qui s'étire depuis la limite supérieure de la forêt et les derniers bouquets d'arbres dispersés. Des landes à Éricacées (*Rhododendron ferrugineum, Vaccinium myrtillus, Vaccinium vitis-idaea*) prolifèrent à l'ubac et des landes à genévriers, (*Juniperus sabina, Juniperus communis* ssp. *nana, Cotoneaster jurana, Arctostaphylos uva-ursi*) à l'adret. Les mines de Fangeas sont situées à la limite supérieure du mélézin subalpin « dense » composé de jeunes arbres pionniers et de landes à Rhododendron en sous-bois. Un secteur pastoral à pelouses denses pâturées au printemps s'étend juste en amont du petit lac.

Géologie et gîtologie

Les secteurs de Fangeas et de Faravel sont situés dans le même contexte géologique caractérisé par le contact « socle-couverture » (*cf.* fig. n°2, p. 560). Les minéralisations sont encaissées dans le socle ancien de la zone corticale du massif des Écrins composé de gneiss « détritiques » à grains de feldspath et de quartz inclus dans une matrice sombre, micacée, à grains fins. Cette formation est très probablement d'origine détritique. Elle proviendrait d'un ancien dépôt volcano-sédimentaire métamorphisé. Ces terrains anciens affleurent dans une fenêtre d'érosion nommée la « Boutonnière de Dormillouse », qui s'étend dans la haute vallée de Chichin et dans la partie en aval de la vallée du torrent des Oules, sous le lac de Fangeas. Ces terrains d'âge paléozoïque ont été érodés à la fin l'orogénèse hercynienne, avant d'être recouverts par des dépôts sédimentaires d'âge mésozoïque (Trias) composés de calcaires

dolomitiques lenticulaires et de spilites, roches volcaniques basaltiques de couleur vert foncé à noir.

Dans le paysage, ce contexte géologique est bien lisible. L'érosion glaciaire a localement décapé la couverture sédimentaire et a raboté le socle gneissique en y laissant des stries caractéristiques. *Grosso modo*, la surface sommitale des gneiss correspond à la surface d'érosion de la fin de l'ère primaire. Par contre, dans la vallée du torrent des Oules, ces gneiss ont été entaillés par le glacier puis par le torrent. On peut par ailleurs y observer des chenaux sinueux, aux parois lisses, entaillés par les eaux de fontes sous-glaciaires (*cf. infra*, pl. 16, ph. 2, 3, 4, p. 586). Les terrains sédimentaires forment par contre des petits escarpements qui soulignent la stratification générale de ces dépôts. Le contact socle-couverture est généralement masqué par des sols peu épais. Les gneiss offrent par conséquent de très grandes surfaces d'affleurement (*cf. supra*, pl. 1, ph. 1, 2, 3, p. 553). On peut y voir de nombreux filonets de quartz ou fentes d'ouvertures. C'est ainsi que les filons de Faravel et de Fangeas ont pu être découverts par les prospecteurs, dans la mesure où leurs minéralisations métalliques s'exprimaient par des couleurs vives.

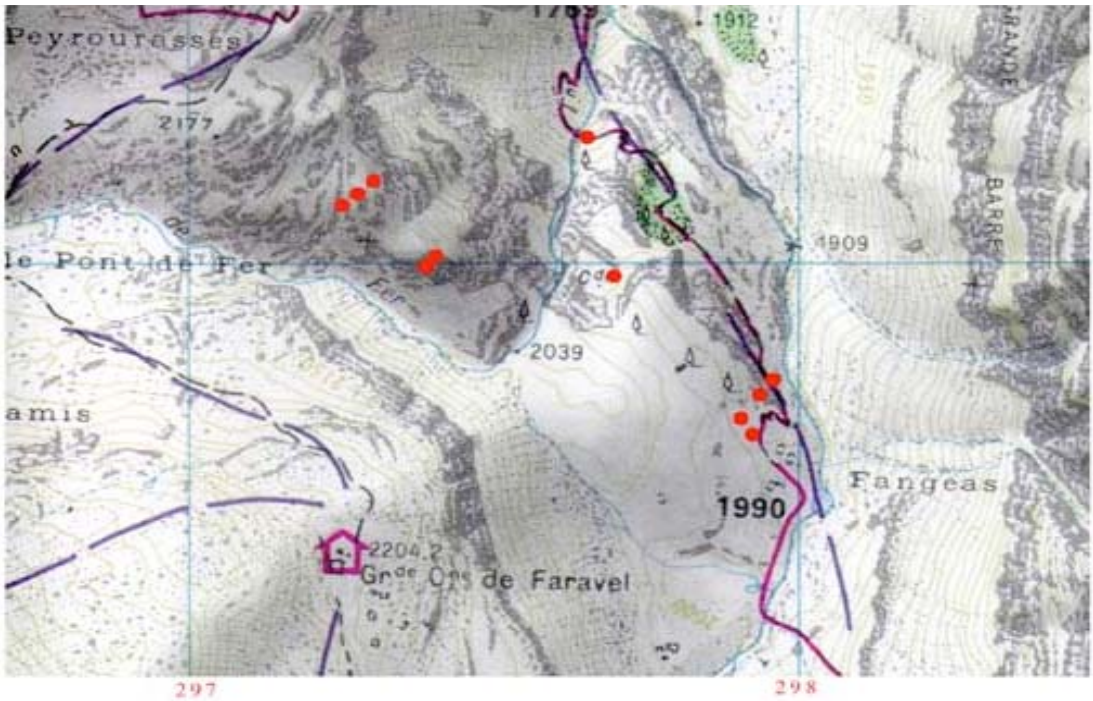


Fig. n°1 : Localisation des mines de Faravel-Fangeas sur la carte IGN au 1/10000.

Les mines de Faravel et de Fangeas ont retenu l'attention du B.R.G.M. en 1962. Elles ont été pour la première fois prospectées et décrites par le géologue M. Dufour[17]. Trente ans plus tard, les prospections archéologiques thématiques menées par B. Ancel ont reconnu sur le terrain les gîtes décrits et inventoriés par le B.R.G.M. et d'exécuter l'ébauche de relevés topographiques.

Les minéralisations de Fangeas forment deux ensembles filoniens dont l'exploitation est considérée depuis les descriptions de M. Dufour comme la plus ancienne du district :

> « Ces travaux sont apparemment les travaux les plus anciens. Ils sont tous dans les schistes granitisés recouverts par endroits par des lambeaux de trias. Ces schistes sont très érodés par les glaces en croupes arrondies, absolument dépourvues de végétation. Ces travaux sont alignés sur une diaclase N 55gr à remplissage de quartz, sur quelques centimètres recoupant les micaschistes. On peut de bas en haut reconnaître : au niveau du torrent, une tranchée de quelques mètres dans la cassure (pas vu de minéralisation), un peu plus haut une ébauche de galerie, toujours en remontant : un petit travail dans la cassure minéralisée consistant en quelques mètres de galerie et une descenderie dans le filonnet, visible sur 4 à 5 m puis eau. Le filon dont il reste quelques placages au-dessus de la descenderie contient : galène, blende, et traces de malachite. Quelques mètres plus haut, des haldes stériles proviennent de plusieurs travaux qui tout en étant dans la direction N 50 à N 55gr sont recoupés par des petites diaclases N 90gr à N 110gr avec traces de malachite. Ces travaux paraissent très anciens : galeries faites au feu, de petite section, en forme de boyaux. À environ 30 m au Sud de ces derniers travaux, 2 diaclases ont été suivies suivant le pendage. Toutes les 2 avec eau. Je n'y ai pas vu de minéralisation. »[18]

Il y a, en effet, une direction de minéralisation principale N 35, sur laquelle s'échelonnent les principaux travaux (*cf.* fig. n°1, p. 556 et *infra*, pl. 2, p. 558). Mais, on ne peut pas la suivre en continu. Aux abords des travaux miniers, une fracture est bien visible, mais dès que l'on s'en éloigne, elle disparaît. Plus au sud-est, une autre zone minéralisée qui a fait l'objet de recherches se distingue. Il s'agit d'une double fracture N 80 qui est visible dans les Puits Jumeaux (*cf.* pl. 2, p. 558). Elle semble s'incurver vers le nord-est et se retrouverait en N 35 dans les Recherches du Sentier (*cf.infra*, pl. 2, p. 558).

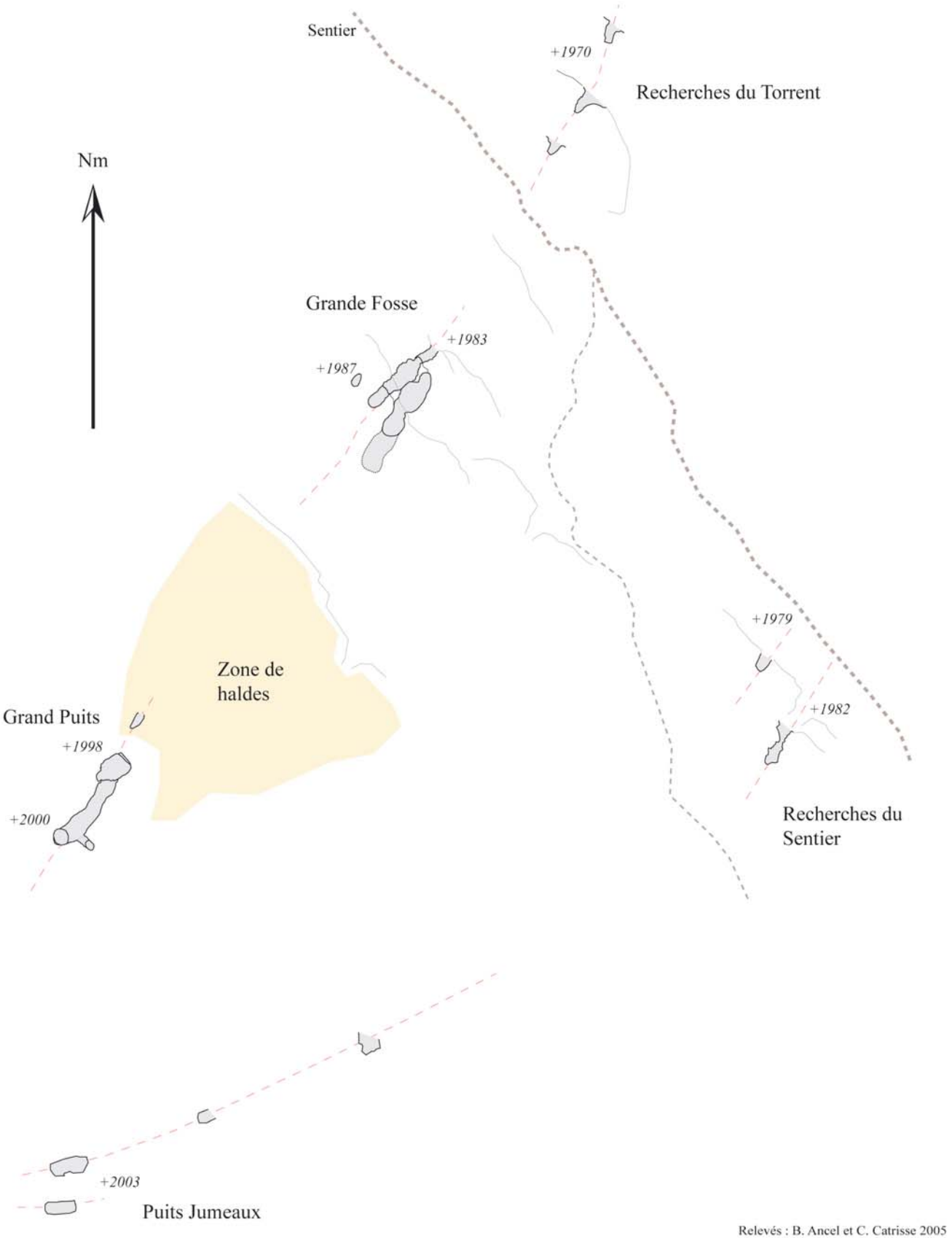
---

[17] D.R.I.R.E., DUFOUR, Freissinières : filons du Fangeas et de Faravel, *Rapport B.R.G.M. D.R.M.M. 12/08/1962*, manuscrit, 21 p.

[18] D.R.I.R.E., DUFOUR, Freissinières : filons du Fangeas et de Faravel…

PLANCHE N° 2 : RELEVÉ GÉNÉRAL DE SURFACE (PLAN) DU SECTEUR DE FANGEAS

1/500



Relevés : B. Ancel et C. Catrisse 2005
Dessin : B. Ancel 2008

Le gîte de Faravel affleure au sommet d'un dôme de gneiss (alt. 2148 m), en contrebas des premières barres rocheuses de spilites. Le filon est dirigé nord-est/sud-ouest et semble être découpé en deux tronçons distincts :

> « 2 filons parallèles de quartz minéralisé ont été exploités sur le sommet des affleurements des schistes granitisés, beaucoup plus haut que les travaux du Fangeas. […] L'autre filon, au sommet des schistes granitisés a été dépilé par de nombreuses galeries, très anciennes dans l'allongement du filon de quartz N 50gr sensiblement vertical, recoupé de nombreuses petites diaclases N 350gr plus ou moins verticales également, vraisemblablement elles aussi minéralisées près du filon principal avec grattages multiples. Les haldes sont abondantes au sommet. Les schistes granitisés sont brisés très finement et on y rencontre très peu de minerai. Le filon quartzeux devient N 90gr vers le sud avec un pendage important atteignant N 35gr avec une puissance de 0,70 à 0,80 m. À son extrémité, il est encore minéralisé par de grosses mouches de galène. Les anciens ont dû l'exploiter au maximum. Les travaux n'ont pas été visités. La surface des schistes granitisés, très érodée et arrondie par les glaces, semble s'enfoncer sous les spilites suivant une ligne N 15 à N 20gr et suivant un pendage W 20gr que ces spilites ont elles-mêmes. »[19]

Comme à Fangeas, les mineurs ont retiré la presque totalité du minerai dont il ne reste que quelques rares traces. La minéralisation paraît dominée par la galène. Pour cette raison, l'exploitation du gisement de Faravel a été attribuée très tôt à l'époque médiévale tandis que les travaux du site de Fangeas étaient considérés comme l'œuvre des Romains ou des Gaulois. Cette manière d'établir la chronologie de gisements en fonction de la nature du minerai exploité a été la source de nombreuses confusions chronologiques. Seules les recherches archéologiques appuyées par des datations en laboratoire avec une rigoureuse méthodologie de prélèvements autorisent la datation de ces sites de façon fiable. Parallèlement aux fouilles archéologiques conduites sur ces sites, la reprise de l'étude du corpus documentaire propre aux mines de la Haute-Durance a permis de mieux cerner leur cadre historique et leurs enjeux économiques et politiques.

[19] D.R.I.R.E., DUFOUR, Freissinières : filons du Fangeas et de Faravel…

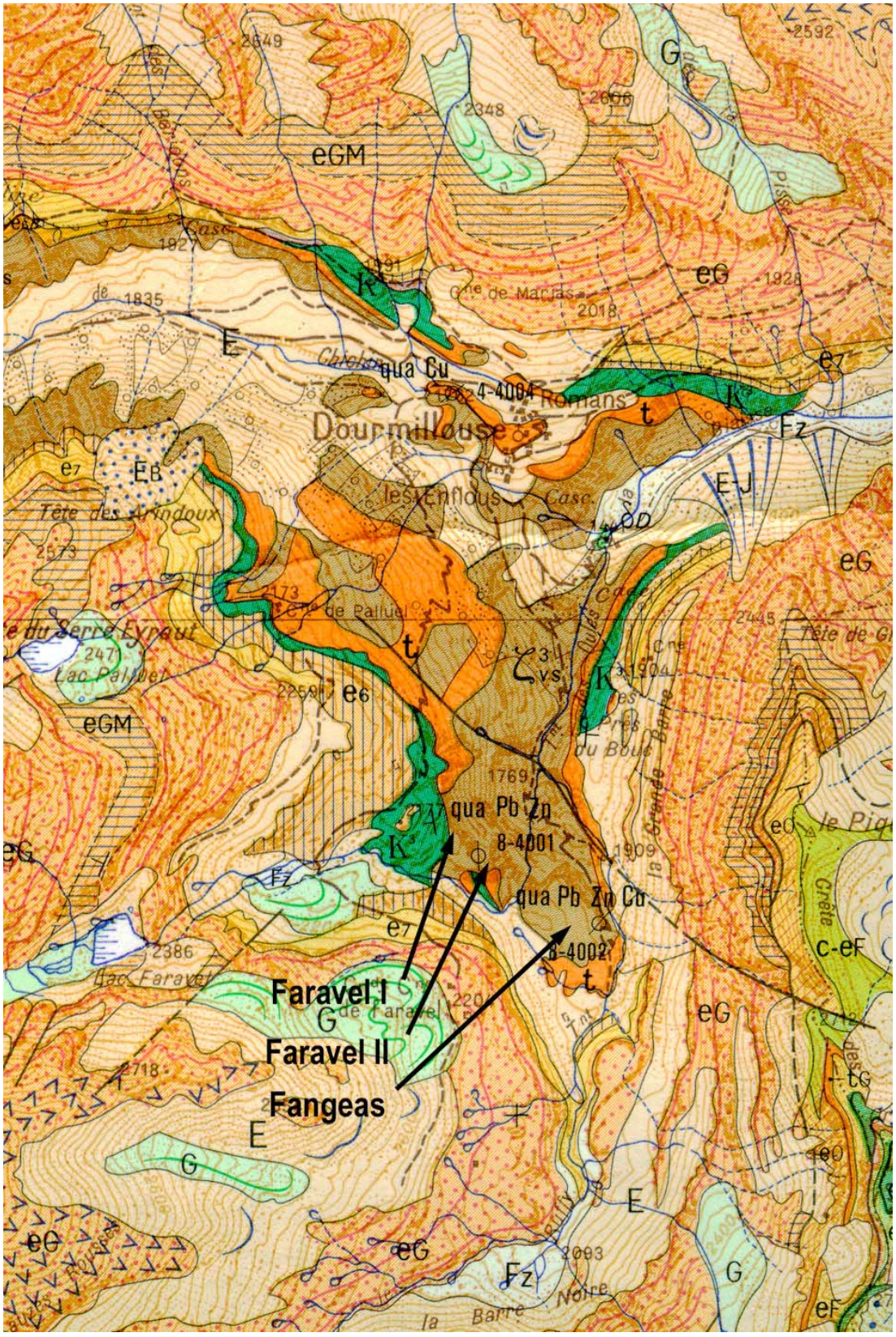


Fig. n° 2 : Localisation des secteurs miniers sur la carte géologique du secteur de Dormillouse au 1/25000.

La minéralisation résiduelle n'est pas bien visible car les mineurs ont enlevé l'essentiel du filon. À l'exception de l'affleurement de la Grande Fosse où l'on remarque des traces de malachite, indiquant la présence de sulfures de cuivre, on ne voit, effectivement pas de traces de minerais. Dans la halde du Grand Puits, des traces de malachite sont perceptibles sur certains cailloux. Il ne faut pas pour autant faire de ce site une mine de cuivre comme le laisse entendre la tradition orale. D'ailleurs, M. Dufour signale la présence de galène. Il faut attendre le résultat des analyses sédimentologiques des remblais miniers en place pour avoir une connaissance plus précise de la nature minéralogique de ces exploitations métalliques.

Il s'agit maintenant de traiter et d'exposer sous forme de synthèse les données archéologiques produites depuis 2003, année où a été lancée la première opération d'archéologie minière programmée dans la montagne de Dormillouse. Cet état de la recherche est encore partiel car de nombreuses données sont encore en cours de traitement. C'est le cas des données sédimentologiques et dendrochronologiques. Malgré cela, l'originalité des découvertes et la richesse du matériel ligneux permettent d'aborder concrètement toutes les problématiques exposées plus haut.

I.2. CARACTÉRISATION ARCHÉOLOGIQUE DES OUVRAGES MINIERS ÉCHELONNÉS ENTRE 1970 ET 2100 MÈTRES D'ALTITUDE

Les ouvrages miniers sont répartis sur quatre sites individualisés géographiquement nommés « Faravel I », « Faravel II », « Fangeas » et le « Réseau de la Cascade », échelonnés entre 1970 et 2100 m d'altitude (*cf. supra*, fig. n°1, p. 556). Les trois premiers ont été prospectés par le B.R.G.M. en 1962 et par l'équipe de B. Ancel en 1992 (Ancel 1992 ; 1995a ; 1995c ; Ancel 2000a). Le quatrième est totalement inédit. Il a été découvert en 2005 grâce à nos échanges avec un autochtone passionné d'archéologie, M. R. Fine (Py, Ancel 2005b ; Py, Ancel 2006b). L'étude de ces sites, plus ou moins approfondie suivant les

secteurs, a été réalisée dans le cadre de cinq campagnes de fouilles programmées[20] (Ancel, Py 2003 ; Py, Ancel 2004 ; Py, Ancel 2005b ; Ancel *et al.* 2007 ; Py, Ancel 2009a). B. Ancel ne voulant pas s'engager seul sur cette étude, notamment pour l'analyse des remplissages, a sollicité notre collaboration. Il a lancé les opérations la première année, puis nous avons pris le relais. Son parrainage nous a permis d'obtenir la direction de ces travaux archéologiques avec comme objectif de nous former à l'archéologie minière, et cela dans une perspective d'étude des interactions homme-environnement, homme-forêt.

I.2.1. Quartier de Faravel

Faravel I

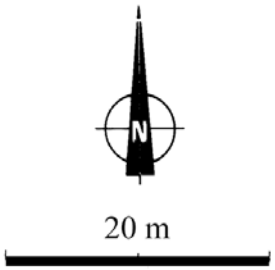
Le versant est : des travaux superficiels peu étendus

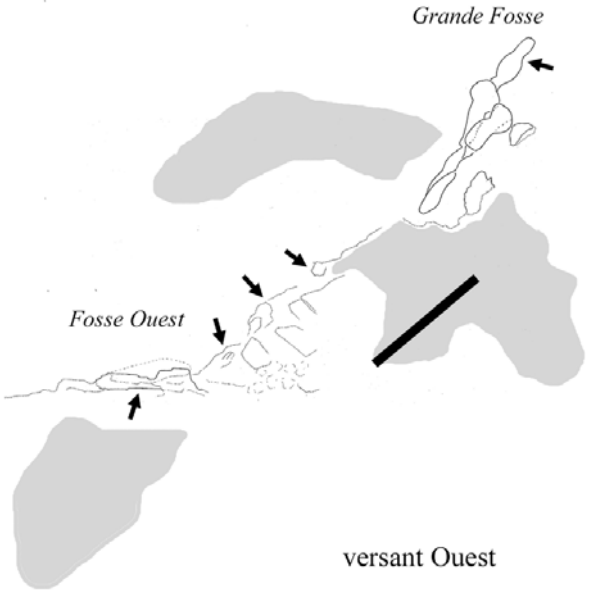
Les ouvrages miniers repérés sur le site de Faravel I sont répartis sur deux ensembles filoniens qui lacèrent à l'est et à l'ouest le dôme gneissique (pl. 3, p. 564). Un filon de direction N65 à N70 et de pendage de 30° à 40° vers le nord affleure sur le versant est. Il est repérable sur 30 m de longueur et 16 m de dénivelé. Il a fait l'objet sur toute son étendue de petits travaux miniers ouverts par le feu (*cf.* pl. 4 et 5, p. 565-566). Ils se caractérisent sur la terminaison du filon (1) par des petites attaques par le feu, nommées « Attaques Supérieures ». Le début d'une tranchée (2) comblée par des remblais est masqué par un effondrement du toit. Juste à l'aplomb, une galerie (3) a été ouverte sur 6 m de profondeur et 1,80 m de largeur. La désobstruction de l'entrée et son élargissement ont permis d'accéder à son remplissage constitué principalement de remblais d'abattage par le feu. La cavité qui est

[20] Les résultats obtenus pour les sites de Faravel I et II, étudiés en premier lieu, ont été en partie publiés dans les actes de la cession montagne « *Interpretation of sites and material culture from mid-high altitude mountain environments* » du colloque de la *European Association of Archaeologists* qui s'est déroulé à Lyon en septembre 2004 (Py, Ancel 2007). L'étude des sites de Fangeas et du Réseau de la Cascade demeure entièrement inédite. Seul le résumé des travaux a été publié chaque année depuis le début des opérations dans les Bulletins Scientifiques du S.R.A. P.A.C.A. (Ancel, Py 2004 ; Py, Ancel 2005a ; Py, Ancel 2006b ; Py *et al.* 2008, Py, Ancel 2009b). Tous les résultats inédits sont par ailleurs collationnés dans les rapports de fouille (Ancel, Py 2003 ; Py, Ancel 2004 ; Py, Ancel 2005b ; Ancel *et al.* 2007 ; Py, Ancel 2009a). Ce premier chapitre constitue une synthèse de ces travaux dans une perspective de caractérisation des espaces miniers.

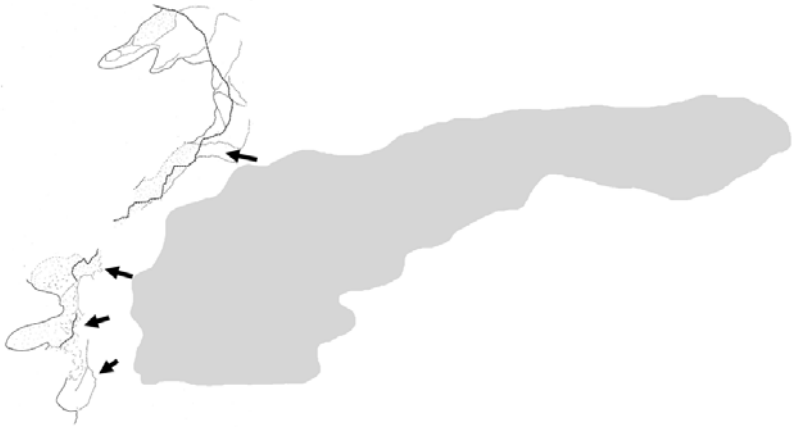
inclinée en direction du pendage du filon présente une forme ovalaire, des parois lisses et arrondies (*cf.* pl. 5, ph. 3, p. 566). La voûte est noircie par la suie et la moitié inférieure du front de taille était jonchée de fragments de bois carbonisés issus des derniers feux d'abattage opérés par les mineurs. L'entrée non originelle de la galerie, largement béante, liée à l'effondrement du toit, donne directement accès aux travaux supérieurs. La pente et les conditions climatiques ont provoqué des phénomènes d'érosion et de colluvionnement déplaçant dans la cavité des éléments de terre végétale et des déblais miniers provenant d'ouvrages amont jusqu'à ce qu'elle soit entièrement comblée. Les couches inférieures du remplissage se composaient des remblais d'abattage pouvant provenir de l'exploitation de la tranchée située plus en amont ou de la cavité 4 située directement en aval. La tranchée approfondie sur au moins 7 m à la verticale présente des parois arrondies. Le comblement est important. Le toit est effondré à l'entrée. Elle se poursuit sous la forme d'une tranchée inclinée et comblée (5). En contrebas, un petit couloir rocheux (6) a pu constituer un accès aux ouvrages situés à l'amont. En aval, des attaques de l'affleurement ont été réalisées sur moins d'1 m de profondeur (7). Des attaques plus importantes surplombent une galerie ovalaire de 7 m de longueur non remblayée (8) (*cf.* pl. 5, ph. 5, p. 566). Au sol, quelques reprises au fleuret sont visibles sur la veine de quartz.

Cette amorce d'exploitation peu étendue et peu profonde s'apparente à l'œuvre de prospecteurs. La halde située en contrebas qui semblait importante s'avère peu épaisse et très étalée. La surface de filon abattue n'excède pas 100 m^2 et la quantité de galène produite serait de l'ordre de quelques tonnes (Ancel, Py 2003 ; Py, Ancel 2007). Un morceau de charbon de bois prélevés dans les remblais de la Galerie 3 date la réalisation de ces ouvrages entre 1213 à 1287 ap. J.-C., âge calibré. Ils ont fait l'objet de travaux de recherches modernes qui n'ont pas été concluants et se sont limités à des rafraîchissements très localisés au fleuret.

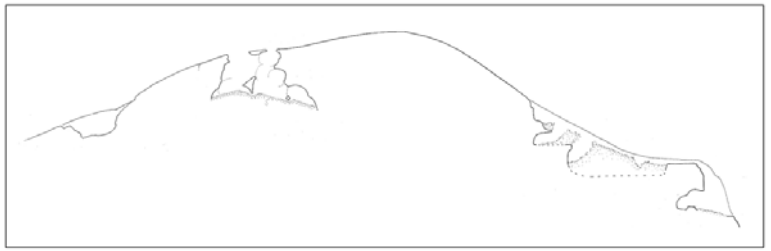




versant Ouest



versant Est

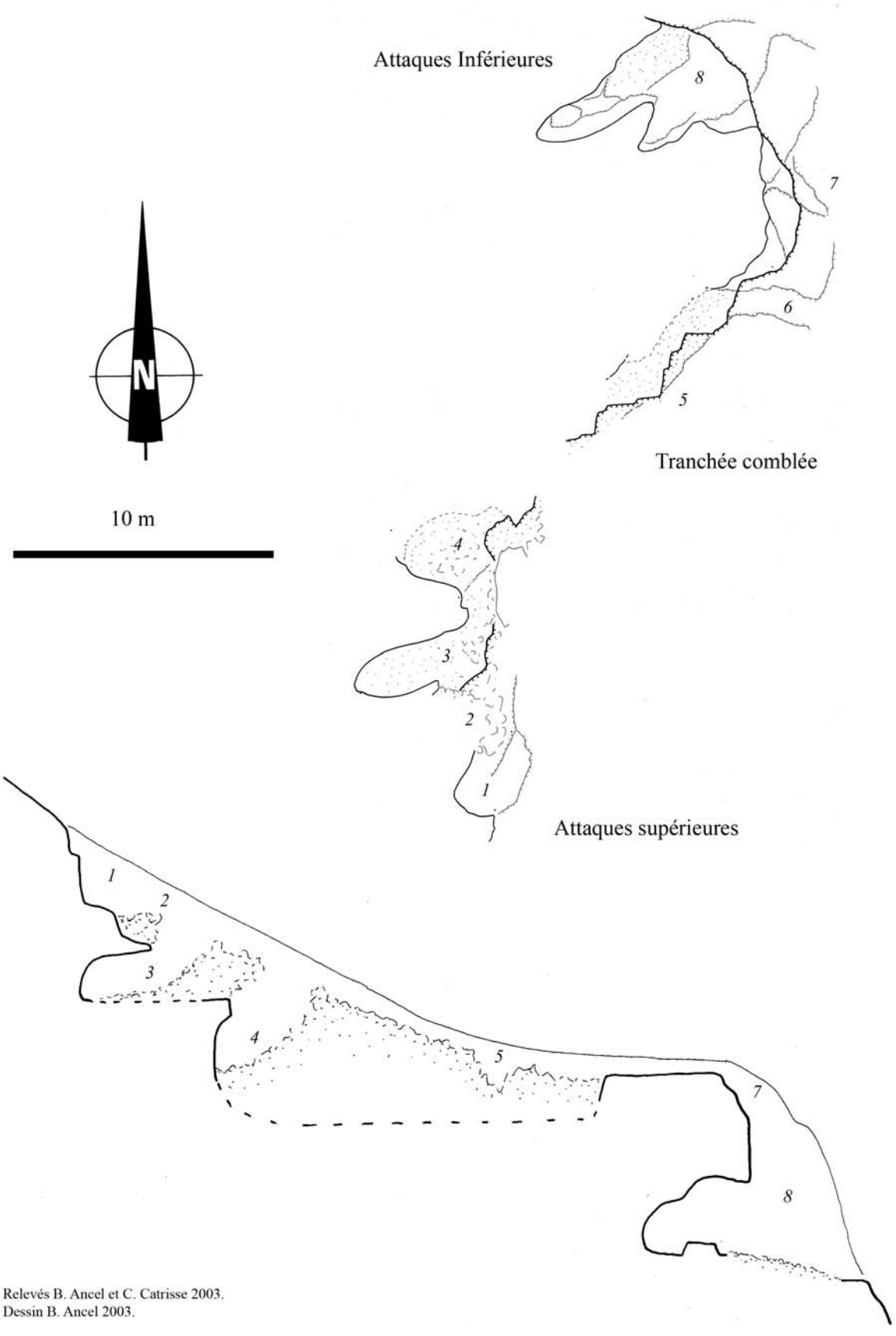


coupe 1/1000

relevés : B. Ancel & C. Catrisse

Planche 3 : Relevé en plan et en coupe des ouvrages des versant ouest et est.

PLANCHE N° 4 : PLAN ET COUPE DES TRAVAUX DU VERSANT EST



Relevés B. Ancel et C. Catrisse 2003.
Dessin B. Ancel 2003.

PLANCHE N° 5 : OUVRAGES DU VERSANT EST (FARAVEL I)

1. Tranchée comblée et effondrée (5) (cl. B. Ancel).

2. Vue Attaques Supérieures et désobstruction en cours entrée Galerie 3 (cl. V. Py).

3. Galerie 3 entièrement fouillée (cl. V. Py).

4. Couloir 6 et départ tranchée 5 (cl. B. Ancel).

5. Galerie Inférieure 8 (cl. B. Ancel).

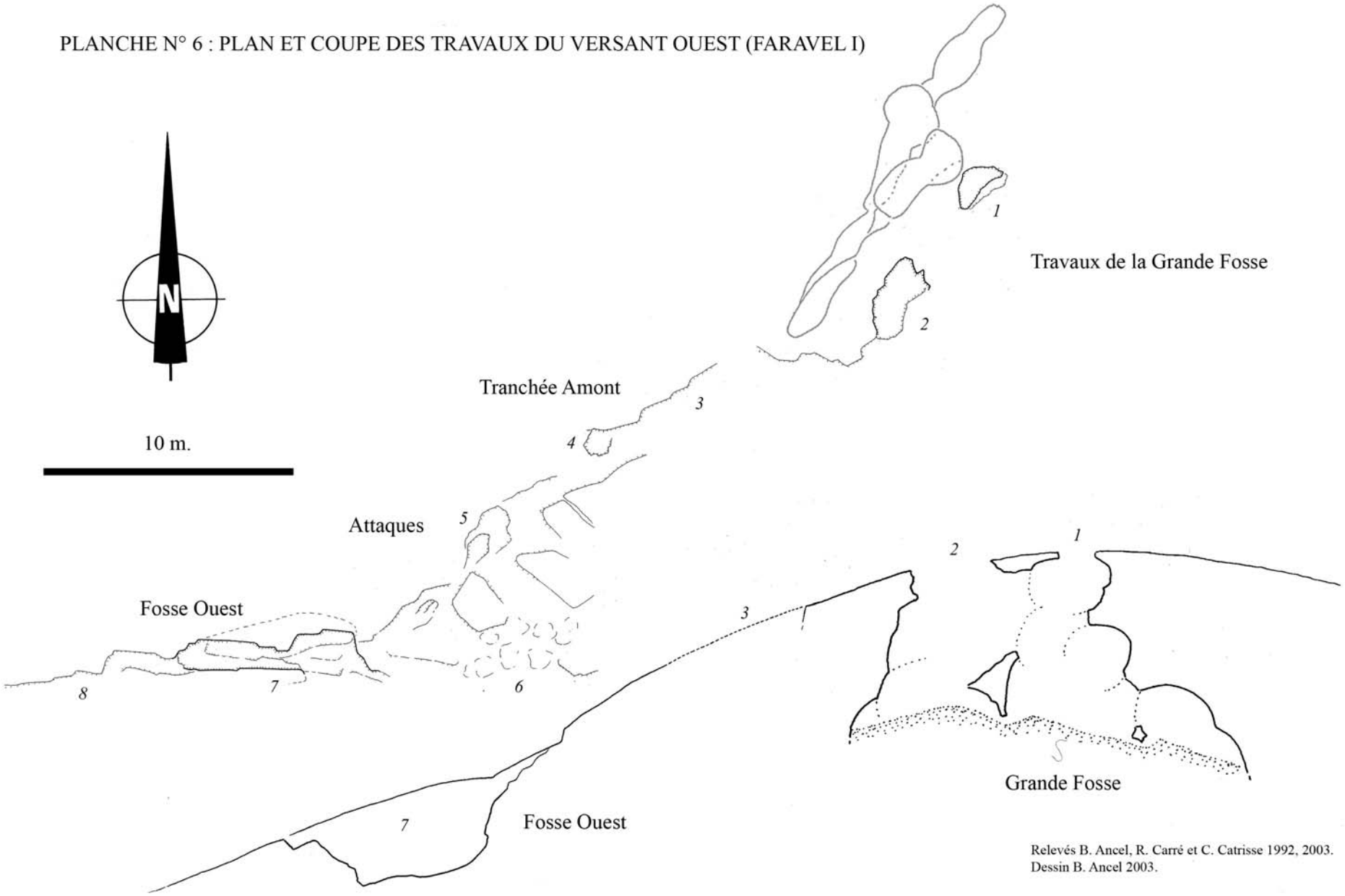
Le versant ouest : une exploitation plus dense

Le décapage archéologique des affleurements rocheux a permis de préciser l'allure du gîte sur le versant ouest du dôme de gneiss. Il est divisé en deux branches filoniennes principales. La première de direction N90 présente un pendage de 70° à 50° vers le nord. La seconde de direction N40 à N50 suit un pendage de 70° vers le nord-ouest. Elles ont toutes deux fait l'objet de travaux miniers bordés par des haldes de faible étendue, mais qui marquent encore le paysage (*cf.* pl. 1, ph. 3, p. 553).

Au sommet du dôme gneissique, deux trous conduisent dans un chantier très redressé nommé « Grande Fosse » (1) ouvert sur la première branche (*cf.* pl. 1, ph. 2 et 5, p 553 ; et pl. 6, p. 568). Il présente des parois arrondies et coalescentes et s'allonge sur 15 m vers le bas (pl. 1, ph. 4 et 5, p. 553). Il est remblayé à partir de 7 m de profondeur et ne présente pas de trace d'ennoiement bien qu'aucun accès latéral ne soit perceptible. La surface attaquée mesure environ 100 m^2 pour une largeur de 0,60 à 1,50 m.

La fouille de la Grande Fosse de Faravel I nécessite la mise en place d'un chantier archéologique d'envergure avec la construction d'un treuil dans la zone sommitale pour l'extraction des déblais. Les conditions logistiques des fouilles programmées menées depuis ce jour n'ont pas autorisé la réalisation d'une telle opération. Dans un premier temps, la fouille exhaustive des travaux de plus faibles envergures a été jugée pertinente pour préciser l'organisation du site et l'articulation des phases de recherches. De plus, les éléments de boisages et d'étayage parfaitement conservés dans les travaux de Fangeas ont focalisé notre attention depuis 2005. La mise en place d'une fouille dans la Grande Fosse de Faravel I sera envisageable dans les années à venir dans le cadre d'une opération de plus grande importance. En attendant, un seul petit sondage d'un mètre de profondeur a été réalisé à l'entrée de la ramification du chantier qui s'étire à l'extrémité nord-est pour déterminer la nature des remblais composés essentiellement de déblais miniers extrêmement pauvres en charbons de bois coiffés de matériaux provenant de l'extérieur. Le sol rocheux n'a pas été atteint et peut se situer quelques mètres plus bas.

PLANCHE N° 6 : PLAN ET COUPE DES TRAVAUX DU VERSANT OUEST (FARAVEL I)



Relevés B. Ancel, R. Carré et C. Catrisse 1992, 2003.
Dessin B. Ancel 2003.

PLANCHE N°7 : OUVRAGES DU VERSANT OUEST (FARAVEL I)

1. Tranchée Amont - Coupe 1 (cl. B. Ancel).

2. Tranchée Amont - Coupe 2 (cl. B. Ancel).

3. Tranchée Amont - Coupe 3 (cl. B. Ancel).

4. Décapage par le feu en aval de la Tranchée Amont (cl. B. Ancel).

5. Tracé du filon en aval de la Tranchée Amont (cl. B. Ancel).

PLANCHE N°8 : OUVRAGES DU VERSANT OUEST (FARAVEL I)

1. Tracé du filon depuis la Tranchée Amont jusqu'en aval de la Fosse Ouest (cl. B. Ancel).

2. Vue Fosse Ouest entièrement fouillée (cl. B. Ancel).

3. Remplissage Fosse Ouest - coupe 4 (cl. B. Ancel).

4. Détail Fosse Ouest - côté nord (cl. B. Ancel).

5. Détail Fosse Ouest - côté sud (cl. B. Ancel).

Ce chantier de faible envergure en comparaison de ceux de la mine du Fournel paraît avoir été faiblement remblayé. Les remblais situés au fond de l'ouvrage creusé depuis la surface peuvent provenir des déblais de creusement de la ramification du chantier à l'extrémité nord-est ou, plus probablement, de déblais remobilisés par les mineurs (halde ?) et de matériaux divers (blocs et cailloutis) précipités dans la fosse pour combler les travaux. Dans ce cas, il faut supposer l'existence de planchers de stockage suspendus qui n'auraient pas été conservés, la fosse n'ayant pas été ennoyée. Aucun élément de datation absolue n'est disponible pour cet ouvrage dont la chronologie d'exploitation est évaluée à partir des datations radiocarbones obtenues pour les comblements de travaux périphériques.

À l'ouest des accès de la Grande Fosse s'étale une halde de 100 m^2 (Halde Supérieure). Au sud, une nouvelle halde de 200 m^2 est insérée en partie dans une cuvette rocheuse. Au sud-ouest des trous et en bordure de la halde, une découpe rocheuse est située approximativement à côté de l'affleurement présumé du filon. Il est probablement masqué par la halde qui se réduit et envahit un couloir entre deux rochers, puis disparaît lorsque la pente rocheuse s'accentue. Le décapage du couloir rocheux de l'aval vers l'amont sur 1,5 m de longueur, là où se termine une langue de la halde supérieure, a mis en évidence une amorce de tranchée ouverte par le feu (Tranchée Amont), envahie par les déchets de la Grande Fosse (4) (pl. 6 et 7, pp. 568-569). Cet ouvrage est donc contemporain de l'exploitation du chantier vertical. La poursuite de la fouille depuis cette tranchée dite Tranchée Amont sur 1,5 m de longueur a révélé la remontée de la roche. La fermeture de cette amorce d'exploitation a été constatée. Plus en aval, la roche étant à nu, le décapage des placages de terre et des déblais a souligné le tracé du filon sur une dizaine de mètres de longueur (*cf.* pl. 7, ph. 5, p. 569 et pl. 8, ph. 1, p. 570). Il a été attaqué par le feu sur toute sa longueur sur une profondeur de quelques centimètres à près d'un demi-mètre (5). À cet endroit, la branche filonienne rejoint la seconde branche, orientée est-ouest.

Du côté est, cette branche est très inclinée. L'affleurement est en grande partie masqué par des gros blocs qui proviennent de l'amont. Un massif rocheux disloqué, dont les éléments se sont déplacés dans la pente sur quelques décimètres à plus d'un mètre, sépare cette branche de l'autre branche située plus au nord. Ce mouvement pourrait avoir pour origine un affaissement généré par l'effondrement d'une cavité minière sous-jacente dont il est actuellement impossible de vérifier la présence. Dans la partie centrale, le filon a été attaqué à ciel ouvert sur 7 m de longueur et 3 m de profondeur (pl. 8, ph. 2 à 5, p. 570). L'ouvrage,

entièrement travaillé par le feu, forme une fosse ovalaire qui a été intégralement fouillée (7). Seule la couche de déblais, très charbonneuse, située au contact avec le sol rocheux est en place. Elle synthétise les résidus des derniers feux d'abattage opérés dans la fosse entre le XIe siècle et la première moitié du XIIe siècle. Le remplissage constitué en grande partie de matériaux issus de la halde supérieure résulte d'un comblement *post*-exploitation. La sédimentation naturelle *post*-comblement pollue les couches inférieures sous forme d'infiltrations terreuses localisées.

La suite de l'affleurement attaqué par le feu de manière très superficielle sur 7 m de longueur est caractérisée par un épais remplissage de quartz. Du côté sud, la fosse et les attaques sont bordées par une halde de 150 m^2 très chamboulée par le passage d'une draille.

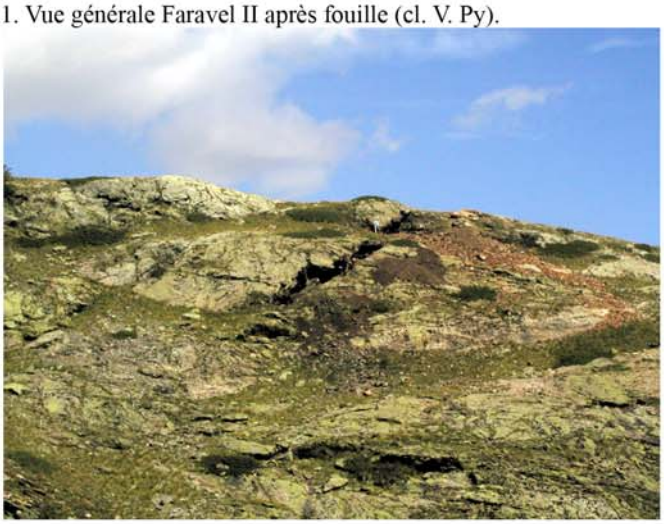
Ces travaux miniers constituent l'ensemble le plus important du site de Faravel, mais la production de minerai demeure limitée. Elle est pour l'instant évaluée à quelques dizaines de tonnes.

Faravel II

Le filon de Faravel II affleure vers 2000 m d'altitude au sommet du dôme gneissique situé en aval de Faravel I (*cf.* fig. n°1, p. 556 ; pl. 1, ph. 1, p. 553 ; pl. 9, ph. 1, p. 573). Il présente une direction N40° et un pendage vers le nord-ouest (pl. 10, p. 574). Du côté est, l'exploitation se manifeste par deux amorces de fosses. Du côté ouest, le filon est marqué sur 30 m de longueur et 11 m de dénivelé, par un alignement de fosses comblées qui forment un escarpement rocheux d'1 m de hauteur. Il est bordé au sud-est par une halde rouge remaniée de faible étendue. Cet escarpement qui constitue le toit du filon est fracturé à certains endroits et plusieurs gros blocs affaissés coiffent le remplissage des fosses. La fouille de ces ouvrages donne une idée précise de leur étendue (*cf.* pl. 9, p. 573 ; pl. 11, p. 575 ; pl. 12, p. 576). Aux deux tiers supérieurs, une partie haute nommée « Tranchée Supérieure » est individualisée car l'escarpement est discontinu (pl. 9, p. 573). La tranchée sous-jacente présente un rétrécissement où l'on distingue une partie moyenne ou « Tranchée Moyenne » et une partie inférieure ou « Tranchée Inférieure » (pl. 11, p. 575 ; pl. 12, p. 576). L'exploitation du filon à Faravel II s'est articulée sous la forme de petites tranchées peu inclinées et de grattages peu profonds sur une trentaine de mètres dessinant une balafre sur le versant Ouest du dôme.

PLANCHE N° 9 : OUVRAGES FARAVEL II

1. Vue générale Faravel II après fouille (cl. V. Py).



2. Tranchée supérieure - coupe 1 (cl. B. Ancel).

3. Tranchée supérieure fouillée (cl. G. Munteanu).

3. Tranchée supérieure - coupe 1 (cl. B. Ancel).

PLANCHE N° 10 : PLAN ET COUPE DES OUVRAGES DE FARAVEL II

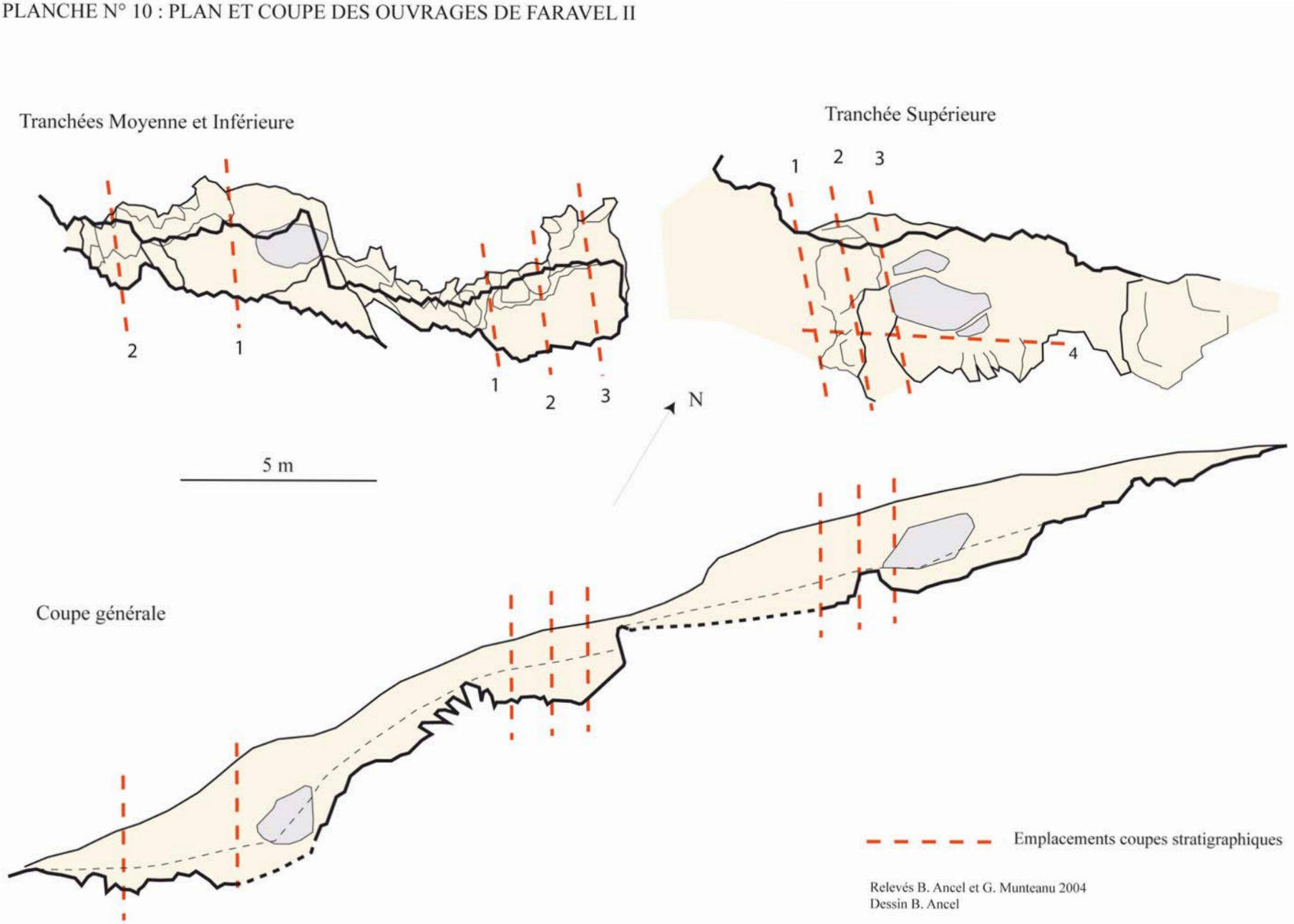
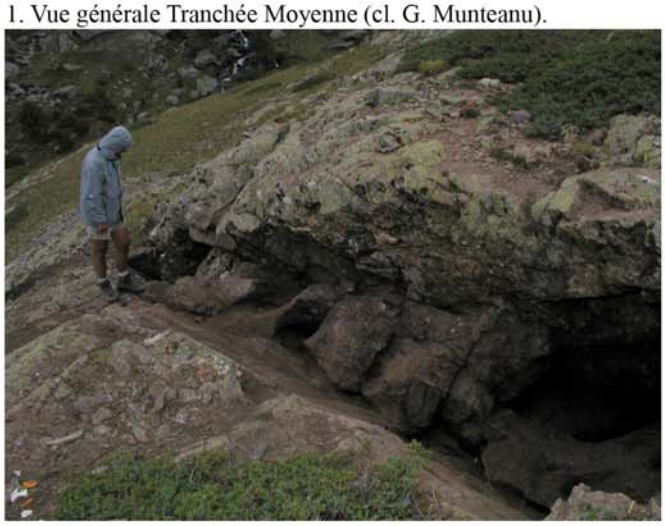


PLANCHE N°11 : OUVRAGES FARAVEL II

1. Vue générale Tranchée Moyenne (cl. G. Munteanu).



2. Tranchée Moyenne - coupe 1 (cl. V. Py).

3. Tranchée Moyenne - coupe 2 (cl. V. Py).

4. Tranchée Moyenne - coupe 3 (cl. V. Py).

5. Tranchée Moyenne - coupe 3 (cl. V. Py).

PLANCHE N°12 : OUVRAGES DE FARAVEL II

1. Vue de la Tranchée Inférieure fouillée depuis le sud-ouest (cl. B. Ancel).

2. Vue de la Tranchée Inférieure depuis le nord-est (cl. G. Munteanu).

3. Tranchée Inférieure - coupe 1 (cl. G. Munteanu).

4. Détail Tranchée Inférieure fouillée depuis le sud-ouest (cl. G. Munteanu).

5. Détail Tranchée Inférieure fouillée (cl. G. Munteanu).

Dans la zone supérieure, un décapage archéologique sur quelques dizaines de centimètres de profondeur a suffi pour mettre en évidence le tracé du filon. La minéralisation est inclinée de 30° et tend à se ramifier vers le nord-est, créant une multitude de veines de quartz. Le minerai est une brèche à ciment de quartz avec des mouches de galène. Le filon, puissant de quelques centimètres à une vingtaine de centimètres, a été attaqué sur 12 m de longueur. Son tracé est jalonné de creux circulaires, vestiges de petits feux d'abattage réalisés sur une profondeur de quelques centimètres à près d'un demi-mètre. Les tranchées sont séparées par des seuils rocheux plus ou moins importants. Latéralement, elles commencent à s'enfoncer sous le toit du filon. Aujourd'hui, il reste un surplomb de 70 cm, mais les blocs affaissés indiquent qu'il a pu dépasser à l'origine le mètre. La fouille a fait apparaître un surcreusement de l'affleurement en plusieurs cuvettes. Leur remplissage est à peu près identique sur l'ensemble du site. Les inclusions de bois et de charbons attestent l'usage du feu. La stratigraphie originelle a surtout subi des phénomènes de lessivage et des infiltrations de terre végétale.

La fouille des Tranchées Moyenne et Inférieure a confirmé la faible profondeur et la faible envergure de ces ouvrages à ciel ouvert (1,2 à 2,5 m de profondeur). Ils s'articulent sous la forme de tranchées inclinées qui épousent le pendage du filon. Leur remplissage est peu puissant, surtout dans la partie inférieure (un demi-mètre à un peu plus d'un mètre de profondeur). La Tranchée Moyenne mesure 4 m de long sur 2 m de large et plus de 2 m de profondeur. Elle présente un surplomb de 1,5 m car le filon est incliné à 45°. Le filon quartzeux est puissant de 1,5 m, mais il tend à s'amincir en profondeur. La roche encaissante et le filon sont recoupés par des fractures. Certaines parois portent les stigmates du feu, mais il semble que l'abattage ait été principalement manuel.

La Tranchée Moyenne s'ouvre en aval sur un couloir étroit, long de 2,5 m, où le filon s'est rétréci à 0,7 m (pl. 11, p. 575). Il est fortement « brechifié », notamment par des fractures N150 35S et une karstification hydrothermale affecte l'ensemble de la minéralisation. La découpe naturelle de la roche a été mise à profit par les mineurs qui ont simplement « désobstrué » la cavité. Cet ouvrage présente le remplissage le plus important mesurant 4 m de longueur et 1 à 2 m de largeur. Il est principalement constitué de sédiments, de colluvions et de matériaux issus de la halde entraînés dans la pente.

Plus en aval, dans la grande Tranchée Inférieure longue de 8 m, le phénomène de fracturation – karstification s'estompe. Ainsi, dans la zone où la minéralisation est saine et où le filon s'épaissit, la tranchée redevient spacieuse. Elle présente localement une profondeur de 3 m et un surplomb rocheux d'un peu plus d'un mètre. Entre deux plans parallèles, le remplissage du filon est une brèche de quartz et calcite, avec des mouches de galène, de chalcopyrite et de pyrite. Des géodes de quartz sont abondantes au toit, au mur et dans les fractures transversales. Dans la partie la plus spacieuse, la forme arrondie des parois atteste l'utilisation de l'abattage par le feu. La roche présente les mêmes particularités que dans la Tranchée Supérieure. Elle est fracturée. La paroi nord est poreuse et « percée » de géodes. Enfin, dans la partie terminale, la tranchée redevient étroite et le fond présente une allure tourmentée liée à la réapparition de la fracturation – karstification.

Les ouvrages de Faravel II constituent un bon exemple de prospection minière où chaque renflement du filon a été exploité à ciel ouvert par des attaques en tranchées, rapidement avortées du fait de la stérilité du gisement. Ces travaux, datés par le radiocarbone, ont eu lieu dans le courant du Xe siècle.

I.2.2. Quartier de Fangeas

Les ouvrages de recherche

Les ouvrages miniers de Fangeas sont visibles sur une aire de 130 m x 90 m qui s'étend juste en aval du lac du Fangeas, en rive gauche du torrent des Oules (*cf.* fig. n°1, p. 556 et pl. 2, p. 558 ; pl. 13, p. 580). Ils s'échelonnent depuis le lit du torrent jusqu'à 40 m plus en amont sur un versant à pente douce scandée par des escarpements de gneiss séparés par des zones herbeuses et boisées. La zone nord est occupée par un mélézin de substitution assez dense alors que la partie sud est occupée par des landes à Éricacées et genévriers.

Les travaux miniers décrits du nord au sud sont constitués principalement d'ouvrages de recherche peu étendus et peu profonds et de deux ouvrages d'exploitation plus importants. Une tranchée appelée « Tranchée de Base » longue d'une dizaine de mètres est située au bord du torrent des Oules. Elle est presque entièrement comblée par des alluvions déposées par les crues. À la côte 0, une amorce de galerie (alt. 1969 m) ouverte par le feu qui suit une fracture très ténue, entaille la base de l'escarpement rocheux surplombé par le sentier pédestre de Fangeas. Elle ne dépasse pas 2 m de longueur. Au-dessus, une dépression envahie par la végétation pourrait signaler l'existence d'un grattage (pl. 14, ph. 5, p. 581).

Planche 13 : Localisation des ouvrages de Fangeas situés à la limite supérieure du mélézin.

PLANCHE N°14 : OUVRAGES DE RECHERCHE DU SECTEUR DE FANGEAS

1. Puits sud-ouest noyé
(Puits Jumeaux) (cl. B. Ancel).

2. Puits nord-est noyé (Puits Jumeaux) (cl. B. Ancel).

3. Recherche du Sentier
(cl. B. Ancel).

4. Fosse du Sentier (cl. B. Ancel).

5. Recherche du Torrent
(cl. B. Ancel)

À l’est du Grand Puits, le sentier de Fangeas est dominé par un escarpement rocheux entaillé par deux ouvrages de recherches appelés « Recherches du Sentier » (*cf.* pl. n°14, ph. 3 et 4, p. 581). Au pied du ressaut, une amorce de galerie est ouverte sur 1,50 m de profondeur (alt. + 1979 m). Le sommet du ressaut est entaillé par une tranchée étroite décalée vers le sud-est, longue de 4 m et profonde de 1,50 m au maximum.

Au sud du Grand Puits, un escarpement peu marqué est percé par deux descenderies (alt. + 2003 m) inclinées vers le sud, comblées et noyées (Puits Jumeaux) (*cf.* pl. 14, ph. 1 et 2, p. 581). Plus en aval, sur les mêmes indices filoniens, deux dépressions encastrées dans le rocher et envahies par la végétation suggèrent l’existence de grattages.

Au-dessus du sentier, l’escarpement rocheux forme deux ressauts successifs. Au sommet du ressaut supérieur, les gneiss forment un replat assez étendu où une petite dépression comblée avait été repérée (alt. + 1987 m). Le décapage de la zone a révélé les contours d’une petite fosse aux parois très arrondies appelée « Marmite » (*cf.* pl. 15, p. 584). Elle mesure 1 m de diamètre dans sa partie supérieure et 60 cm dans sa partie inférieure. Elle est profonde de 1,20 m. Son comblement est constitué d’une épaisse couche d’humus, de terre végétale avec de nombreuses racines, de blocs et de cailloutis centimétriques riches en matériaux organiques et en charbons de bois. Le fond de la cuvette est tapissé d’une fine couche grise et pulvérulente riche en charbons de bois. Elle n’est pas associée à des déblais d’abattage caractéristiques (cailloutis anguleux et graviers). Poursuivi en direction du nord-est pour repérer d’éventuels aménagements, le décapage a révélé des surcreusements du sol rocheux. Ils forment des sortes de petits chenaux destinés à évacuer et à dévier les eaux de ruissellement engouffrées dans la Marmite. Leur tracé contourne le surplomb du ressaut de la Grande Fosse (*cf.* pl. 15, p. 584). Ce petit ouvrage est probablement lié à une recherche sur un filon stérile. Il semble avoir été intégralement taillé par feu. Ses formes arrondies sont très caractéristiques. Ses faibles dimensions révèlent une parfaite maîtrise de la technique et posent le problème du mode opératoire dans des conditions de travaux de prospection. Son creusement est probablement contemporain de la découverte du filon exploité au niveau de la Grande Fosse.

- . -

Ces travaux de recherche n'ont pas encore été datés. Ils peuvent appartenir à la première phase de prospection conduite dans le courant du Xe siècle qui a abouti à la découverte des filons riches de Faravel I (secteur Ouest) et de Fangeas (Grand Puits). Comme au Fournel, les prospecteurs guidés par les affleurements dans les zones non végétalisées (ou déboisées ?) les plus exposées à l'érosion et par les filonnets recoupés par les eaux du torrent des Oules ont fouillé tous les recoins de la montagne. Il est vraisemblable que d'autres vestiges sont encore à découvrir, notamment dans les secteurs sous couvert forestier où la prospection archéologique est plus difficile. La chronologie de ces travaux est délicate puisque seule une partie d'entre eux a été datée par le radiocarbone. Il est probable que ces travaux soient le fruit de plusieurs campagnes de recherches.

PLANCHE N°15 : LA MARMITE (SECTEUR DE FANGEAS)

1. Vue de l'ensemble de l'ouvrage depuis le sud-ouest (cl. V. Py).

2. Détail de la cuvette, vue depuis le nord-est (cl. V. Py).

3. Détail paroi ouest de la cuvette (cl. V. Py).

La Grande Fosse et ses abords

Au niveau du ressaut inférieur le sol rocheux dessine un petit replat (alt. 1983 m) (*cf.* pl. 13, p. 580). Le décapage de cette zone a mis en évidence une surface plate striée par le passage du glacier (*cf.* pl. 16, p. 586). Du côté du sud-est, à 40 cm du couloir d'entrée, l'emplacement d'un poteau signalé par une encoche carrée taillée dans la roche a été retrouvé. Il indique l'existence de structure en bois en élévation au niveau du couloir d'entrée (cabane couverte ?). L'élargissement du décapage en direction du nord-est, au niveau de la bordure de l'escarpement rocheux situé en face du couloir d'entrée, sur le côté sud-est, a révélé un mince placage de déblais riche en charbon de bois à l'extrémité du couloir d'entrée. Il atteste le recours à l'abattage par le feu pour excaver la zone du couloir.

L'angle situé entre ce replat et le deuxième ressaut est surcreusé par un chenal sous-glaciaire qui a l'allure d'un petit canyon sinueux. Un chantier subvertical appelé « Grande Fosse » entaille à la fois ce replat et la moitié inférieure du ressaut supérieur (*cf.* pl. 16, p. 586). Du côté nord, le chantier est précédé par un petit couloir en cuvette et, du côté sud-ouest, il est prolongé par une galerie de recherche longue de 2,50 m aux formes arrondies (*cf.* pl. 16, ph. 1, p. 586 ; pl. 17, p. 587 ; pl. 18, p. 588).

Le couloir qui précède la fosse mesure 0,80 m de hauteur, 2 m de long, 1 m de large à la base et près de 2 m au sommet. Du côté sud-est, elle suit la fracture stérile du filon. Les parois sont assez irrégulières et subissent l'influence de la fracturation de la roche. La roche ne présente ni le poli glaciaire du gradin, ni la surface lisse des parois abattues par le feu. Il peut donc s'agir du résultat d'une purge manuelle effectuée par les mineurs ou d'écroulements survenus durant l'exploitation ou après. Localement, des portions de roche arrondies peuvent refléter un abattage par le feu.

La galerie de recherche paraît constituer l'extrémité d'une galerie de recherche originelle beaucoup plus longue, qui a précédé le creusement de la fosse. Au niveau de l'entrée, elle est haute de 1,70 m et diminue progressivement de taille pour atteindre 1,50 m de hauteur à 1 m du front de taille. Elle présente une largeur qui varie de 1,10 à 1,25 m. Le front de taille, précédé par un surcreusement en forme de cuvette, est parfaitement arrondi. Tout l'ouvrage a été entièrement creusé par le feu.

PLANCHE N°16 : OUVRAGES DE LA GRANDE FOSSE

1. Vue du couloir d'entrée et de la galerie de recherche (cl. B. Ancel).

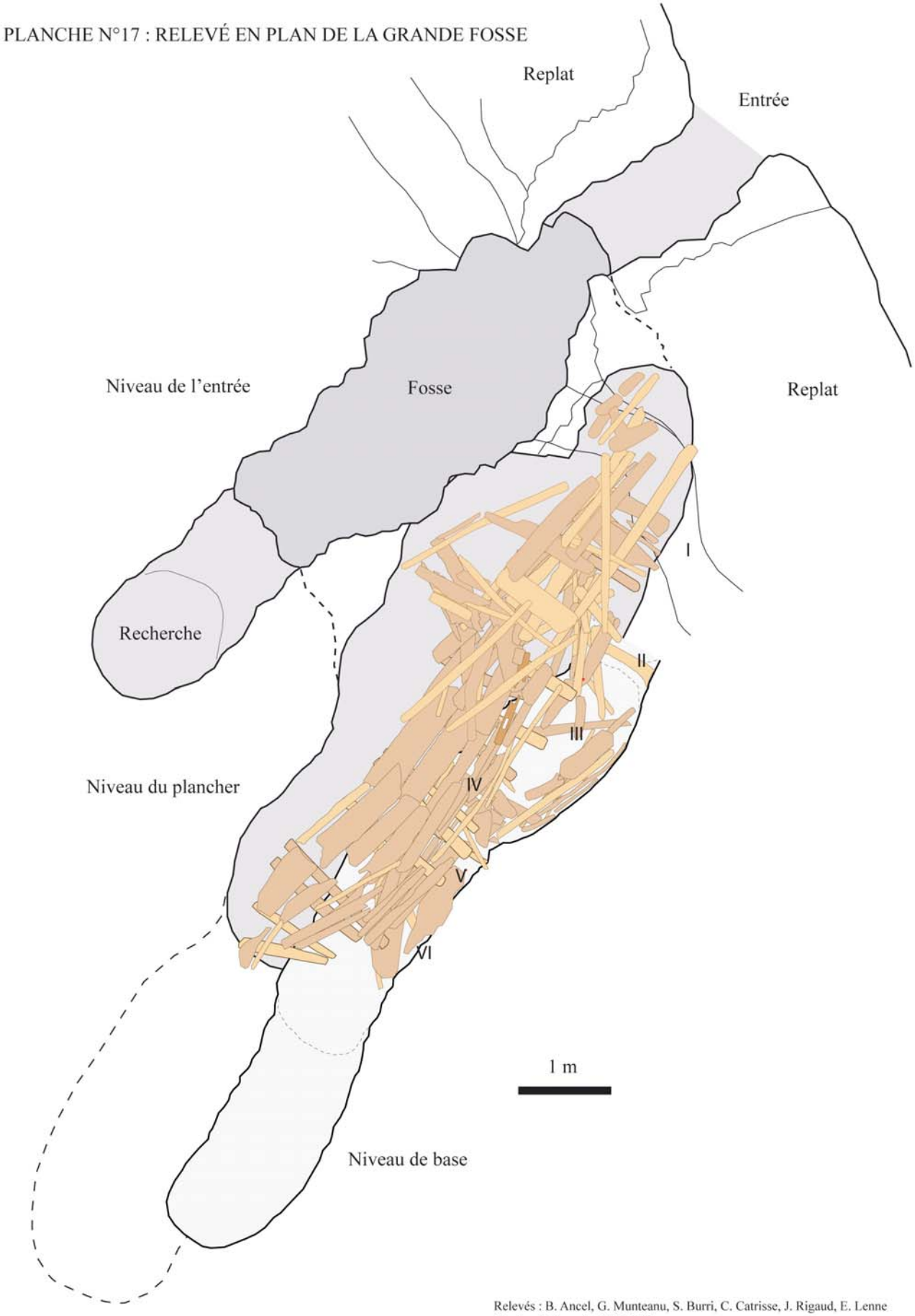
2. Vue de l'entrée du chantier depuis le ressaut supérieur (cl. B. Ancel).

3. Vue du couloir depuis le ressaut supérieur (cl. B. Ancel).

4. Vue du chenal glaciaire (cl. B. Ancel).

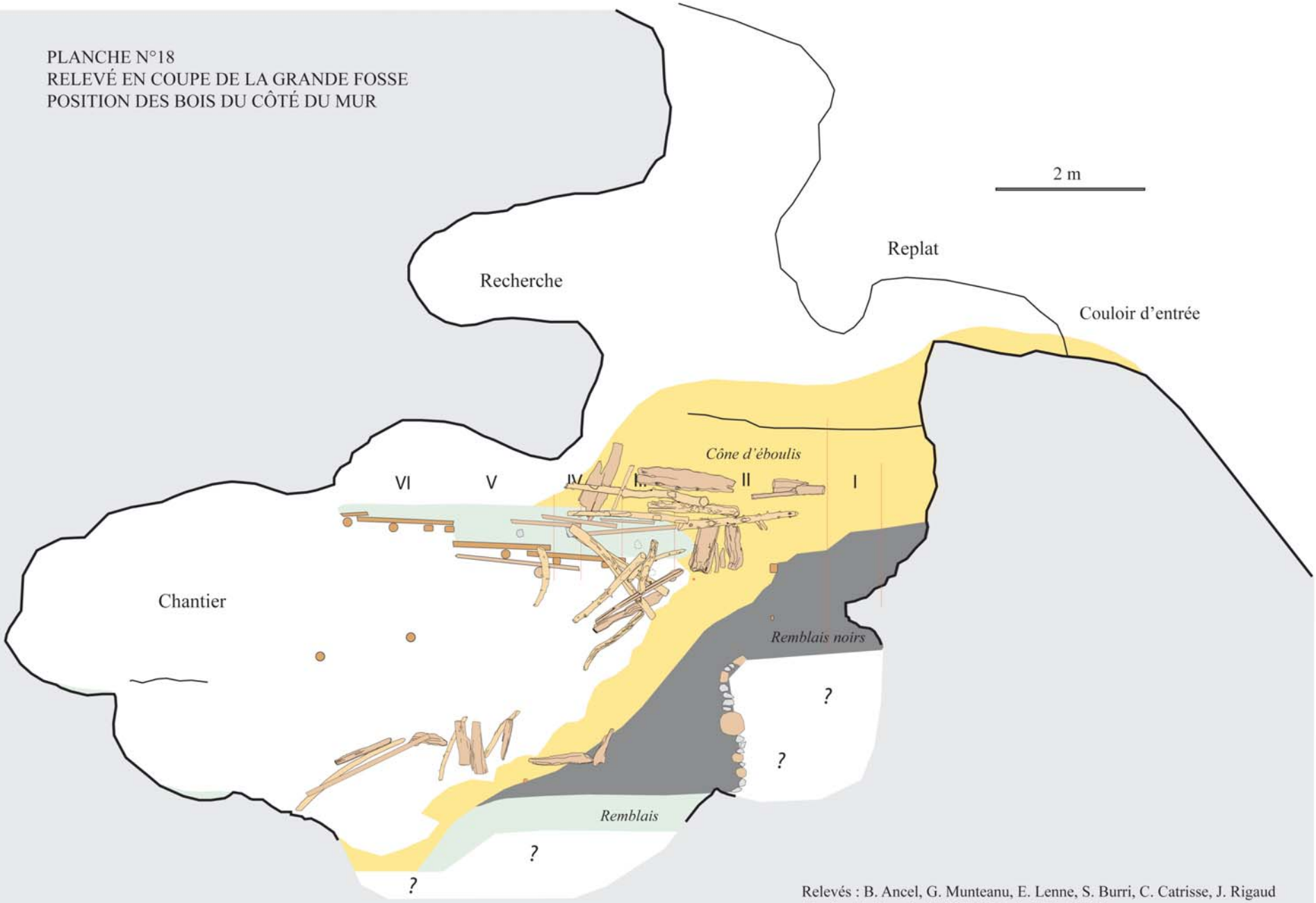
5. Vue de la Grande Fosse depuis l'entrée (cl. B. Ancel).

PLANCHE N°17 : RELEVÉ EN PLAN DE LA GRANDE FOSSE



Relevés : B. Ancel, G. Munteanu, S. Burri, C. Catrisse, J. Rigaud, E. Lenne
Dessin : B. Ancel - 2005-2008

PLANCHE N°18
RELEVÉ EN COUPE DE LA GRANDE FOSSE
POSITION DES BOIS DU CÔTÉ DU MUR



Relevés : B. Ancel, G. Munteanu, E. Lenne, S. Burri, C. Catrisse, J. Rigaud
Dessin : B. Ancel - 2005-2008 (bois V. Py 2008)

Plus bas, sous la cote – 1,50 à – 2 m, la fosse s'allonge du côté ouest et sa longueur atteint alors 12 m. Il est presque vertical et suit le pendage du filon incliné à 80° sud-est. Sa largeur varie de 80 cm à plus de 1 m. Les parois lisses et arrondies forment des concavités qui marquent les différentes étapes de progression de l'exploitation. Elles donnent une allure légèrement sinueuse au chantier, tant dans le plan vertical que dans le plan horizontal. Le front de taille présente deux paliers à – 5 et – 6,20 m. Du côté est, le front de taille montre un rétrécissement vers – 3,50 m et un autre gradin vers – 6 m qui n'a pas encore pu être fouillé. Le rétrécissement est le témoin d'un ancien palier surcreusé. Au centre, la fosse présente un renfoncement qui n'a pas encore été fouillé, dont la base pourrait se situer vers – 7,50 m, voire – 8 m. Les datations radiocarbones obtenues à partir des charbons de bois prélevés dans les remblais de la galerie de recherche et sur le sol du couloir d'entrée placent l'exploitation de ce chantier entre la deuxième moitié du XIe et la première moitié du XIIe siècle. Les bois déposés et une partie des bois restés en place ont été échantillonnés pour la dendrochronologie. Les résultats sont en attente.

Le Grand Puits et ses abords

Une zone de halde non végétalisée s'étend après un autre ressaut (pl. 13, p. 580). Elle occupe une surface de 400 m^2 environ et ne présente pas de morphologie particulière (pl. 19, ph. 1, p. 590). En amont, elle est couronnée par une fosse, appelée « Grand Puits » (alt. + 1998), qui était presque entièrement comblée et quasi imperceptible dans le paysage (pl. 19, ph. 3, p. 590). Suivant les conditions climatiques, elle peut être noyée ou asséchée. Juste au-dessus, deux petites foncées circulaires sont ouvertes (alt. + 2000 m) pl. 19, ph. 2 et 4, p. 590). La plus spacieuse (1,80 x 1,50 m) domine l'extrémité d'un chantier souterrain (pl. 19, ph. 5, p. 590). La plus petite (0,75 x 1 m) débouche latéralement dans un chantier remblayé qui s'enfonce en direction du nord-est, là où il communique avec la fosse du Grand Puits. Il est également plus ou moins inondé suivant les conditions climatiques (pl. 20, p. 591). Le décapage jusqu'à la roche des abords de la fosse du puits a révélé que la minéralisation avait été reconnue par un grattage, en amont de la fosse, au-dessus du chantier souterrain et en direction de la foncée supérieure. Du côté est de la fosse, c'est-à-dire du côté de la pente du versant, un couloir surcreuse légèrement la roche et rabaisse de quelques décimètres le seuil du Grand Puits (*cf.* pl. 21, p. 592).

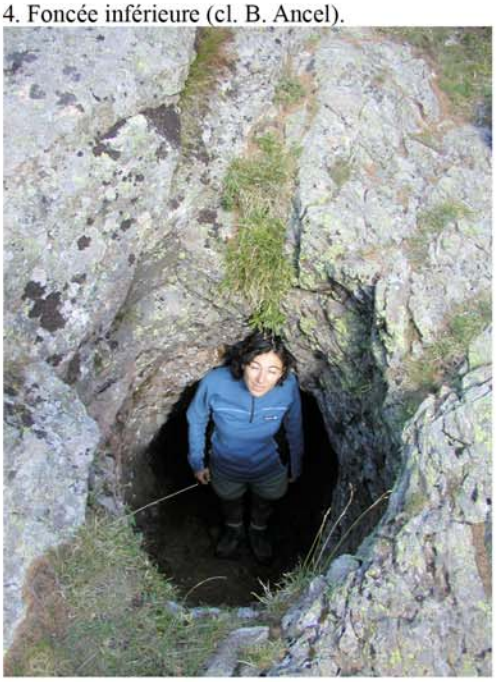
PLANCHE N° 19 : OUVRAGES DU GRAND PUITS (SECTEUR DE FANGEAS)

1. Halde du Grand Puits (cl. B. Ancel).

2. Foncée supérieure (cl. B. Ancel).

3. Fosse du Grand Puits avant fouille (cl. B. Ancel).

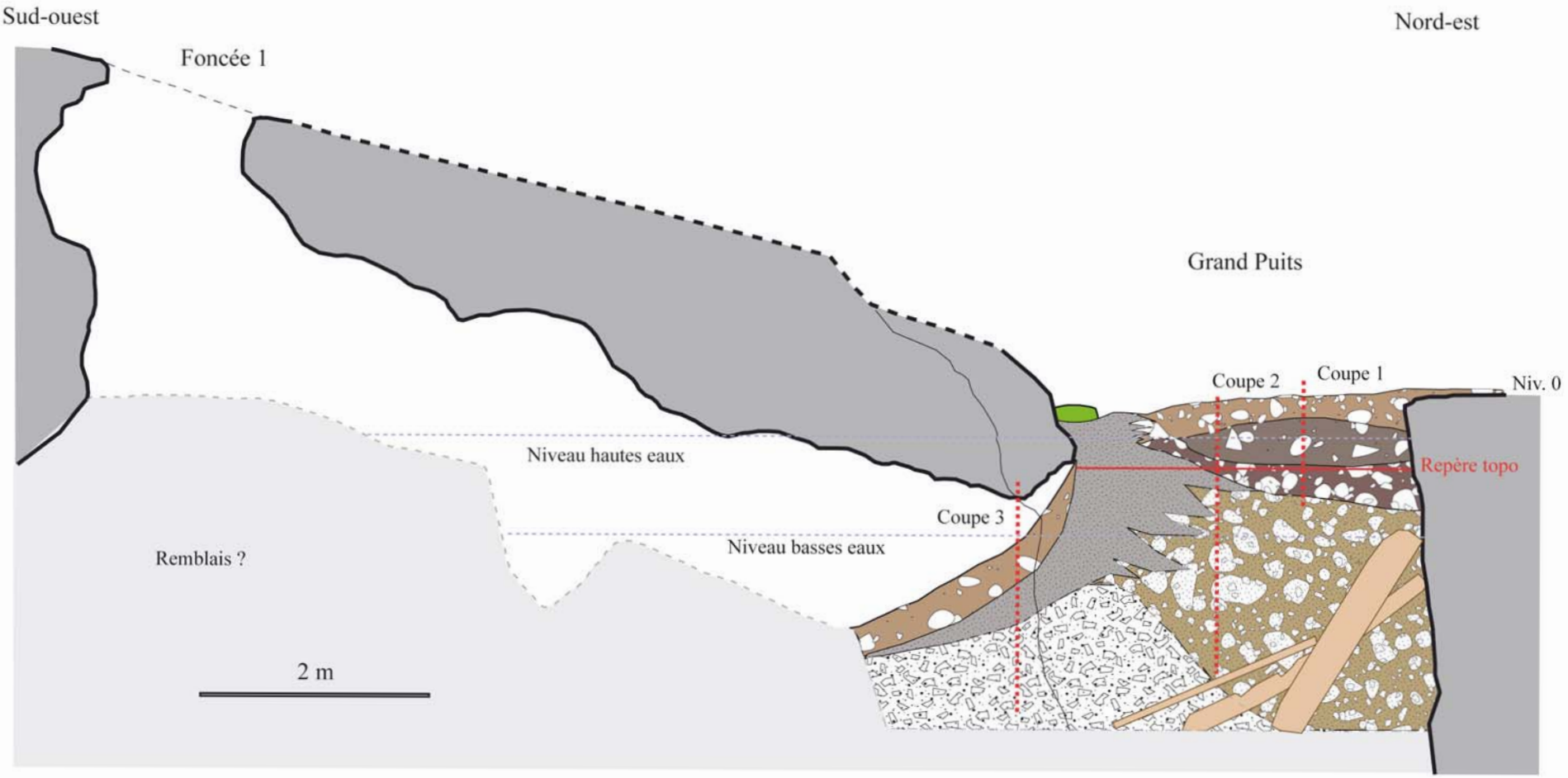
4. Foncée inférieure (cl. B. Ancel).



5. Chantier du Grand Puits (cl. B. Ancel).

PLANCHE N°20 : COUPE LONGITUDINALE DU GRAND PUITS AVEC LOCALISATION DES DERNIERS GRANDS BOIS DÉGAGÉS

1/50



Relevés B. Ancel, S. Burri, G. Munteanu et V. Py 2005-2008
Dessin B. Ancel et V. Py 2005-2009

PLANCHE N°21 : OUVRAGES DU GRAND PUITS (SECTEUR DE FANGEAS)

1. Vue entrée Grand Puits et halde avant fouille depuis l'0uest (cl. S. Burri).

2. Grattages nord (cl. S. Burri).

3. Vue entrée Grand Puits et ses abords après décapage (cl. S. Burri).

4. Vue de la fouille depuis le Nord (cl. S. Burri).

5. Fin fouille (cl. S. Burri).

6. Détail aire préparation mécanique (cl. S. Burri).

Le dégagement de la fosse a très vite montré sa forme sub-rectangulaire et ses dimensions spacieuses (2,50 x 2 m) (*cf.* pl. 22, p. 594). Elle oblique de 20° environ avec la direction du filon exploité par le chantier souterrain. En profondeur, les parois de la fosse sont de mieux en mieux conservées et la forme sub-rectangulaire est précisée. Cet ouvrage vertical calibré se développe indépendamment de la minéralisation. Il s'agit de la portion sommitale d'un puits d'extraction dont la profondeur doit être importante à en juger l'ampleur de ses proportions et de celles de la halde. La découverte d'importants boisages conforte cette hypothèse (*cf.* pl. 22, p. 594). Jusqu'à la profondeur de 2,50 m, le Grand Puits est ouvert du côté sud-ouest. Le côté opposé ne montre pas de trace de minéralisation. Le chantier souterrain s'étend à partir de 0,70 m de profondeur. Au-dessus, la trace du filon est bien visible et la paroi de la fosse atteste un abattage par le feu qui se poursuit en hauteur par le grattage de surface. La fouille du puits jusqu'à une profondeur de 2,50 m ouvre un accès confortable vers le chantier souterrain qui se développe sur 8,50 m de longueur, avec une largeur de 1,50 m à 2 m. Son faîte s'élève à 20° environ jusqu'à l'ouverture de la foncée supérieure. L'ensemble de l'ouvrage a été ouvert par le feu et toutes les parois sont lisses et arrondies. Son remplissage qui s'élève aussi à 20° est coiffé par des colluvions, mais il est surtout composé de déblais d'abattage par feu. Ces travaux constituent manifestement l'exploitation la plus importante du secteur de Fangeas-Faravel. Les datations radiocarbones obtenues à partir des charbons de bois issus des remblais miniers datent son exploitation entre la deuxième moitié du XIe et la première moitié du XIIe siècle. Une datation plus haute a été obtenue signalant une phase de recherche très antérieure datée du courant du Xe siècle. L'articulation de ces différentes phases d'exploitation et de recherche est précisée grâce à l'étude stratigraphique du comblement de ces ouvrages.

Comme à l'Argentière, les datations radiocarbones obtenues pour les sites de Fangeas et Faravel indiquent des phases de recherches et d'exploitation antérieures à la chronologie fournie par la documentation écrite conservée. Avant le XIIe siècle, le vide documentaire est complet pour la Haute-Durance et de façon plus large pour les Alpes sud-occidentales françaises. La situation est différente dans les Alpes lombardes où les sources écrites qui attestent l'existence d'une activité minière remontent au Xe siècle, période qui semble-t-il est caractérisée par un épisode de prospection minière dans la montagne de Dormillouse et à l'Argentière.

PLANCHE N°22 : OUVRAGES DU GRAND PUITS (SECTEUR DE FANGEAS)

1. Vue Fosse du Grand Puits en cours de fouille (cl. B. Ancel).

2. Grand Puits en cours de fouille vue départ du chantier (cl. B. Ancel).

3. Détail bois du Grand Puits (cl. B. Ancel).

4. Détail échelle à grimper (cl. B. Ancel).

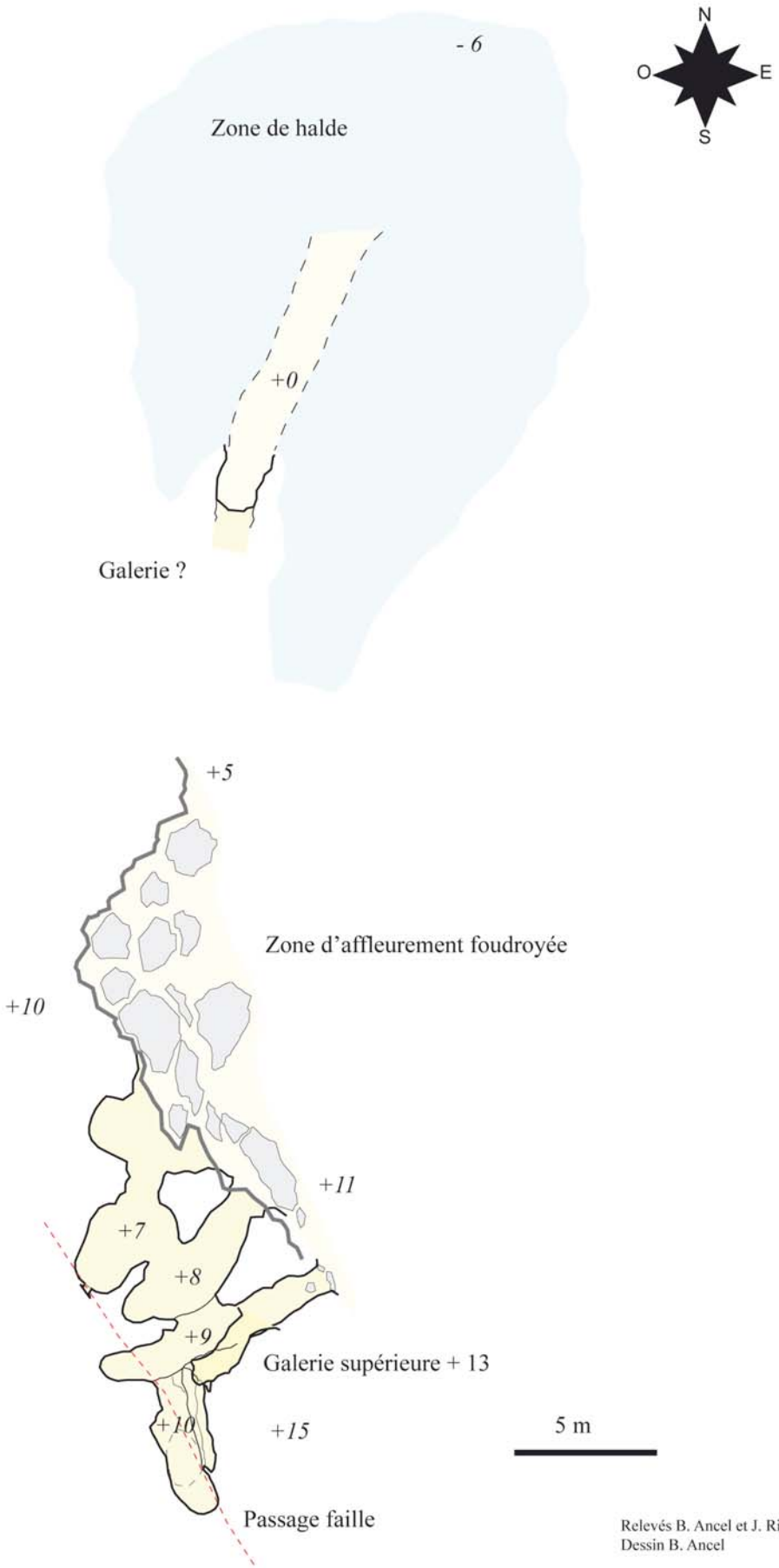
La précision du phasage chronologique de l'exploitation minière dans la montagne de Dormillouse est donc primordiale. Son affinement est possible grâce à l'étude stratigraphique des remplissages des travaux et à l'analyse croisée des pics de probabilité radiocarbones obtenus pour certains dépôts.

I.2.3. Quartier du Réseau de la Cascade

Les travaux du Réseau de la Cascade se situent à 320 m au nord-ouest du site de Fangeas, en rive droite du torrent du Pont de Fer, à 200 m en amont de la petite passerelle du sentier (*cf.* fig. n°1, p. 556). Ils se localisent vers 1970-1980 m d'altitude entre une zone rocheuse où cascade le torrent et une zone de falaise qui forme une sorte de plateau dominant la confluence des torrents du Pont de Fer et des Oules. Ils sont jalonnés au bord d'un ravin, en rive gauche d'un ancien torrent glaciaire encombré d'éboulis provenant de la falaise de la rive droite qui envahissent l'affleurement du gîte. Les ouvrages reconnus sont principalement des anciens travaux ouverts par le feu. Ils ont fait l'objet de travaux de reprise modernes localisés. Le relevé topographique et l'observation naturaliste de ce réseau inédit ont été réalisés en 2007 par B. Ancel (Py *et al.* 2007) (*cf.* pl. 23, p. 596). Le secteur n'a pas encore fait l'objet d'une campagne de fouille.

Le gîte est un petit filon de direction N60° encaissé dans les gneiss. Son pendage est faible vers le nord-est tandis qu'il paraît se redresser de 20° à 40° plus haut sur le versant. Il semble se pincer vers l'amont et vers l'aval. Il est délimité du côté est par l'érosion du ravin et du côté ouest par une faille orientée N150° - O80°. Il n'a pas pu être déterminé s'il s'agissait de galène, de plomb ou de cuivre car la minéralisation n'est pas visible sur les fronts de taille accessibles. L'affleurement de ce filon qui suit le bord du ravin a été attaqué sur une vingtaine de mètres de longueur (cotes + 5 à + 12). Des travaux se sont enfoncés vers l'ouest mettant en porte-à-faux une faible épaisseur de roche qui a fini par s'effondrer sur toute la longueur de l'affleurement, obstruant leur accès. On peut supposer qu'il existait à cet endroit au moment de l'exploitation des ouvrages de consolidation en bois qui auraient disparu. Seule la moitié supérieure des travaux est restée accessible à partir d'une petite foncée située à la cote + 14 (*cf.* pl. 24, p. 597).

PLANCHE N°23 : RELEVÉ EN PLAN DU RÉSEAU DE LA CASCADE



Relevés B. Ancel et J. Rigaud 2007
Dessin B. Ancel

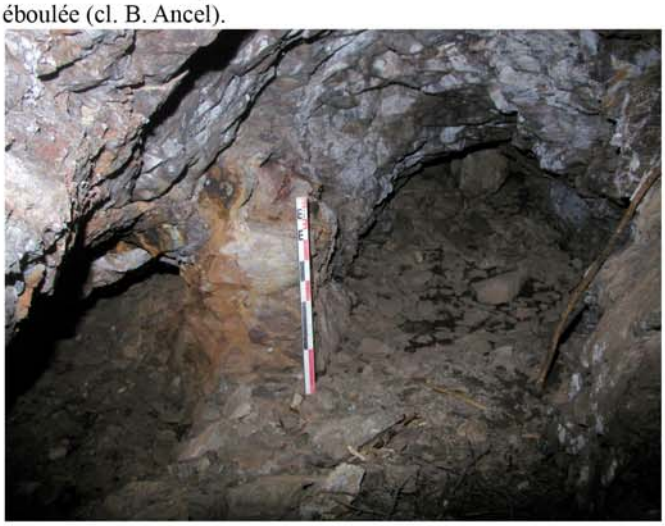
PLANCHE N°24 : OUVRAGES DU RÉSEAU DE LA CASCADE

1. Foncée verticale supérieure ouverte par le feu (cl. B. Ancel).

2. Puits supérieur donnant accès au réseau (cl. B. Ancel).

3. Chantier sub-vertical - paroi taillée par le feu (cl. B. Ancel).

4. Vue du niveau supérieur vers l'entrée éboulée (cl. B. Ancel).



5. Front de taille ouvert par le feu de la galerie sur faille du niveau supérieur (cl. B. Ancel).

Le foudroyage de la zone d'attaque du filon et l'accumulation des coulées d'éboulis provenant de la rive droite du ravin masquent sous plusieurs mètres d'épaisseur de blocs métriques et de cailloux toute la zone où l'exploitation a démarré. Elle demeure parfaitement inaccessible.

Dix mètres plus en aval, une halde piquetée d'une faible végétation s'étend en rive gauche du ravin sur une surface d'environ 20 x 15 m (cotes – 6 à + 1). Elle est entaillée par un couloir en partie éboulé, qui aboutit à un renfoncement rocheux où apparaît une entrée presque complètement comblée. Il pourrait s'agir d'une galerie (cote 0) qui rejoindrait au bout d'une dizaine de mètres les travaux d'exploitation foudroyés. Mais, la tranchée d'entrée semble trop récente pour dater du Moyen-Âge ou d'une époque plus ancienne. Cette galerie pourrait témoigner d'une tentative de reprise moderne qui est par ailleurs attestée par la documentation écrite et la mémoire des gens du pays.

Les travaux souterrains accessibles se développent sur une trentaine de mètres. Ils présentent trois niveaux de galeries parallèles qui s'étagent dans le plan du filon faiblement incliné. Elles partent toutes les trois depuis la zone d'affleurement foudroyée et s'enfoncent en direction du sud-ouest. Le niveau de galerie le plus bas (+ 7) s'allonge sur 6 m à partir d'une petite salle envahie par les matériaux du foudroyage. Elle communique latéralement avec la seconde galerie (+ 8), accessible également sur 6 m de longueur. Les éboulements déversés dans ces deux galeries laissent passer la lumière du jour entre les blocs du plafond foudroyé. Un petit ressaut rocheux fait communiquer le seconde galerie avec le troisième niveau (+ 9), accessible sur 8 m de longueur. Les trois galeries sont très encombrées par des remblais où apparaissent des fragments de charbons de bois épars, témoins du recours à l'abattage par le feu. Sur la surface du sol, quatre galets de grès ont été trouvés. Ils n'ont probablement pas été acheminés ici sans intervention humaine. L'un d'entre eux (10 x 7 cm) présente des traces d'usure sur un de ses côtés. Il pourrait avoir servi de percuteur. Sa présence suggère une étape de traitement minéralurgique *in situ*. Or, en l'absence d'élément de datation absolue, son utilisation comme outil d'abattage protohistorique ou antique, destiné à la purge de la roche échauffée, ne doit pas être totalement écartée, même si elle est peu probable.

Le troisième niveau de galerie traverse la faille N150° sur laquelle s'embranche une galerie pratiquement pas remblayée orientée nord-sud, longue de 5 m (+ 10). Elle débute par

un petit ressaut rocheux et dessine une pente légèrement descendante générant une accumulation d'eau à son extrémité. Son plafond forme une petite élévation où le jour perce par une lucarne (+ 13). Il s'agit d'une jonction entre le plafond des travaux souterrains et une petite tranchée longue de 3 m. Ce passage exigu qui forme une foncée verticale n'a certainement pas servi à la circulation de mineurs et des matériaux, mais a pu faire office de puits d'aérage.

Tous ces travaux de petits gabarits aux parois lisses et concaves témoignent du recours presque systématique à la technique d'abattage par le feu. Leurs similarités avec les travaux médiévaux de Fangeas et de Faravel militent pour leur correspondance chronologique. Or, même si cela est peu probable, nous ne pouvons pas exclure l'existence d'une exploitation plus ancienne attestée par l'analyse isotopique des tourbes du plateau de Fangeas. La galerie ouverte dans la halde et les blocs foudroyés qui camouflent la zone d'entrée de l'ancienne exploitation souterraine sont les témoins probables de travaux de reprise beaucoup plus récents (XVIIIe siècle ?) peut-être contemporains des reprises au fleuret identifiées à Faravel I (secteur Est).

Les travaux du Réseau de la Cascade concernent une petite lentille minéralisée exploitée sur une surface de l'ordre de 60 m^2 seulement. La zone foudroyée peut néanmoins masquer des ouvrages plus importants. Cet ensemble pourrait constituer, comme à Fangeas et à Faravel, un petit secteur d'exploitation du district minier médiéval de *Faravellum*.

I.3. ANALYSE DES REMBLAIS MINIERS ET DES REMPLISSAGES, DYNAMIQUE OPÉRATOIRE ET CHRONOLOGIE DE L'EXPLOITATION

L'intérêt de l'étude des remblais miniers a déjà été démontré dans la partie II consacrée à la mine du Fournel. Elle permet de préciser la dynamique opératoire, les stratégies d'exploitation adoptées par les mineurs et la chronologie relative des travaux. En replaçant les dépôts carbonisés et les bois dans un espace-temps, elle donne une assise solide aux approches anthracologiques et dendrologiques. La qualité de conservation des ouvrages et de leur remplissage contribue à améliorer la caractérisation des premières phases de prospection minière et de recherches mal connues au Fournel.

I.3.1. Étude des remplissages des ouvrages de Faravel I

Halde Supérieure (versant ouest)

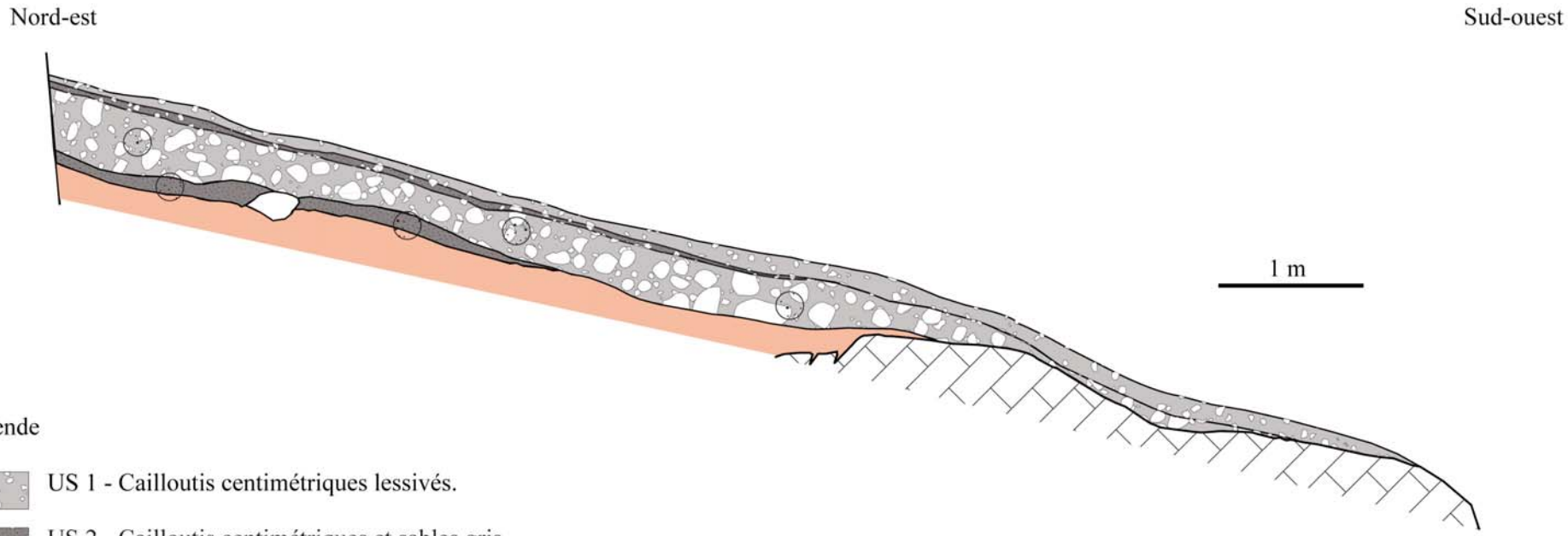
Dans la partie sommitale de la halde, une légère concentration de cailloux mouchetés de galène peut attester l'existence d'une aire de préparation mécanique, mais les indices sont trop ténus pour être catégorique à ce sujet. Cette hypothèse sera confortée ou invalidée par l'analyse sédimentologique des déblais observés et prélevés dans cette zone.

Un sondage dirigé N40 aligné suivant la pente de 15° et mesurant 11 m de longueur, a été effectué au sein des déblais de la halde (*cf.* pl. 3, p. 564). Sa profondeur n'a pas excédé 0,70 m car le *substratum* rocheux a été rapidement rencontré (*cf.* pl. 25, p. 602). Le volume de déblais accumulés à cet endroit est de l'ordre de 100 à 120 m^3 ce qui correspondrait au volume extrait dans la Grande Fosse. Cet amas offre donc une synthèse des résidus de l'extraction du chantier exploité juste en amont, dont seule une faible partie aurait été stockée ou plutôt remobilisée à l'intérieur de l'ouvrage. Une datation radiocarbone des remblais de la fosse et des déblais de la halde permettrait de préciser ce scénario.

La zone superficielle de l'amas de déblais est composée de cailloutis centimétriques lessivés. Elle scelle une mince couche de résidus sombres constitués de cailloutis et de sables gris issus de la concentration des matériaux fins lessivés en surface. Le « corps » de la halde situé sous cette passe présente des formations de cailloutis centimétriques, des blocs pouvant dépasser le décimètre inclus dans une matrice de graviers et de sables gris avec beaucoup de vides. Il est fréquent de trouver des fragments de bois de refend non carbonisés alors que les charbons de bois sont pulvérulents (*cf.* pl. 25, p. 602). La base du remplissage est riche en sables et en charbons de bois issus de l'accumulation des produits lessivés de la couche supérieure. Le *substratum* rocheux est tapissé d'une passe argileuse brun-rouge résiduelle parsemée de rares blocs provenant de son érosion. L'aspect de cette couche ne permet pas de caractériser l'état du paléosol avant le démarrage de l'exploitation minière. Il est probable que la roche était déjà à nu, voire tapissée d'un mince tapis d'Herbacées.

La halde qui remplit cette cuvette ne présente pas de stratigraphie originelle. Elle a été exposée aux eaux de pluie et de fonte des neiges créant des niveaux d'accumulation de produits fins à la base du dépôt et en subsurface. Le niveau riche en charbons de bois offre un effet de synthèse du combustible utilisé durant toute la durée de rejet de ces déblais d'exploitation. Les charbons issus du départ de l'exploitation ont apparemment été mélangés aux charbons plus récents par lessivage. L'absence de produits rocheux calibrés qui pourraient provenir d'une activité minéralurgique pratiquée aux abords de la Grande Fosse doit être en partie attribuée au mauvais état de conservation de la stratigraphie originelle. Seule une analyse sédimentologique des produits fins pourrait éclaircir le problème de façon pertinente. Les résultats de cette analyse étant en attente, ils n'ont pas pu être intégrés à la réflexion.

PLANCHE N°25 : COUPE STRATIGRAPHIQUE LONGITUDINALE DU SONDAGE RÉALISÉ DANS LA HALDE SUPÉRIEURE
(FARAVEL I - VERSANT OUEST)



Légende

US 1 - Cailloutis centimétriques lessivés.

US 2 - Cailloutis centimétriques et sables gris.

US 3 - Cailloutis centimétriques et blocs décimétriques avec matrice de graviers et de sables gris avec vides.
Fragments de bois non carbonisés et charbons de bois souvent pulvérulents fréquents.

US 4 - Sables et charbons de bois.

US 5 - Terre argileuse brun-rouge avec de rares blocs.

Socle gneissique.

Prélèvement anthracologique.

Relevé B. Ancel et S. Laurent 2003
Dessin B. Ancel et V. Py 2003-2008

Tranchée Amont (versant ouest)

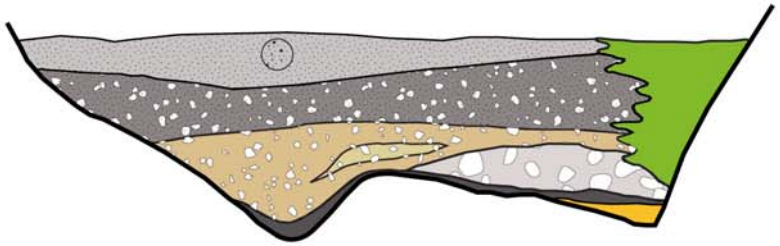
Dans la Tranchée Amont, quatre coupes stratigraphiques ont été dressées à moins de 1 m d'intervalle l'une de l'autre pour préciser la dynamique du remplissage (*cf.* pl. 26, p. 604 ; pl. 27, p. 605). La stratigraphie s'est avérée bien plus complexe que celle de la Halde Supérieure. Les bords du couloir formé par la tranchée situés au contact avec les parois rocheuses étaient envahis par l'humus et des radicelles (US 1). Les formations superficielles du remplissage présentent une alternance de cailloutis lessivés reposant sur des passes de matériaux fins. Les formations inférieures sont composées de cailloutis inclus dans une matrice à graviers pouvant présenter des faibles infiltrations de terre végétale. Une partie du remplissage du fond de la tranchée, légèrement comblée par des graviers et des sables gris, et le *substratum*, sont surmontés par une couche de cailloutis à matrice terreuse brun-rouge issue des ruissellements et remobilisée par les piétinements des mineurs. On retrouve au contact des travaux miniers des concentrations de charbons de bois (US 12). La couche argileuse brun-rouge résiduelle retrouvée sur le *substratum* au niveau de la halde était ici très fragmentaire.

Le fond du remplissage de la tranchée était donc constitué par les résidus des déblais d'abattage par le feu pratiqués *in situ*. Les charbons de bois situés au contact de la roche sont les vestiges potentiels des derniers feux opérés dans la tranchée. Une datation AMS réalisée à partir d'un seul fragment de charbon de bois provenant de ce dépôt (*Juniperus* sp.) place le creusement de la tranchée par le feu vers 890 ± 30 BP. L'intervalle calibré est plus lâche avec des pics de probabilités compris entre la deuxième moitié du XIe et le début du XIIIe siècle. Le caractère lâche de la fourchette chronologique est sans doute à attribuer au mode de datation. Pour ce genre de dépôt, cette remarque souligne la meilleure précision d'une datation radiocarbone classique réalisée à partir d'échantillons observés au préalable par un anthracologue.

Ce faible remblaiement a été piétiné puis envahi par le lessivage du *substratum* et des déblais remaniés, remobilisés par des ruissellements après l'exploitation de cette zone. Après cet épisode, le couloir a été à nouveau envahi par des déblais miniers issus des ouvrages amont, transformés par le lessivage météorique. Deux phases d'exploitation sont donc enregistrées dans ce remplissage.

PLANCHE 26 : COUPES STRATIGRAPHIQUES 1 ET 2 DE LA TRANCHÉE AMONT (FARAVEL I)

Coupe 1

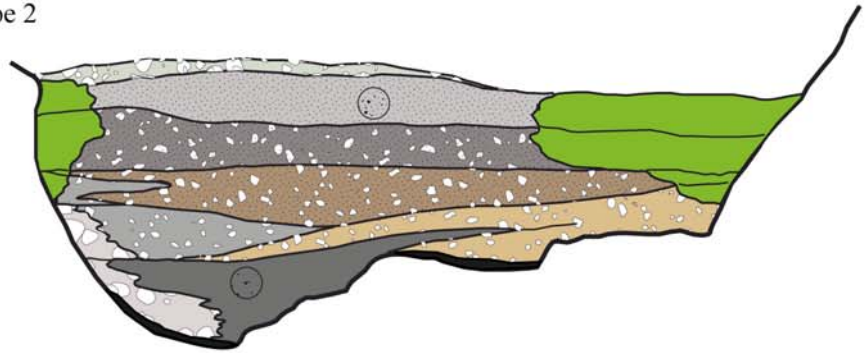


Nord-ouest

Sud-est

1 m

Coupe 2



Légende

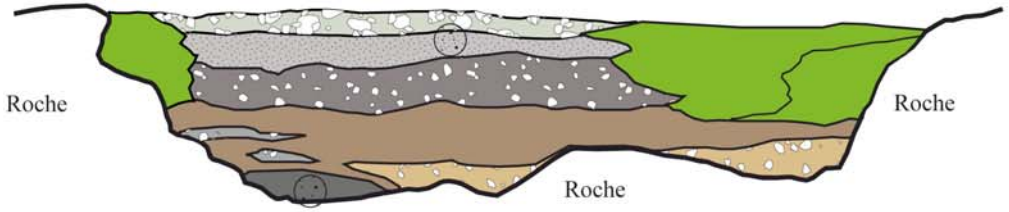
- US 1 - Humus.
- US 2 - Blocs et cailloutis lessivés.
- US 3 - Graviers et sables gris.
- US 4 - Cailloutis centimétriques avec sables.
- US 5 - Terre sableuse brun foncé avec cailloutis.
- US 6 - Lentille latérale de cailloutis et graviers dans l'US 5.
- US 7 - Lentille latérale de cailloutis et graviers sous l'US 5.
- US 8 - Cailloutis et terre brun rouge.
- US 8a - Lentille plus claire.
- US 9 - Faciès latéral des US 7 et 10 avec plus de blocs.
- US 10 - Graviers et sables gris.
- US 11 - Horizon terreux sombre et riche en charbons de bois.
- US 12 - Concentrations de charbons de bois.
- US 13 - Terre argileuse brun rouge.

Prélèvement anthracologique.

Relevés B. Ancel et F. Catrisse 2003
Dessin B. Ancel et V. Py 2003-2009

PLANCHE N°27 : COUPES STRATIGRAPHIQUES 3 ET 4 DE LA TRANCHÉE AMONT (FARAVEL I)

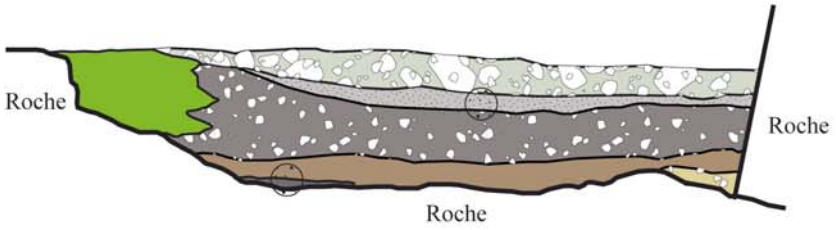
Coupe 3



Nord-ouest Sud-est

1 m

Coupe 4



Légende

- US 1 - Humus.
- US 2 - Blocs et cailloutis lessivés.
- US 3 - Graviers et sables gris.
- US 4 - Cailloutis centimétriques avec sables.
- US 5 - Terre sableuse brun foncé avec cailloutis.
- US 6 - Lentille latérale de cailloutis et graviers dans l'US 5.
- US 7 - Lentille latérale de cailloutis et graviers sous l'US 5.
- US 8 - Cailloutis et terre brun rouge.
- US 8a - Lentille plus claire.
- US 9 - Faciès latéral des US 7 et 10 avec plus de blocs.
- US 10 - Graviers et sables gris.
- US 11 - Horizon terreux sombre et riche en charbons de bois.
- US 12 - Concentrations de charbons de bois.
- US 13 - Terre argileuse brun rouge.
- Prélèvement anthracologique.

Relevés B. Ancel 2004
Dessin B. Ancel et V. Py 2004-2009

Fosse ouest (versant ouest)

La Fosse ouest est amorcée par une tranchée qui suit l'affleurement du filon et entaille la surface rocheuse inclinée de 10° vers l'ouest. Elle est étroite à son centre où elle ne mesure que 0,90 m de large. Elle devient plus spacieuse aux extrémités où elle mesure près de 1,20 m de large du côté ouest et un peu plus de 1 m du côté est. À cet endroit, la paroi sud montre des aménagements en marche, mais la circulation reste très inconfortable pour le portage des matériaux issus du fond (*cf.* pl. 8, p. 570).

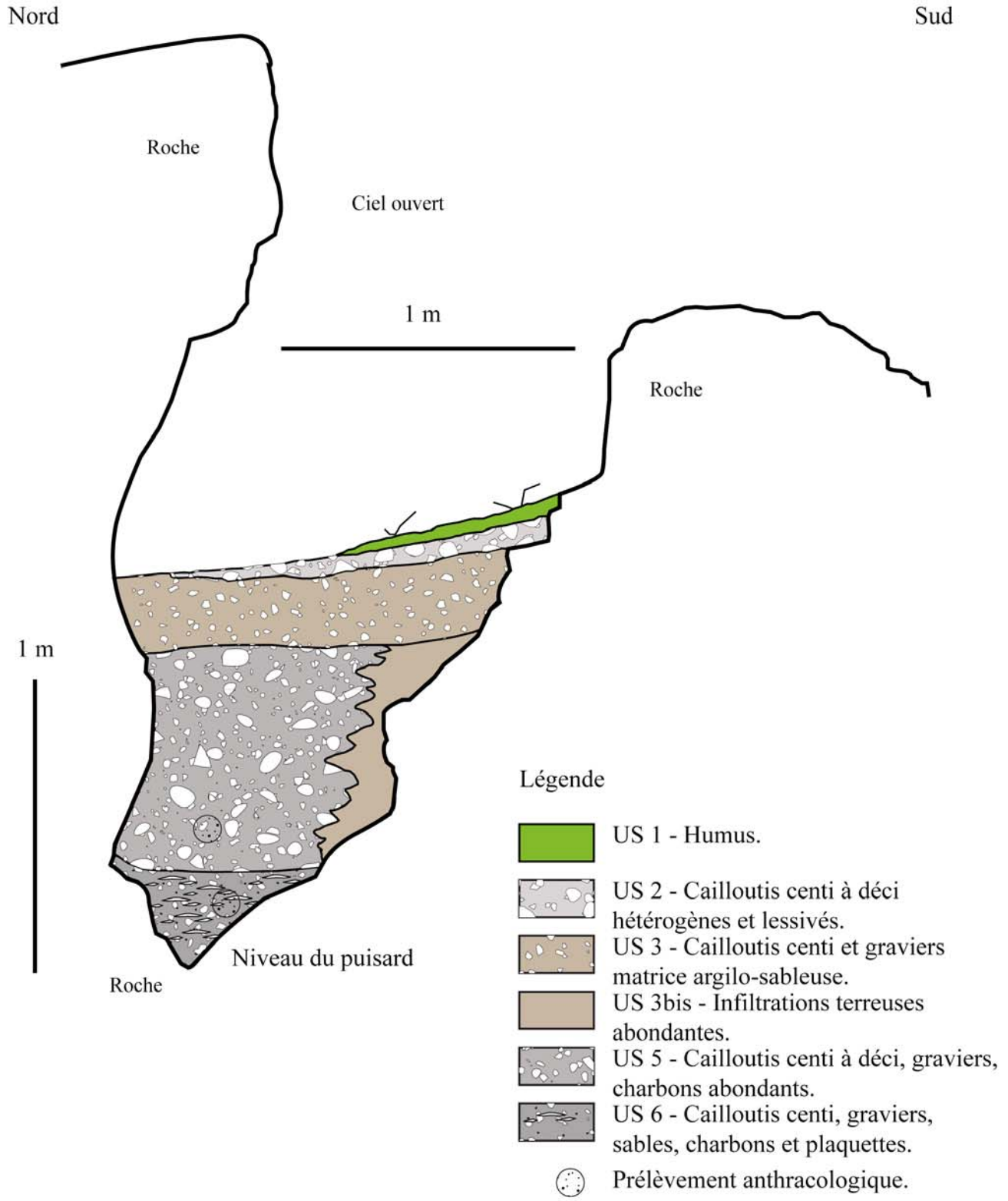
Son point le plus bas situé à 3 m environ sous la surface rocheuse initiale est facilement accessible par le côté ouest. À partir de cet endroit, la fosse se développe vers l'est et prend l'allure d'une galerie arrondie, décalée vers le nord par rapport à la tranchée de surface à cause du pendage du filon. Par conséquent, elle déploie une voûte arrondie à plus de 1 m sous la surface. La pente de 10° est montante et plus ou moins continue. Le point bas du côté ouest forme un surcreusement irrégulier qui entaille le fond arrondi de la fosse. Un orage qui a éclaté pendant le chantier de fouille a révélé son utilité. Après quelques minutes de pluie battante, des eaux de ruissellements ont surgi de toutes parts et ont entraîné rapidement un ennoiement du fond de la cavité. Ce surcreusement a permis d'écoper facilement à l'aide de seaux l'eau qui s'y engouffrait. Il a probablement été aménagé volontairement par les mineurs et entretenu au fur et à mesure de l'approfondissement des travaux pour servir de « puisard » et faciliter l'assèchement de la cavité après un épisode pluvieux.

La fouille stratigraphique de la fosse réalisée progressivement depuis l'ouest, a permis de dresser, à 1 m d'intervalle l'une de l'autre, quatre coupes stratigraphiques transversales autorisant une reconstitution longitudinale du remplissage (*cf.* pl. 28, p. 608 ; pl. 29, p. 609 ; pl. 30, p. 610 ; pl. 31, p. 611 ; pl. 32, p. 612). Le comblement est scellé par une couche humifère dont une partie des matériaux a pollué localement sous forme d'infiltrations terreuses les couches inférieures (US 1). Au niveau de la coupe 3, elle est concentrée contre la paroi la plus à l'ouest qui n'est pas protégée par le surplomb rocheux. La partie supérieure du remplissage est constituée de cailloutis centimétriques à décimétriques hétérogènes et lessivés, provenant principalement du colluvionnement de matériaux issus des déblais des travaux exploités en amont et de leurs abords (US 2). Elle repose sur une couche de cailloutis centimétriques, de graviers à matrice argilo-sableuse intercalée de passes fines de cailloutis avec très peu de matrice dont les alternances suggèrent un épandage depuis l'ouverture de la

tranchée (US 3). Ces dépôts paraissent issus du lessivage des unités supérieures et/ou d'une phase détritique qui aurait engendré un déplacement des matériaux fins présents aux abords du site jusque dans la tranchée. Le reste du remplissage est dominé par des déblais d'abattage par le feu remobilisés composés de blocs décimétriques et de cailloutis centimétriques avec de nombreux charbons de bois (US 5). Les déblais d'abattage en place repose sur le sol rocheux sur moins de 0,50 m d'épaisseur (US 6). Ils se composaient de cailloutis centimétriques riches en plaquettes de roche très fines et en sables avec des inclusions de charbons de bois.

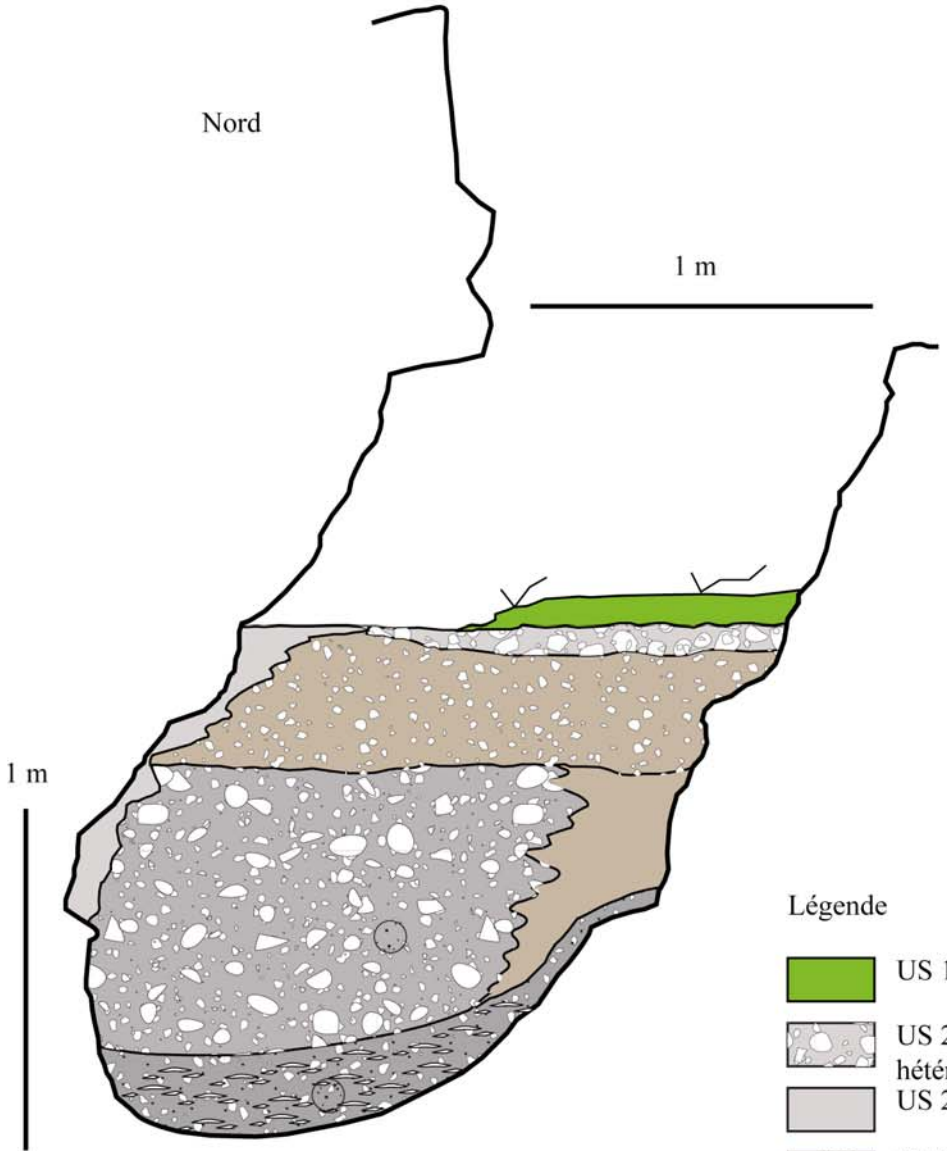
Le sol rocheux fragilisé sur plusieurs centimètres d'épaisseur suite aux nombreuses attaques par le feu menées par les mineurs, se desquamait sous l'action des outils de fouille. Cette couche synthétise les résidus des derniers feux opérés dans la fosse (voire directement à ses abords ?). Une datation radiocarbone classique réalisée à partir des charbons de bois échantillonnés dans ce dépôt, place la fin de son exploitation vers 1000 ± 35 BP. Les pics de probabilités sont compris entre le XIe et la première moitié du XIIe siècle. Les remblais supérieurs, constitués de déblais d'abattage par le feu remobilisés, peuvent témoigner d'un épisode de comblement volontaire de la fosse après son exploitation. Un échantillon de charbons de bois prélevé dans cette couche, date la production de ces déblais vers 940 ± 35 BP. L'intervalle des pics de probabilités est compris entre la deuxième moitié du XIe siècle et la première moitié du XIIe siècle. La phase de comblement de la tranchée serait donc postérieure de quelques années tout au plus de la phase d'extraction. Le reste du comblement était principalement constitué de matériaux lessivés pendant plusieurs siècles issus de la Halde Supérieure et de ses abords.

PLANCHE N°28 : FOSSE OUEST (FARAVEL I) COUPE STRATIGRAPHIQUE 1



Relevés B. Ancel et V. Py 2003
Dessin B. Ancel et V. Py 2003-2009

PLANCHE N°29 : FOSSE OUEST (FARAVEL I) COUPE STRATIGRAPHIQUE 2

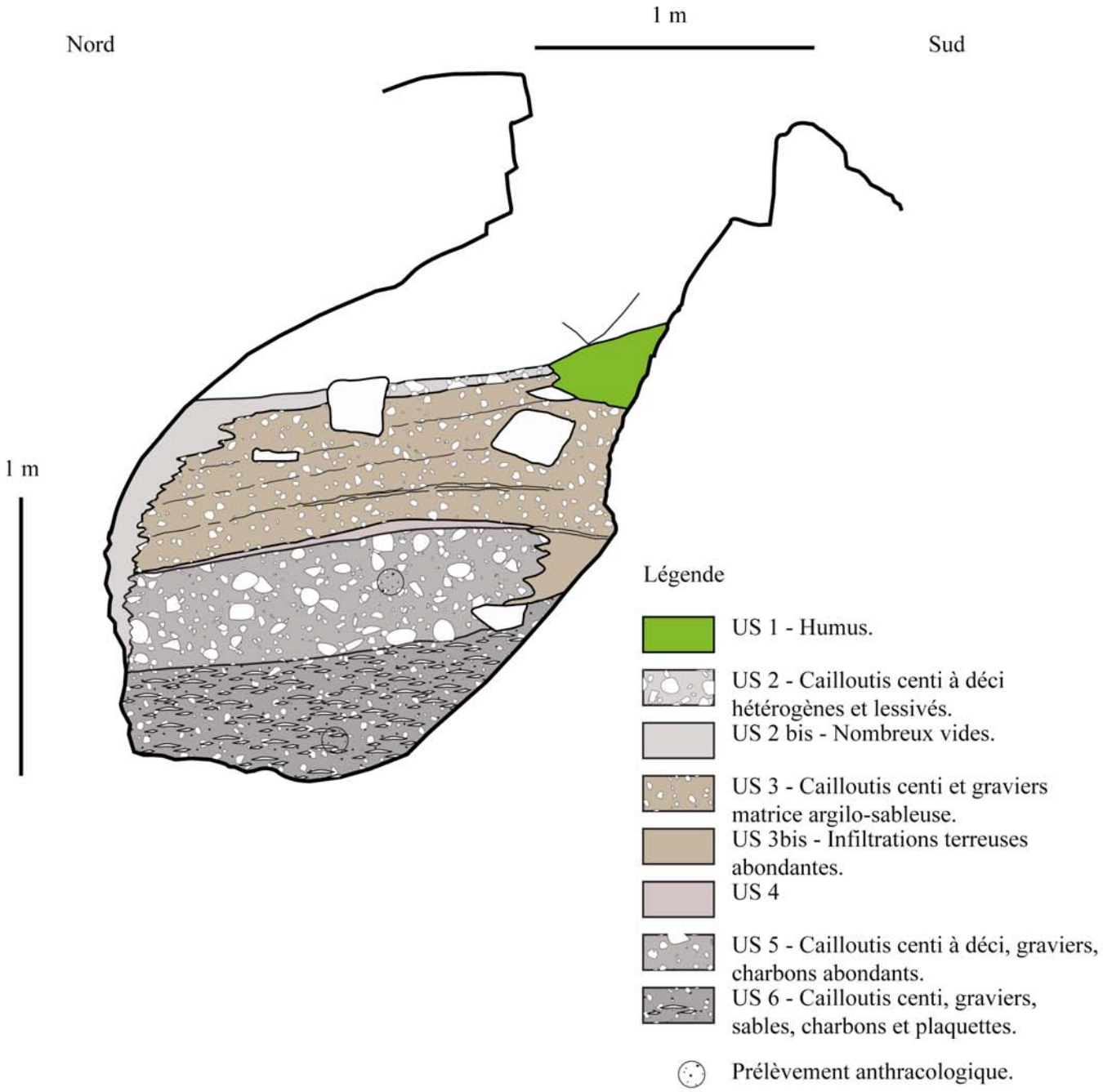


Légende

- US 1 - Humus.
- US 2 - Cailloutis centi à déci hétérogènes et lessivés.
- US 2 bis - Nombreux vides.
- US 3 - Cailloutis centi et graviers matrice argilo-sableuse.
- US 3bis - Infiltrations terreuses abondantes.
- US 5 - Cailloutis centi à déci, graviers, charbons abondants.
- US 6 - Cailloutis centi, graviers, sables, charbons et plaquettes.
- Prélèvement anthracologique.

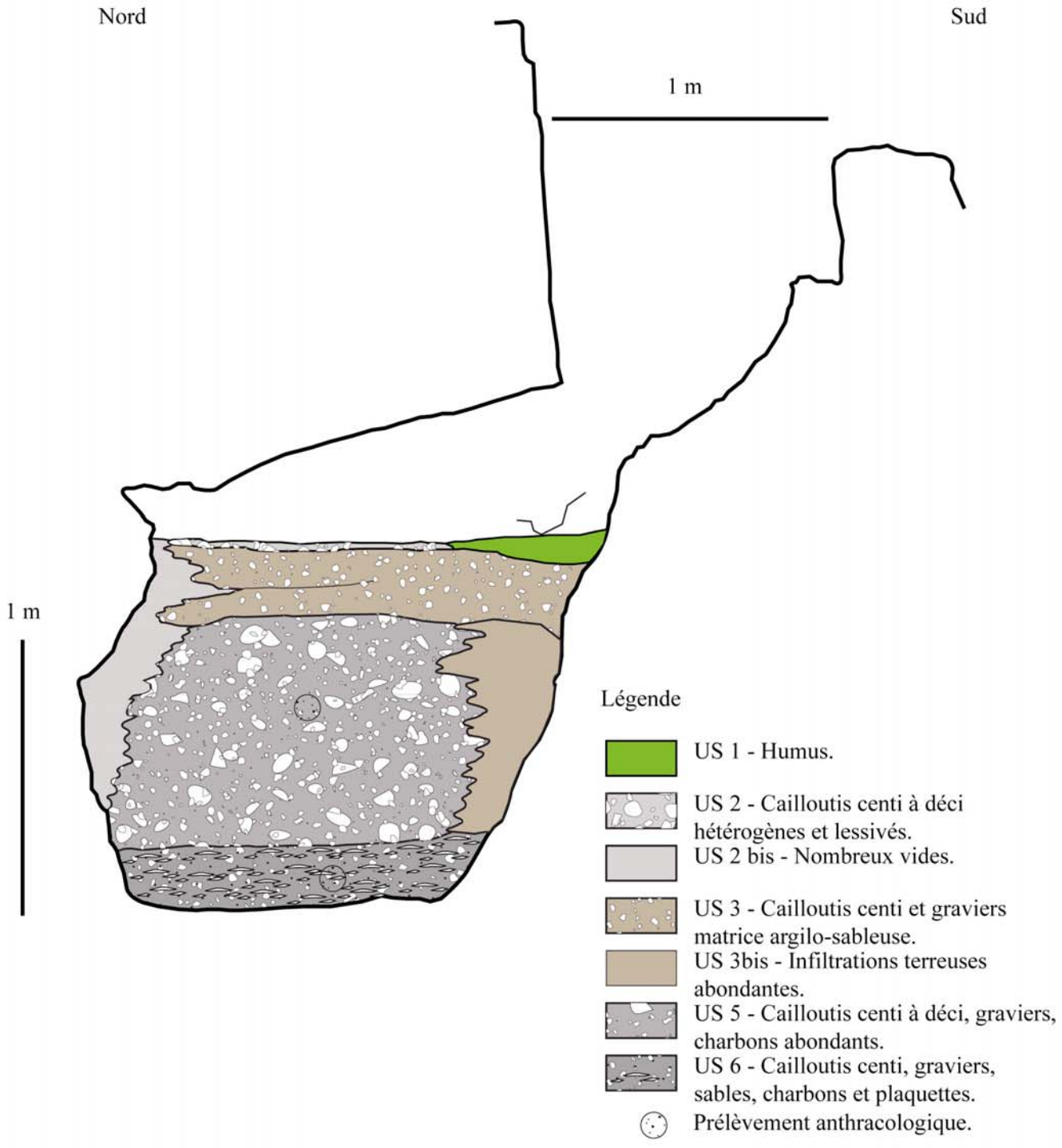
Relevés V. Py et Q. Dusaussoy 2003
Dessin B. Ancel et V. Py 2003-2009

PLANCHE N°30 : FOSSE OUEST (FARAVEL I) COUPE STRATIGRAPHIQUE 3



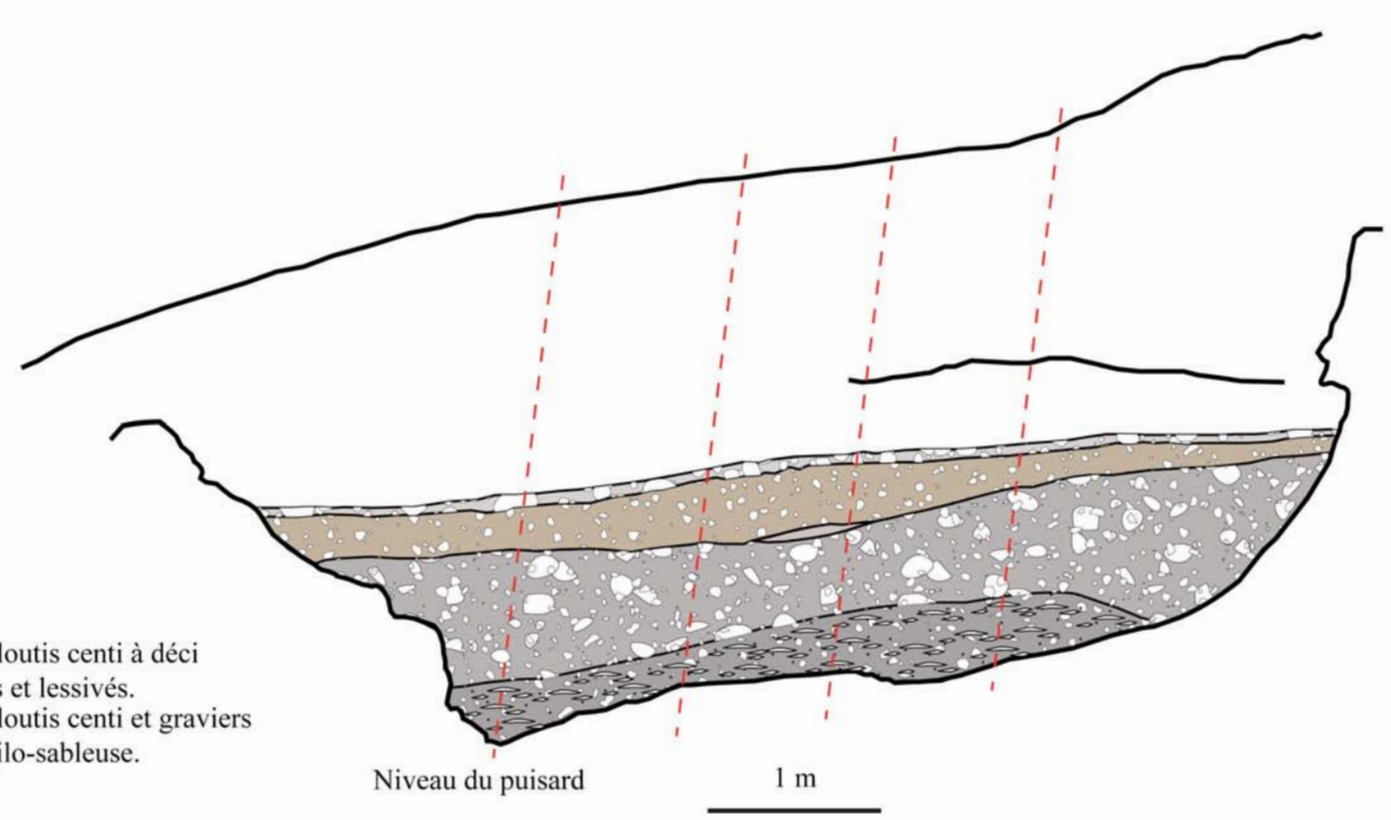
Relevés B. Ancel et V. Py 2003
Dessin B. Ancel et V. Py 2003-2009

PLANCHE N°31 : FOSSE OUEST (FARAVEL I) COUPE STRATIGRAPHIQUE 4



Relevés B. Ancel et V. Py 2003
Dessin B. Ancel et V. Py 2003-2009

PLANCHE N°32 : COUPE LONGITUDINALE DE LA FOSSE OUEST (FARAVEL I)
LOCALISATIONS DES 4 COUPES TRANSVERSALES



Légende

- US 2 - Cailloutis centi à déci hétérogènes et lessivés.
- US 3 - Cailloutis centi et graviers matrice argilo-sableuse.
- US 4
- US 5 - Cailloutis centi à déci, graviers, charbons abondants.
- US 6 - Cailloutis centi, graviers, sables, charbons et plaquettes.
- Emplacements des coupes stratigraphiques transversales

Relevés B. Ancel et C. Catrisse 2003
Dessin B. Ancel et V. Py 2003-2009

Galerie 3 (versant est)

La désobstruction de l'entrée de la galerie et l'élargissement de la zone d'accès, pour accéder aisément à l'intérieur de l'ouvrage et fouiller les remblais, ont nécessité la construction d'une plateforme de travail un peu plus en bas dans la pente. Deux coupes stratigraphiques ont été dressées à l'intérieur de la cavité souterraine permettant de retracer l'histoire de son comblement.

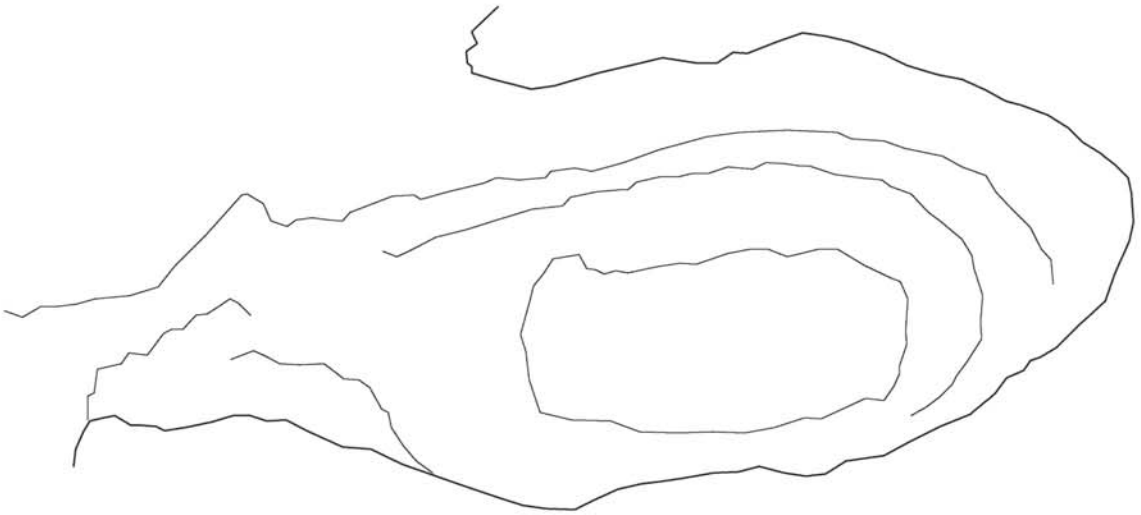
Le remplissage étudié au niveau de la coupe 1 est légèrement différent de celui qui a été relevé au niveau de la coupe 2 (*cf.* pl. 33, p. 615 et pl. 34, p. 616). En effet, l'entrée non originelle de la galerie, largement béante à cause du toit effondré, n'est pas protégée au sud par une paroi rocheuse. Elle donne directement accès aux travaux supérieurs. Les phénomènes d'érosion et de colluvionnement liés à la pente et aux conditions climatiques ont engendré un déplacement de sédiments et de déblais miniers de surface à l'intérieur de la cavité jusqu'à ce qu'elle soit complètement scellée. Les deux unités supérieures de la coupe 1 présentent d'abondantes inclusions de terre végétale s'amenuisant progressivement vers la paroi nord et en profondeur. La première couche épaisse d'une dizaine de centimètres et dominée par de la terre végétale scellait une partie du remplissage (US 1). Les cailloux dispersés anguleux sont caractéristiques des déchets d'abattage. La seconde couche est dominée par des cailloutis centimétriques à décimétriques anguleux avec des inclusions de terre végétale brune beaucoup plus diffuses (US 2). La présence de nombreux déchets de bois refendus non carbonisés a été relevée. La troisième couche est localisée dans la partie sud de la coupe et mesure 10 à 40 cm d'épaisseur (US 3). Elle présente une matrice de sables noirs riches en inclusions de charbons de bois. Les inclusions de cailloutis centimétriques sont faibles et les cailloux décimétriques sont assez rares. La présence de fragments de bois centimétriques refendus, identiques aux fragments retrouvés dans le sondage de la Halde Supérieure, est notoire. La dernière unité se développe depuis le milieu de la coupe vers la partie nord sur environ 20 à 80 cm de longueur et sur une quarantaine à plus de 70 cm d'épaisseur (US 4). Elle se compose d'une matrice de sables noirs peu abondants et d'inclusions de cailloutis centimétriques à décimétriques importants. Les inclusions charbonneuses sont très abondantes ainsi que les déchets de bois refendus non carbonisés. Il est évident que ces deux dernières couches qui constituent la plus grande partie du remplissage proviennent de déchets d'abattages de la tranchée située plus en amont ou de la cavité 4 située directement en aval. Ils auraient été volontairement déplacés et

remblayés dans la Galerie 3 par les mineurs. Les charbons de bois inclus dans ces formations sont donc représentatifs des feux d'abattage pratiqués dans le secteur amont ou juste en aval. Les déchets de refend non carbonisés indiquent que le travail de préparation et de calibrage du combustible était réalisé aux abords directs du site d'extraction. Leur association aux déchets carbonisés confirme l'hypothèse d'une remobilisation volontaire de déblais issus de travaux amont exploités avant la Galerie 3.

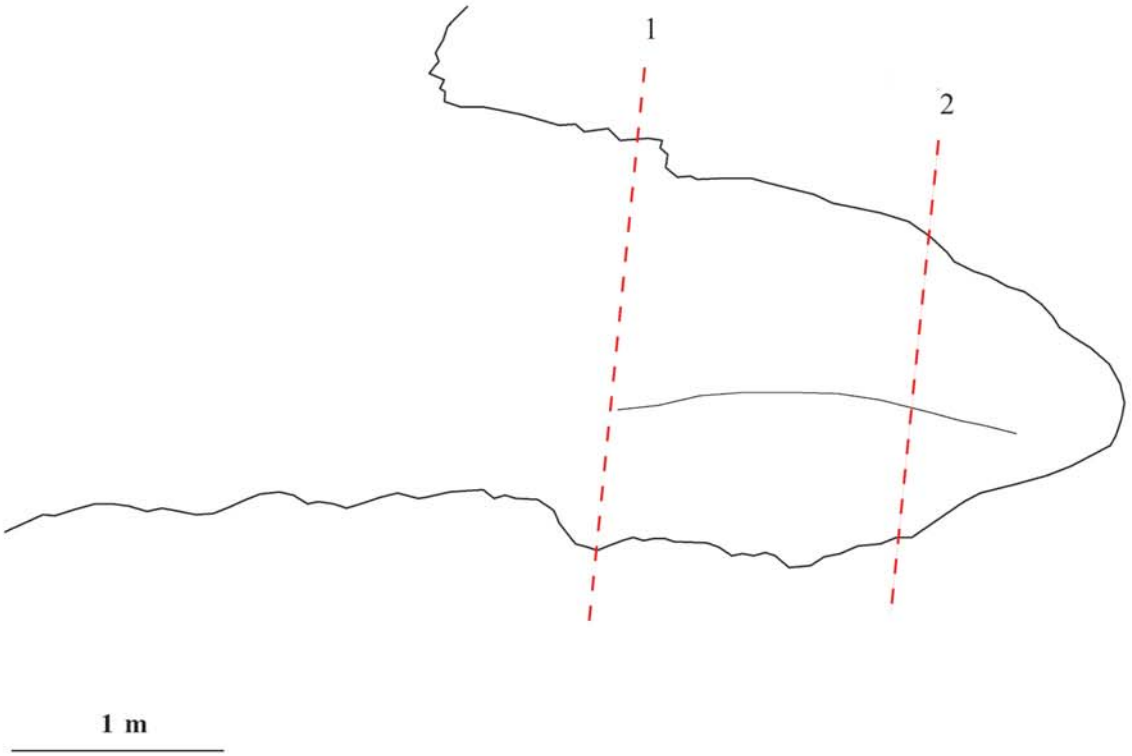
Étant mieux protégé des infiltrations provenant de l'extérieur, le remplissage situé au niveau de coupe 2 présente peu d'inclusions de terre végétale, limitées sur quelques centimètres de profondeur dans la couche superficielle (US 1). Les fragments d'encaissant posés sur cette couche proviennent d'éléments qui se sont décrochés tardivement de la voûte fragilisée sur plusieurs centimètres d'épaisseur par les feux. La couche se développe sur toute la longueur de la coupe et mesure 5 à 10 cm d'épaisseur. Elle se compose d'une matrice de terre marron et d'inclusions de cailloutis centimétriques à décimétriques. La présence de charbon de bois n'a pas été relevée. Les deux unités inférieures sont caractéristiques des déchets d'abattage par le feu. La première (US 2) se développe sur une bonne partie de la largeur de la coupe et disparaît à une trentaine de centimètres de la paroi nord. Elle se compose d'une matrice de sables noirâtres et marrons foncés avec des inclusions de cailloutis centimétriques à plus rarement décimétriques dominés par des fragments rouges et blancs d'encaissant. Les déchets de bois de refend et les charbons de bois sont abondants. Une grosse branche d'une vingtaine de centimètres de diamètre a été relevée puis prélevée. Son étude dendrochronologique est en cours. La seconde (US 3) qui tapisse le fond de la galerie et remonte le long des parois nord et sud, mesure une dizaine de centimètres à plus de 60 cm d'épaisseur au niveau de la paroi nord. Elle est riche en fragments d'encaissants rouges et blancs centimétriques à décimétriques. Comme l'ensemble des unités relevées dans les deux coupes stratigraphiques, cette couche présente une structure aérée caractéristique des remblais non piétinés et entassés sur une faible épaisseur.

PLANCHE N°33 : PLAN ET COUPE DE LA GALERIE N°3 (VERSANT EST)

Plan



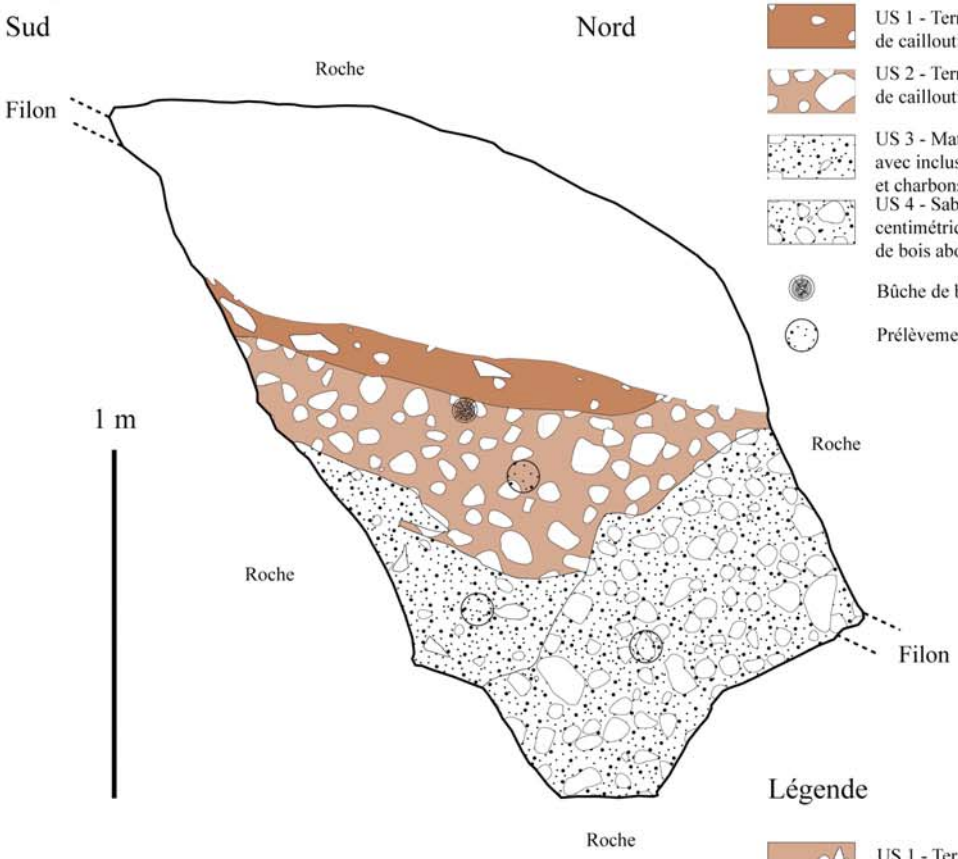
Coupe et emplacement des coupes stratigraphiques



Relevés B. Ancel et G. Munteanu 2004
Dessin B. Ancel

PLANCHE N°34 : GALERIE N°3 (VERSANT EST) COUPES STRATIGRAPHIQUES 1 ET 2

Coupe 1



Légende

US 1 - Terre végétale (80 %) avec inclusions de cailloutis décimétriques (20 %).

US 2 - Terre végétale (40 %) avec inclusions de cailloutis centimétriques à décimétriques (60 %).

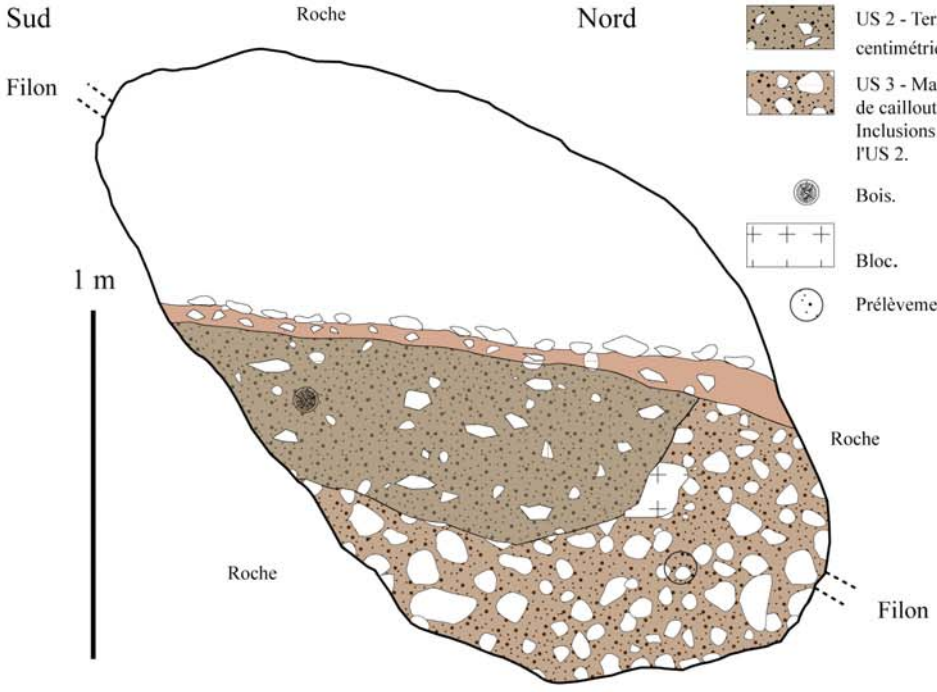
US 3 - Matrice sableuse noire (80 %) avec inclusions de cailloux rares (20 %) et charbons de bois abondants.

US 4 - Sables noirs (20 %) avec inclusions de cailloutis centimétriques à décimétriques et charbons de bois abondants.

Bûche de bois.

Prélèvement anthracologique.

Coupe 2



Légende

US 1 - Terre marron (40 %) avec inclusions de cailloutis décimétriques (60 %). Des caillous centimétriques à décimétriques sont posés au-dessus de l'US 1.

US 2 - Terre végétale (40 %) avec inclusions de cailloutis centimétriques à décimétriques (60 %).

US 3 - Matrice sableuse marron (30 %) avec inclusions de cailloutis centimétriques à décimétriques (70 %). Inclusions charbonneuses moins importantes que dans l'US 2.

Bois.

Bloc.

Prélèvement anthracologique.

Relevés J. Girard et G. Munteanu 2004
Dessin V. Py 2004

La galerie 3 a donc été volontairement remblayée avec des déchets d'abattage provenant de l'exploitation des travaux voisins. La couleur marron et noirâtre de la matrice sableuse des unités de la coupe 2 est liée au caractère sali et remanié des déblais. Le remplissage de la galerie n'est pas homogène et a été manifestement réalisé en plusieurs étapes. Sa partie superficielle est directement liée aux phénomènes d'érosion et de colluvionnement *post*-exploitation. Les échantillons de charbons de bois prélevés au niveau de la coupe 1 dans la deuxième couche (US 2) ont offert une datation relativement tardive par rapport aux autres dépôts datés dans le secteur de Faravel. Une partie des déblais qui ont servi à sceller la galerie a été produite vers 780 ± 35 BP. L'intervalle des pics de probabilités est compris entre la 2ème 1/2 du XIIe et la première moitié du XIIIe siècle. Les travaux situés en amont de la Galerie 3 ont pu être exploités durant cette période. La phase d'exploitation de la Galerie 3 est probablement antérieure de quelques années à cette fourchette de datation. La datation tardive des remblais peut être le reflet d'une phase de reprise qui aurait concerné le site et ses abords. Il conviendrait donc de compléter ce phasage chronologique avec la datation de dépôts provenant des ouvrages en amont et en aval.

I.3.2. Les remplissages des ouvrages de Faravel II

Les ouvrages de Faravel II ont été entièrement fouillés. L'étude stratigraphique des remblais autorise la reconstitution, avec une bonne précision, de l'histoire de son remplissage.

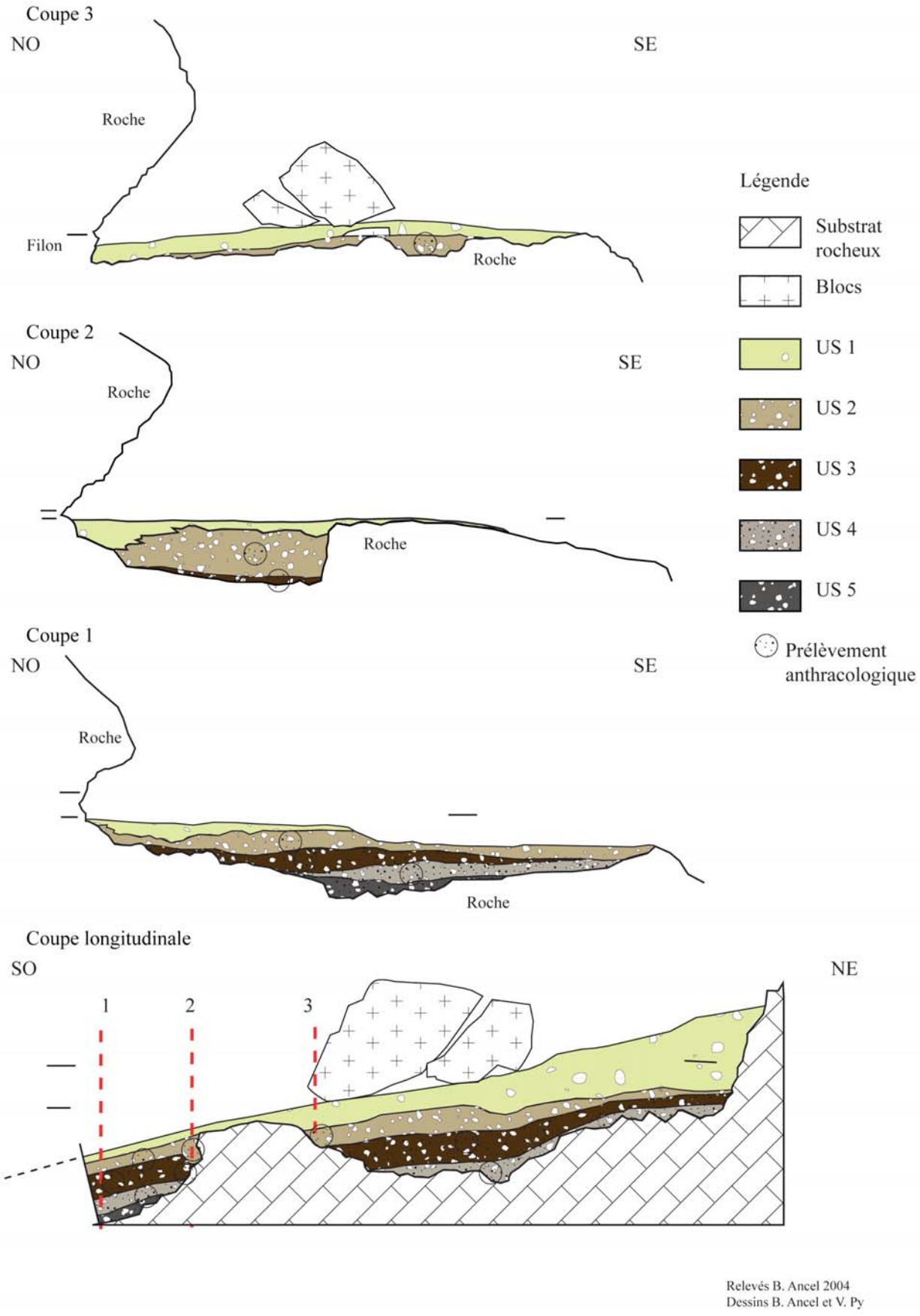
Tranchée Supérieure

La fouille des travaux réalisés sur l'affleurement dans la zone supérieure a permis de dresser trois coupes stratigraphiques transversales et une grande coupe longitudinale (pl. 35, p. 619 ; pl. 36, p. 621 et pl. 37 p. 625). Elle a fait apparaître un surcreusement de l'affleurement qui n'était pas perceptible auparavant, articulé en plusieurs cuvettes séparées par des seuils rocheux. Le remplissage situé au niveau de la coupe 1, la plus en aval, est plus important qu'au niveau des coupes dressées plus en amont. Il se compose de cinq unités

stratigraphiques dont seulement les trois premières se retrouvent dans la coupe 2 et les deux premières dans la coupe 3. Le remplissage est donc homogène sur la totalité du site et l'absence des unités inférieures dans les cuvettes amont est entièrement liée à la topographie du site. L'image de ce secteur n'est pas tout à fait complète à cause de la présence d'un gros bloc effondré qui a empêché le décapage de la partie nord-est.

La couche superficielle que l'on retrouve sur toute la surface du remplissage de la tranchée est composée de graviers et de cailloutis envahis par de l'humus (US 1). Elle scelle une couche de cailloutis et de graviers lessivée avec des inclusions de fragments de bois refendus et des charbons de bois désagrégés, également perceptible sur tout le remplissage (US 2). Les deux couches suivantes présentent des cailloutis riches en charbons de bois et en graviers mêlés à des inclusions de terre qui s'amenuisent en profondeur (US 3 et 4). Le sol rocheux est tapissé d'une couche très sombre riche en graviers et en charbons de bois attestant de façon nette le recours à l'abattage par le feu pour attaquer le filon dans ces petites cuvettes (US 5). Leur remblaiement ne peut pas provenir de travaux situés à l'aval. Les déblais n'ont donc pas été fortement déplacés ou remaniés. La stratigraphie originelle a subi principalement des phénomènes de lessivage avec des infiltrations de terre végétale liée à la sédimentation naturelle. Les charbons de bois contenus dans ces dépôts proviennent donc des dernières attaques conduites sur ces affleurements.

PLANCHE N°35 : COUPES STRATIGRAPHIQUES DE LA TRANCHÉE SUPÉRIEURE (FARAVEL II)



Relevés B. Ancel 2004
Dessins B. Ancel et V. Py

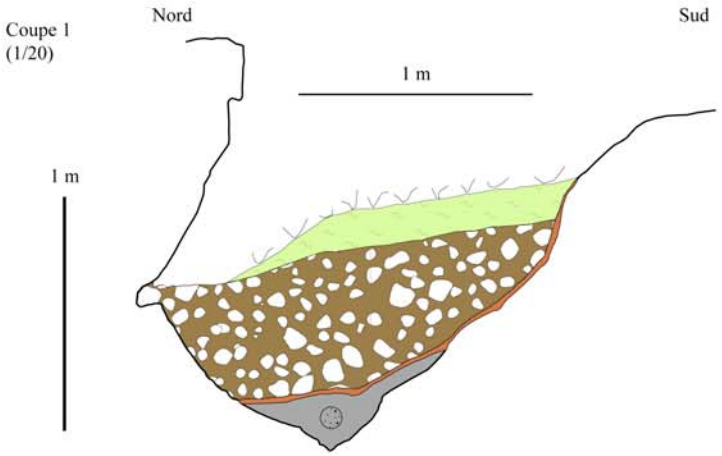
Tranchée Moyenne

La tranchée moyenne développée sur environ 4 m de longueur et 1 à 2 m de largeur est l'ouvrage le plus spacieux du site de Faravel II. Il contient le remplissage le plus important. Sa fouille a été réalisée de l'ouest vers l'est. Trois coupes stratigraphiques transversales situées à environ 1 m d'intervalle l'une de l'autre ont été dressées (*cf.* pl. 36, p. 621).

Le remplissage situé au niveau de la coupe 1 ne contient pas de remblais d'abattage par le feu à proprement parler. La couche superficielle, épaisse d'une vingtaine de centimètres, se compose essentiellement d'humus, de terre végétale et de cailloutis disparates issus du lessivage et du colluvionnement de matériaux provenant de la halde et du versant en général (US 1). Elle s'amincit et disparaît au niveau de la paroi nord. La seconde unité qui occupe toute la largeur de la cavité et se développe en profondeur sur 20 à 60 cm est dominée par des cailloutis centimétriques à décimétriques anguleux inclus dans une matrice terreuse sombre (US 2). Elle paraît constituée de déblais d'abattage remaniés issus de l'exploitation des travaux amont. Il n'est pas exclu qu'une partie des matériaux provienne d'un remblaiement volontaire de la cavité. Elle recouvre une fine unité terreuse rouge, compacte et homogène, dominée par des matériaux fins lessivés, provenant de la halde et de ses abords. Cette couche se développe sur quelques centimètres d'épaisseur (US 3). Elle recouvre la paroi sud de la cavité depuis la base de l'unité supérieure et scelle une couche noire et pulvérulente qui tapisse le fond de la cavité (US 4). Cette dernière présente quelques inclusions de cailloux à l'aspect scorié et de couleur grisâtre. Son origine est énigmatique car elle ne semble pas correspondre à des déchets d'abattage par le feu (absence de fragments d'encaissant et de sables). Elle se retrouve de façon plus ou moins importante dans toute la tranchée. Une hypothèse séduisante émise en premier lieu interprétait cette couche comme étant un dépôt résiduel lié à une activité métallurgique qui aurait été conduite juste en amont. Or, l'absence de déchets typiques de cette activité (scories) dans toute la surface fouillée et prospectée (la halde et ses abords exclut définitivement cette hypothèse.

PLANCHE N°36 : COUPES STRATIGRAPHIQUES DE LA TRANCHEE MOYENNE (FARAVEL II)

Coupe 1
(1/20)



Légende

US 1 - Humus et terre végétale (racines et radicelles).

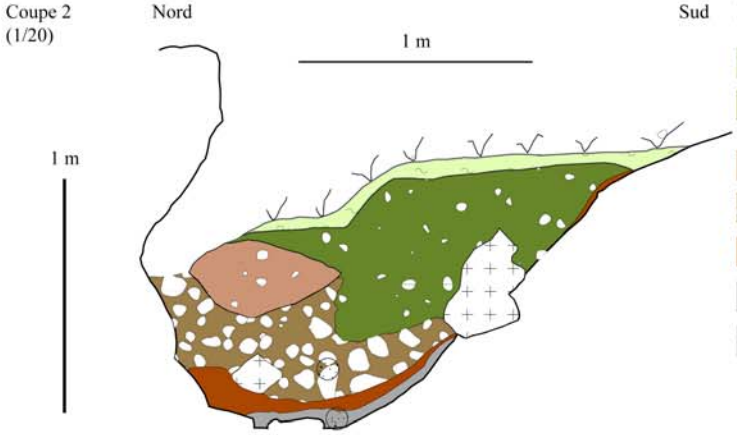
US 2 - Matrice terreuse et inclusions de blocs centimétriques et décimétriques.

US 3 - Fine couche de terre rouge compacte et homogène.

US 4 - Couche noire pulvérulente et charbonneuse.

Prélèvement anthracologique

Coupe 2
(1/20)



Légende

US 1 - Humus et terre végétale (racines et radicelles).

US 2 - Cailloutis centimétriques, plus rarement décimétriques. Petits cailloutis infiltrations terre végétale. Racines et radicelles.

US 3 - Poche de terre brune avec inclusion de petits cailloutis.

US 4 - Matrice terreuse et inclusions de blocs centimétriques et décimétriques (= US 2 coupe 1).

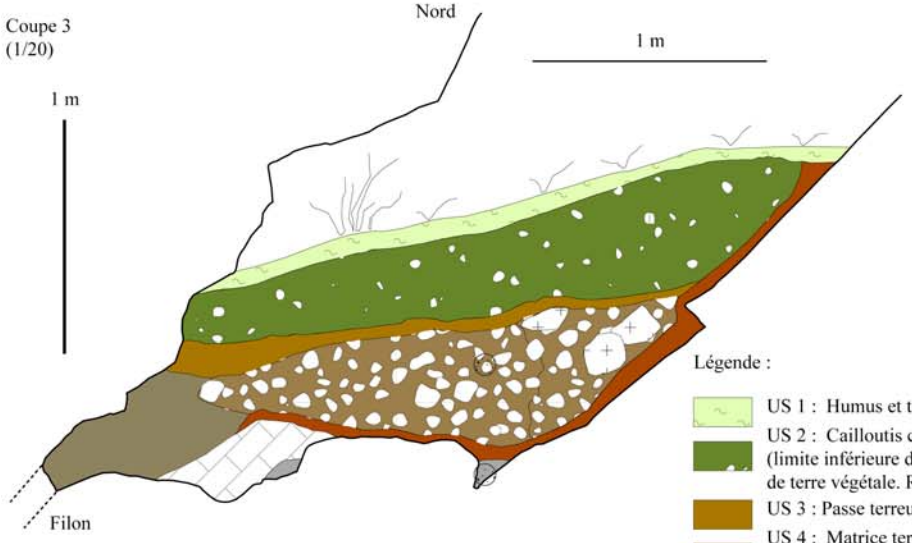
US 5 - Fine couche de terre rouge compacte et homogène (= US 3 coupe 1).

US 6 - Couche noire pulvérulente et charbonneuse. 892 à 1018 ap. J.-C. âge calibré (= US 4 coupe 1).

Blocs

Prélèvement anthracologique

Coupe 3
(1/20)



Légende :

US 1 : Humus et terre végétale (racines et radicelles).

US 2 : Cailloutis centimétriques, plus rarement décimétriques (limite inférieure de la couche). Petits cailloutis et infiltrations de terre végétale. Racines et radicelles.

US 3 : Passe terreuse brune assez compacte.

US 4 : Matrice terreuse et inclusions de blocs centimétriques et décimétriques. Au sud, la matrice terreuse est plus abondante que vers la paroi n ord.

US 5 : Passe terreuse noire.

US 6 : Fine couche rouge compacte et homogène divisée en 2 branches.

US 7 : Couche noire pulvérulente et charbonneuse.

Blocs

Roche

Prélèvement anthracologique

Relevés V. Py, G. Munteanu, Q. Dusaussoy 2004
Dessins V. Py

Le remplissage situé au niveau de la coupe 2 présente de façon générale la même allure, mais la stratigraphie se complexifie avec des passes de cailloutis plus importantes. La moitié supérieure du remplissage est dominée par des cailloutis centimétriques rarement décimétriques inclus dans une matrice terreuse (US 1 et 2). Ses caractéristiques sont proches deux premières unités identifiées dans la coupe 1. Les matériaux accumulés proviennent du colluvionnement des sédiments et des déblais d'abattage issus de l'exploitation des travaux situés en amont. Une poche de terre brune localisée dans la partie nord du remplissage se situe à l'interface des deux unités supérieures et des unités inférieures (US 3). Elle est le résultat d'une accumulation de terre végétale lessivée provenant de la partie sud du remplissage. La portion inférieure est dominée sur 20 à 50 cm d'épaisseur par des cailloux centimétriques et décimétriques issus du colluvionnement des déblais miniers amont et/ou volontairement remblayés dans la cavité (US 4). Cette portion du remplissage dominé par des déblais miniers est envahie par de la terre végétale. La couche de terre rouge compacte et homogène développée sur quelques centimètres à une dizaine de centimètres d'épaisseur se retrouve dans cette portion du remplissage (US 5). Elle tapisse la paroi sud de la cavité depuis la base de la couche superficielle végétalisée et elle scelle la couche noire pulvérulente et charbonneuse (US 6). Les blocs inclus dans la stratigraphie proviennent d'éléments du toit fracturé. À l'origine, il a pu être consolidé par des poteaux en bois. Les petits charbons de bois dispersés prélevés dans la couche noire et pulvérulente ont fait l'objet d'une analyse par le radiocarbone qui donne la fourchette 892 à 1018 ap. J.-C. âge calibré. Les pics de probabilités sont compris entre 905 et 980 ap. J.-C. Ce dépôt charbonneux a donc été réalisé de façon hautement probable dans le courant du Xe siècle, juste après le creusement des cavités.

La coupe 3 présente une allure un peu différente des deux coupes précédentes dans sa moitié inférieure. Les deux premières unités sont strictement identiques aux deux unités supérieures de la coupe 2 (US 1 et 2). Elles correspondent à une accumulation de sédiments naturels et de matériaux caillouteux issus de l'érosion et du colluvionnement des déblais et des autres matériaux emportés dans la pente. La troisième unité qui se développe sur toute la largeur de la cavité sur quelques centimètres à une dizaine de centimètres d'épaisseur est une couche terreuse marron assez homogène et compacte (US 3). Elle est en contact au niveau de la paroi nord, très inclinée, avec une poche de terre sombre (US 5). La troisième unité peut être le résultat d'une accumulation des produits de lessivage de la terre issue des unités

supérieures ou à un épisode détritique. La poche de terre sombre paraît la prolonger, mais elle est riche en inclusions cendreuses. La troisième unité recouvre une épaisse couche dominée par des cailloutis centimétriques à décimétriques et des blocs (US 4). Elle se développe sur quasiment toute la largeur de la tranchée. Ses caractéristiques s'apparentent à celle de la couche présente dans les autres coupes attribuée à une phase d'important comblement de la tranchée liée à l'action anthropique et/ou à l'érosion (US 4, coupes 1 et 2). Au sud, la matrice terreuse est plus abondante qu'au nord où elle s'amenuise. Cette répartition différentielle des inclusions de terre est liée à la protection du remplissage au nord par le toit très incliné. Les déblais d'abattage remaniés reposent sur la fine couche de terre rouge, compacte et homogène, présente dans les deux autres coupes (US 6). Elle se développe toujours sur seulement quelques centimètres à une dizaine de centimètres d'épaisseur et tapisse la paroi sud et le fond de la cavité jusqu'à buter au nord contre la poche de terre sombre. Elle scelle par endroits la couche noire pulvérulente, réduite et localisée à l'intérieur de petits creux formés par le sol rocheux irrégulier (US 7).

Le remplissage de la Tranchée Moyenne ne provient pas des résidus de l'activité d'extraction menée *in situ*. La stratigraphie met en avant plusieurs étapes de remplissage. La couche noire et pulvérulente peut correspondre à des résidus de carbonisation de bois ou de charbons de bois. L'absence de fragment d'encaissant et de sable indique que le feu n'a pas été réalisé pour l'abattage de la roche. Son origine est autre. Rapidement après la fin de l'exploitation de cet ouvrage, un épisode de lessivage important des sols situés aux abords de la tranchée (halde rougie) a provoqué une invasion de matériaux fins rouges, comme ceux de la halde, tapissant la paroi sud et le sol rocheux. Une perturbation anthropique de toute évidence liée à l'activité minière, probablement des déboisements au niveau du dôme gneissique, a entraîné une importante érosion des sols à l'origine de cette couche détritique. Il faut donc croire que les résidus charbonneux trouvés au fond de la fosse sont les vestiges d'un incendie, balayés par le vent, qui a eu lieu aux abords directs du site peu de temps après la fin de son exploitation, voire juste avant. Par chance, ils ont été piégés dans la fosse et scellés par la couche détritique. La tranchée s'est trouvé par la suite comblée par des déblais miniers remaniés provenant des abords. Il est difficile d'affirmer l'origine strictement anthropique du comblement (comblement volontaire) qui demeure à l'état d'hypothèse. Le reste du remplissage provient de l'accumulation progressive de sédiments et de déblais miniers emportés dans la pente par colluvionnement durant une dizaine de siècles. Cet ouvrage n'a jamais fait l'objet de reprise tardive.

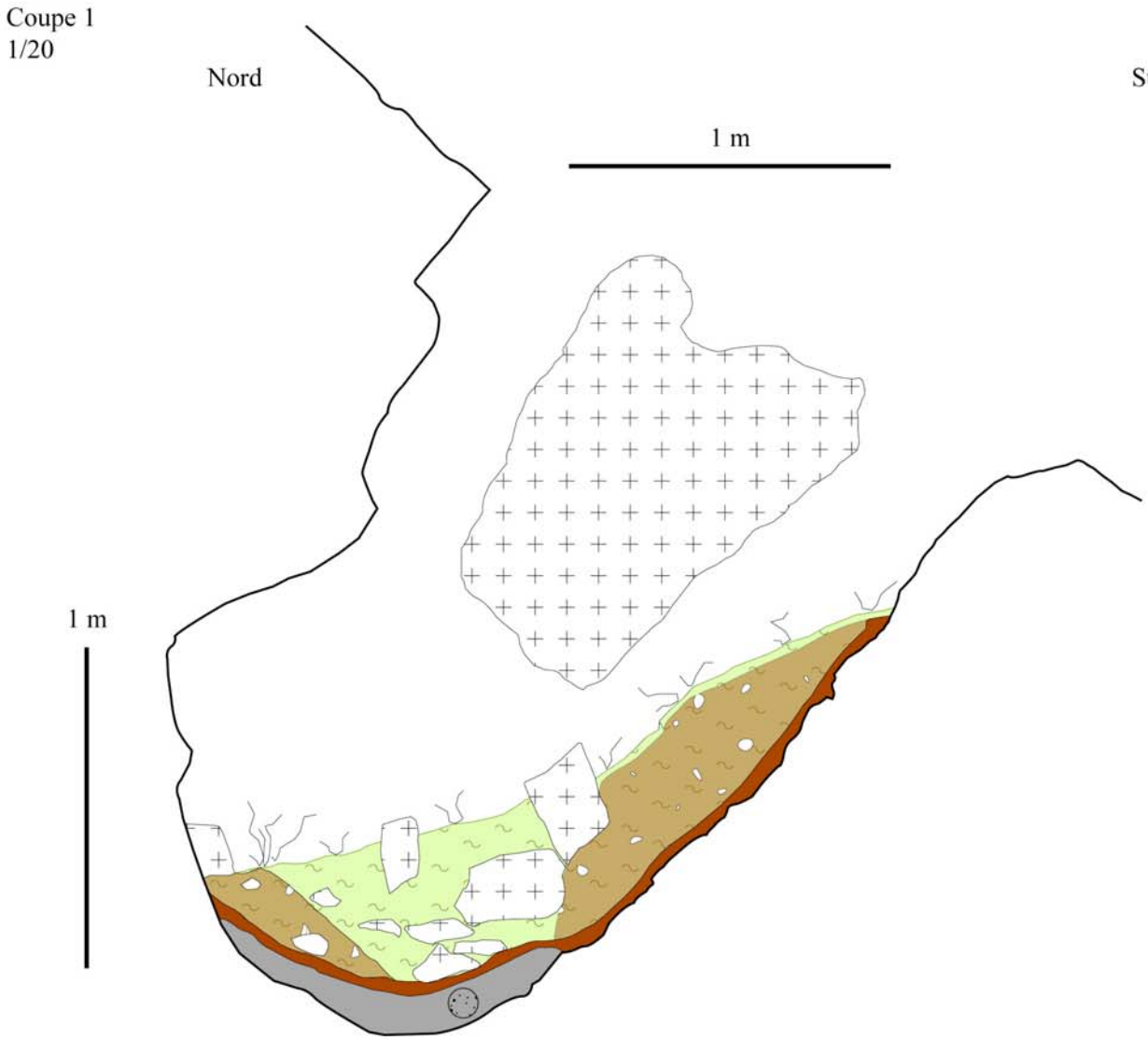
La Tranchée Inférieure

La Tranchée Inférieure séparée de la Tranchée Moyenne par un palier rocheux s'ouvre juste en aval. Elle présente un toit très fracturé. Des blocs métriques jonchent son parcours. La tranchée étant peu comblée, un simple décapage des sédiments inclus de cailloutis disparates a été réalisé sur toute son étendue à l'exception de la zone située juste en aval de la Tranchée Moyenne où l'ampleur du remplissage a permis de procéder à une fouille stratigraphique conventionnelle (*cf.* pl. 37, p. 625). Deux coupes stratigraphiques ont été dressées. Le remplissage étant homogène, seule la première a fait l'objet d'un relevé. La roche comme au niveau de la Tranchée Supérieure est fracturée, poreuse au niveau de la paroi nord et percée de géodes.

Le comblement présente une partie des étapes retracées pour la Tranchée Moyenne. Une couche d'humus et de terre végétale avec des inclusions de blocs constitue une grande partie du comblement (US 1). Elle se développe au centre de la coupe sur 90 cm de largeur et 50 cm d'épaisseur. Elle repose sur une couche de terre végétale riche en racines et radicelles avec des inclusions de cailloutis centimétriques (US 2). Cette couche se développe sur la paroi sud de la tranchée qui est peu inclinée où elle s'étire sur environ 1 m de longueur et une trentaine de centimètres de profondeur. Elle est scindée en deux au centre de la coupe par la couche d'humus et de terre végétale (creusement d'origine anthropique ?). De cette manière, une portion de l'US 2 se retrouve au nord sous la forme d'une lentille d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Ces couches qui s'apparentent aux deux premières unités observées au niveau des coupes dressées dans la Tranchée Moyenne reposent directement sur la couche rouge, compacte et centimétrique. Cette dernière scelle la couche noire pulvérulente comme dans la Tranchée Moyenne.

Les formations liées à la sédimentation naturelle et à l'accumulation de colluvions sont plus importantes que dans les ouvrages supérieurs en raison de leur situation en pied de pente. Les nombreux blocs provenant de l'amont se sont fixés dans la cavité minière en cours de chemin. Les couches riches en cailloutis qui constituent une bonne partie du remblaiement de la Tranchée Moyenne n'ont pas été relevées. On retrouve par contre la couche détritique rouge et la couche noire pulvérulente liées à un épisode d'incendie.

PLANCHE N°37 : COUPE STRATIGRAPHIQUE DE LA TRANCHÉE INFÉRIEURE (FARAVEL II)



Légende

US 1 - Humus et terre végétale (racines et radicelles). Blocs décimétriques.

US 2 et 2bis - Matrice terreuse, cailloutis centimétriques, très rarement décimétriques, et inclusions de nombreuses racines et radicelles.

US 3 - Fine couche terreuse rouge (inclusions de racines et radicelles).

US 4 - Couche noire pulvérulente et peu charbonneuse.

Blocs

Prélèvement anthracologique

Relevés G. Munteanu et Q. Dusaussoy 2004
Dessin V. Py

- . -

L'exploitation du filon de Faravel II qui est l'œuvre de prospecteurs a été réalisée dans le courant du Xe siècle. Ce phasage chronologique correspond au moment de l'ouverture des travaux à ciel ouvert et des premiers approfondissements dans les gorges du Fournel. Les ouvrages du versant Ouest de Faravel I ont été exploités entre la fin du Xe et le milieu du XIIIe siècle. Or, ce phasage chronologique doit être subdivisé en au moins trois phases. L'exploitation de la Fosse ouest doit correspondre à une première phase comprise entre la fin du Xe et le début du XIe siècle. Elle se rattache chronologiquement aux ouvrages de prospection de Faravel II. Les déblais de la Halde Supérieure, issus de l'exploitation de la Grande Fosse de Faravel I, qui comblent une partie de la Tranchée Ouest, sont datés de la 1ère 1/2 du XIe – 1ère 1/2 du XIIe siècle. Cette seconde phase correspond à l'approfondissement des travaux de la Grande Fosse. Les grattages réalisés aux abords (Tranchée Amont) de la Grande Fosse et une partie des travaux réalisés sur le versant est, sont à rattacher à une phase de recherche tardive datée de la 2ème 1/2 du XIIe – 1ère moitié du XIIIe siècle. Cette chronologie de l'exploitation mériterait d'être complétée par une nouvelle série de datations radiocarbones, mais elle s'avère relativement cohérente avec le phasage chronologique des travaux du Fournel. Elle confirme que les sites miniers de la montagne de Dormillouse et du Fournel doivent s'envisager dans la même dynamique historique. De plus, elle révèle que les travaux miniers de Faravel I et Faravel II n'ont pas été réalisés en continu. L'exploitation paraît rythmée par des phases de recherches, pas toujours concluantes, et des phases d'exploitations plus intenses liées à la découverte de zones enrichies.

I.3.3. Les remplissages des ouvrages de Fangeas

La Galerie de Recherche de la Grande Fosse

Le remplissage de l'extrémité de la Galerie de Recherche qui a précédé le creusement de la fosse a entièrement été fouillé. Il était extrêmement limité car la galerie n'a pas été remblayée. Il se composait de seulement deux unités stratigraphiques épaisses de quelques centimètres. La première était exclusivement constituée d'humus et des débris de végétaux qui ont pu s'accumuler dans ce renflement au cours des siècles. La seconde qui tapissait le fond de la galerie était principalement constituée de cailloutis centimétriques et de sables gris et salis avec des inclusions de charbons de bois. Elle paraît correspondre à des lambeaux résiduels du sol de circulation médiéval. Cette couche a été entièrement prélevée. Les charbons de bois échantillonnés ont été datés par radiocarbone. Ils ont fourni la date de 895 ± 30 BP. L'intervalle des pics de probabilité est compris entre la 2ème moitié du XIe et la 2ème moitié du XIIe siècle (1045 – 1175 ap. J.-C.). Il correspond à la phase ultime de percement de la galerie qui est postérieure à l'ouverture du couloir d'entrée datée de 955 ± 30 BP. L'intervalle des pics de probabilité est compris pour cette deuxième date entre la première moitié du XIe et le début du XIIe siècle.

La Grande Fosse

Les remplissages

La partie haute du remplissage mesurait 2,50 m d'épaisseur. Elle reposait sur les remblais du plancher détecté après le dénoyage. Elle s'est avérée assez homogène. En superficie, le cône d'éboulis qui descendait en pente dans la fosse depuis le couloir d'entrée jusque sur le plancher remblayé était coiffé par une couche d'humus dominée par

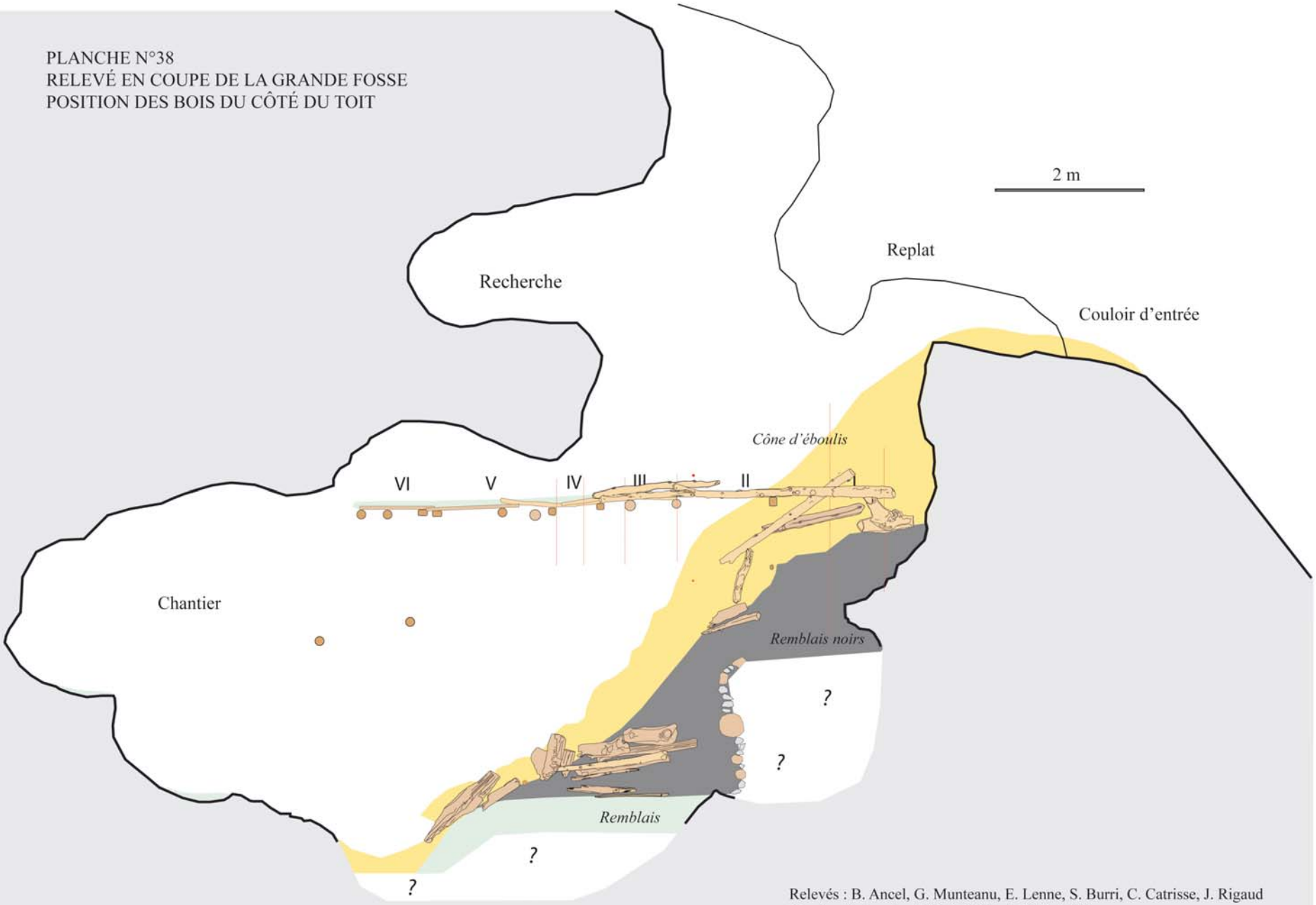
d'abondantes aiguilles[21] de Mélèze (*cf.* pl. 18, p. 588 et pl. 38, p. 629). Elle était très dense au niveau du couloir d'entrée qui n'est pas protégé par le surplomb rocheux. L'éboulis principal était constitué de cailloutis et de blocs inclus dans une matrice argileuse caractéristique des matériaux transportés par colluvionnement avec localement des inclusions de débris de branches de mélèzes (élagage naturel). Du côté nord-est, une poche de sables argileux s'est accumulée sous le rétrécissement de la margelle. Ces matériaux proviennent de l'escarpement rocheux et du surplomb de la fosse, balayés et rongés par les ruissellements de surface. Mais, vers le bas, l'augmentation des proportions de gros blocs parfois associés à des galets de grès suggère un déversement volontaire de matériaux dans la fosse. L'épandage d'éboulis pierreux se poursuit sous le niveau du plancher sur une épaisseur de 50 cm coiffant un éboulis de remblais noirs et des bois enchevêtrés jusqu'au point bas du chantier.

La portion de l'éboulis située vers la paroi du mur contenait une série de grands bois enchevêtrés légèrement dégradés vers la surface, mais bien conservés en profondeur dans la zone presque toujours ennoyée (*cf.* pl. 39, p. 630, bois supérieurs du cône d'éboulis). Ces bois se sont apparemment effondrés avec une partie des éboulis, mais leur disposition pêle-mêle et leurs calibres hétérogènes ne démontraient pas clairement une forme originelle caractéristique d'un plancher (*cf.* pl. n°40, p. 631). Par contre, la plupart des bois portent des traces de travail et certains présentent un calibre et une forme caractéristiques des étais transversaux observés dans le chantier plus bas. La paroi du mur et la margelle intermédiaire étaient tapissées d'une couche sombre, riche en fragments de bois, dans laquelle a été retrouvé un demi-fond de cuveau en bois brisé[22].

[21] Aiguilles de 15-35 mm de long, molles, minces, à section triangulaire, groupées en touffes sur des rameaux courts et isolés sur les jeunes pousses des rameaux longs (*cf.* les caractères diagnostiques de *Larix decidua* dans Rameau *et al.* 1993, p. 387).

[22] *Cf. infra*, étude du mobilier ligneux, p. 785 et suiv.

PLANCHE N°38
RELEVÉ EN COUPE DE LA GRANDE FOSSE
POSITION DES BOIS DU CÔTÉ DU TOIT



Relevés : B. Ancel, G. Munteanu, E. Lenne, S. Burri, C. Catrisse, J. Rigaud
Dessin : B. Ancel - 2005-2008 (bois V. Py 2008)

PLANCHE N°39 : RELEVÉ EN PLAN DES BOIS DE LA GRANDE FOSSE

En clair : rondins

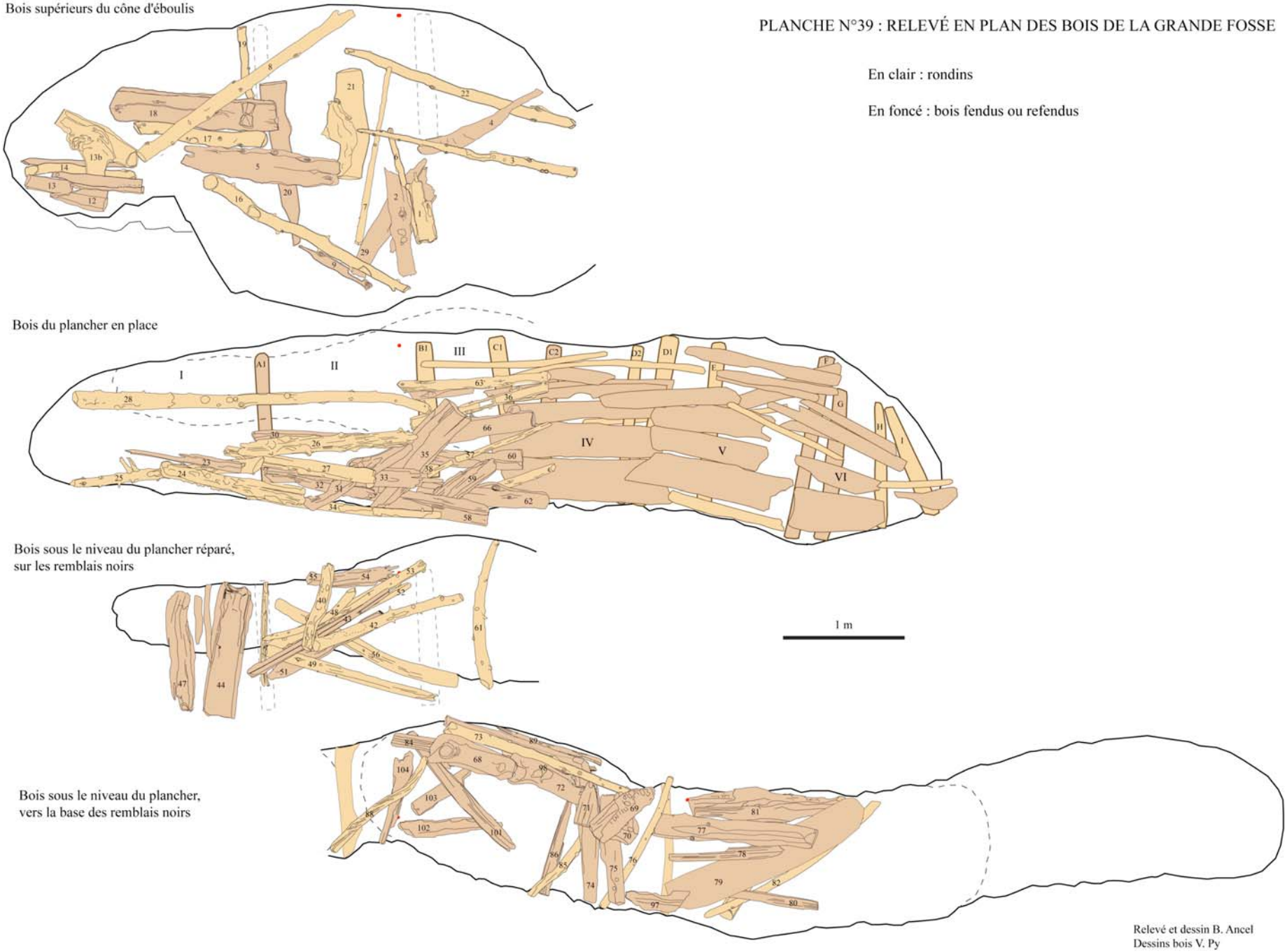
En foncé : bois fendus ou refendus

Bois supérieurs du cône d'éboulis

Bois du plancher en place

Bois sous le niveau du plancher réparé,
sur les remblais noirs

Bois sous le niveau du plancher,
vers la base des remblais noirs



Relevé et dessin B. Ancel
Dessins bois V. Py

PLANCHE N°40 : PREMIER NIVEAU DE BOIS RENCONTRÉS DANS LA GRANDE FOSSE

1. Vue depuis le sud-ouest (cl. B. Ancel).

2. Détail pièce de bois entaillée (cl. B. Ancel).

3. Détail pièces de bois : perches et planche entaillée (cl. B. Ancel).

4. Vue depuis le nord-est (cl. B. Ancel).

La partie inférieure du remplissage située sur 1,50 m de profondeur du côté sud-ouest, à l'extrémité du plancher en place était composée au nord-est de remblais miniers noirs stockés sur une portion du plancher. Ce dernier est constitué d'une dizaine d'étais transversaux qui supportent des planches refendues, des pièces à sections quadrangulaires refendues et des rondins[23]. Pour faciliter la lecture de l'ensemble, il a été scindé en six compartiments nommés par des chiffres romains (*cf.* pl. 39, p. 630, niveau plancher en place). Les étais sont quant à eux associés à des lettres accompagnées d'un chiffre arabe pour désigner les différentes pièces d'un groupe d'étais (*cf.* pl. 41, p. 633).

La partie du remplissage située au niveau de la moitié du compartiment I, du compartiment II et du compartiment III était constituée au centre de la coulée d'éboulis infiltrée de boue, du côté nord-est, de remblais miniers noirs, et du côté sud-ouest, de remblais miniers stockés sur le plancher de bois enchevêtrés, dont certains reposaient sur des étais toujours en place (*cf.* pl. 42, p. 634 et pl. 39, p. 630). Les remblais noirs ont été identifiés vers 2,50 m de profondeur dans le compartiment I dans lequel ils occupaient le bord nord-est du chantier. Ils apparaissaient au niveau du plancher à 2,40 m de profondeur. Ils présentaient une forte pente au sud-ouest, s'infiltraient sous l'étai A1, et occupaient le compartiment II vers 4 m de profondeur. À ce niveau, le chantier est resserré et mesure moins de 0,60 m de largeur. L'épandage de remblais s'étendait, sous les éboulis pierreux, jusque vers le fond de la fosse, à la cote – 6,20 m. Ils touchaient le front de taille du chantier du côté est au moins jusqu'à la cote – 4,20 m. Ils renferment des pièces de bois, surtout à la limite avec l'éboulis pierreux (*cf.* pl. 39, p. 630). La masse des remblais noirs était assez homogène et ne présentait pas de stratification nette. Ils se composent de cailloutis anguleux et de graviers en plaquettes, très riches en charbons de bois, caractéristiques des déblais de l'abattage par le feu. Ils renferment une grande quantité de déchets de bois de refend, de petites branches de résineux et des concentrations d'écorces rouge violacé de Mélèze. Ils ne proviennent pas directement des fronts d'abattage, mais semble avoir été, dans un premier temps, stockés en surface où ils ont été pollués par des déchets de travail du bois. Ils ont ensuite été remobilisés pour être déversés dans la fosse.

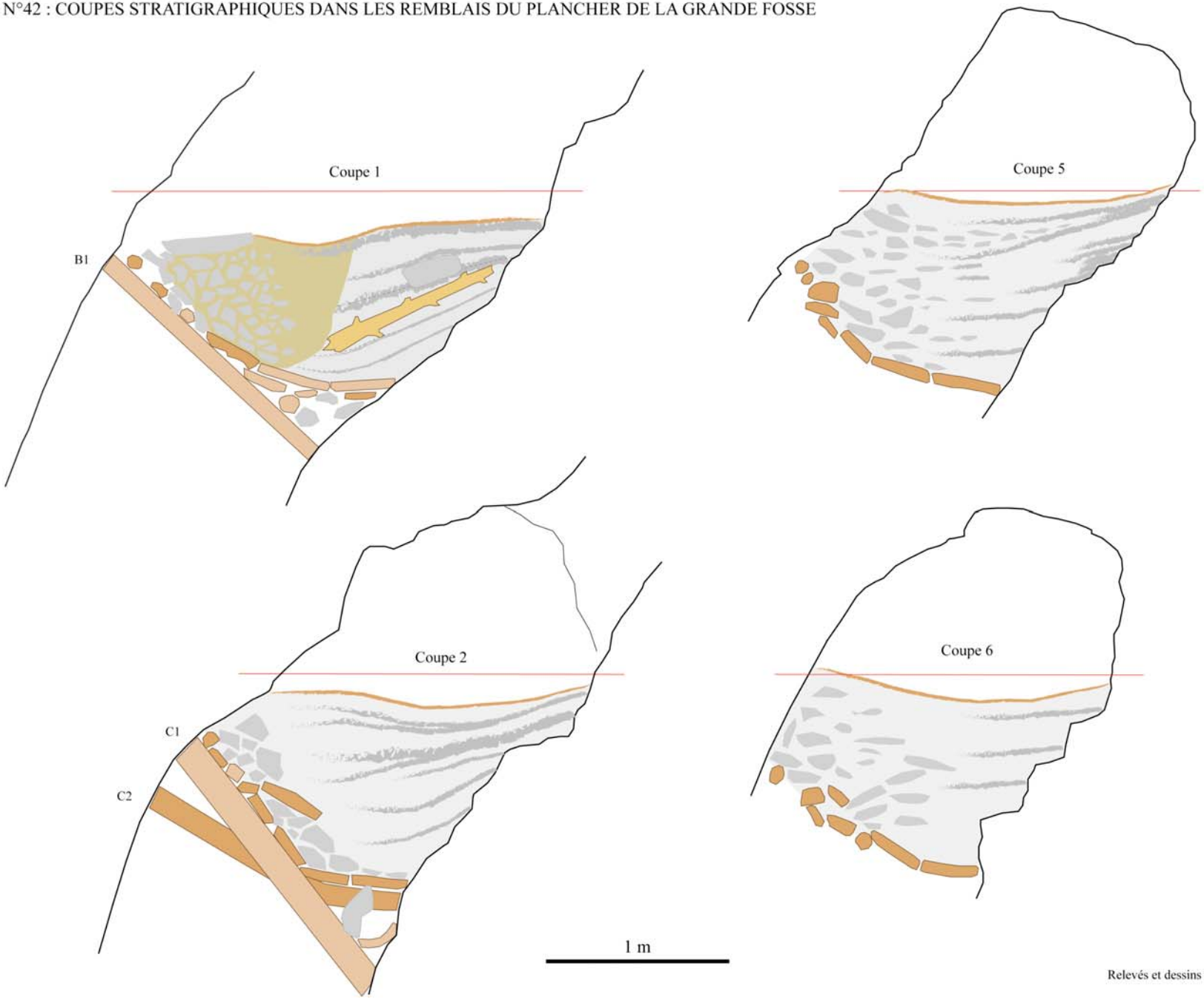
[23] En construction, le rondin désigne un tronc d'arbre non équarri.

1. Montage photographique

PLANCHE N°41 : LE PLANCHER DE LA GRANDE FOSSE (SECTEUR DE FANGEAS) VU PAR LE DESSOUS

2. Clichés de détails

PLANCHE N°42 : COUPES STRATIGRAPHIQUES DANS LES REMBLAIS DU PLANCHER DE LA GRANDE FOSSE



Relevés et dessins : B. Ancel 2007-2008

À gauche de l'étai A1, des bois refendus longitudinalement (nommés GF 44 et GF 47) inclinés dans le sens du filon ont été retrouvés, pris dans le remblaiement (*cf.* pl. 39, p. 630, niveau du plancher réparé sur les remblais noirs). L'allure de ce dépôt minier et la configuration des lieux indique une zone de rupture du plancher dans le compartiment I. En effet, la moitié du volume fouillé était en place dans la partie supérieure du chantier tandis que l'autre moitié paraissait avoir glissé vers le fond. Cette répartition suggère l'existence d'une cloison verticale, calée sur les étais A1 et A2, qui aurait retenu ces remblais noirs dans le compartiment I. Comme elle ne peut pas avoir été construite au moment de leur dépôt, sa rupture expliquerait la forte pente accusée par le remblaiement effondré.

Les remblais miniers stockés au sud-ouest reposent sur les planchers des compartiments III, IV, et sur ceux des compartiments V et VI. La deuxième coupe stratigraphique dressée à l'aplomb des étais B1 et C1 dans le compartiment III montre clairement que le remblaiement a été réalisé en plusieurs étapes par couches successives (*cf.* pl. 42, coupe 2, p. 634). Au démarrage, la stabilisation du plancher a été assurée par une couche de gros cailloux sur lesquels reposent des cailloutis et des graviers avec des inclusions de charbons de bois. De fines couches plus compactes, plus sombres et de granulométrie plus fine, s'intercalent avec les cailloutis. Elles signalent à chaque fois le sommet d'une couche de dépôt piétinée par les mineurs. Ces couches sont plus marquées du côté du mur (à droite) que du côté du toit du filon (à gauche) car l'inclinaison du chantier a obligé les ouvriers à circuler près du mur. La coupe n°1 montre sur la moitié droite un dépôt similaire (*cf.* pl. 42, coupe 1, p. 634). Un gros bloc et une branche de résineux sont pris dans les remblais. Ce dépôt est situé à l'aplomb de la paroi du mur. Par contre, du côté gauche, à l'aplomb du compartiment réparé, on voit surtout des blocs. Entre les deux coupes, le dépôt redevient homogène sur la gauche, dès que le plancher n'est plus réparé. Au-devant de la coupe n°1, dans le compartiment II, les remblais du côté droit sont en placage sur la paroi du mur qui est incliné à 50°.

Ces informations stratigraphiques autorisent une restitution de la dynamique de remblaiement du plancher. Les remblais semblent y avoir été entreposés rapidement après sa construction. Cette hypothèse sera vérifiée avec le croisement des analyses radiocarbones et dendrochronologiques. Il en est de même pour le compartiment III qui n'avait pas forcément la même extension qu'aujourd'hui. L'observation de la paroi du mur révèle des creux ayant pu accueillir des étais aujourd'hui disparus. Ils offriraient deux encoches de calage (réservations) situées à peu près au même niveau que celles des étais A1 et B2 rattachés à la

première phase de construction du plancher. Dès lors, il pourrait y avoir eut dans la continuité du compartiment IV, un compartiment III, long de 1 m au lieu de 80 cm dans l'état actuel. Mais, il est aussi possible que le compartiment III originel ait été simplement soutenu par l'étai B2 encore à moitié en place. Le compartiment III se serait alors partiellement effondré suite à la rupture de quelques planches. Une partie des remblais, qui avaient eu le temps de se tasser et de se compacter, serait restée collée du côté du mur. Un ou deux mineurs-boiseurs auraient alors replacé un nouvel étai B1, renforcé les autres étais du plancher, et réparé le compartiment III. Enfin, ils auraient comblé la portion de remblais manquante avec des matériaux plus grossiers qu'ils auraient récupérés plus bas.

Le remplissage situé au niveau du compartiment II correspond à la coulée d'éboulis, à la concentration de bois enchevêtrés et au passage qui relie l'étage inférieur du chantier. La coulée d'éboulis comprend de nombreux gros blocs, dont certains pèsent plus de 30 kg. On note la présence de blocs en grès arrondis, de plaques de schistes et localement de cailloutis. Au contraire, sous les gros blocs et sous les bois, le remplissage est troué de vides envahis par de la boue liquide. La coulée d'éboulis se poursuit sous le plancher, le long de la pente raide et instable qui atteint le point bas actuel de la cavité où son épaisseur n'a pas encore pu être évaluée. Ces blocs et ces matériaux proviennent manifestement d'un déversement volontaire dans la fosse, réalisé depuis le couloir d'entrée, comme si on avait voulu fermer l'exploitation.

Le plancher boisé

Le plancher boisé est conservé en place sous le couloir d'entrée à 3 m de profondeur et sur 6 m de longueur (*cf.* pl. 18, p. 588 et pl. 38, p. 629). Il était masqué en hauteur par une couche de remblais (déchets d'abattage) diminuant d'épaisseur vers le fond car leur surface reste horizontale alors que le plancher s'élève (*cf.* pl. 39, p. 630 et pl. 41, p. 633).

Le compartiment I, long de 2 m, borde la fosse du côté nord-est. Il était chargé de remblais noirs. L'étai A1 est un rondin grossièrement équarri, formant une poutre à section quadrangulaire. Isolé, il ne supporte pas une portion du plancher en place, mais des bois sommairement agencés en plancher de fortune (*cf.* pl. 39, p. 630, plan bois du plancher en place). Un petit tasseau A2, situé en dessous, calé et en place, a été déplacé durant la fouille (bois déposé GF 50).

Le compartiment II, long de 1,20 m, était envahi par la coulée d'éboulis pierreux et par un enchevêtrement de bois. C’est au niveau de ce compartiment qu’il est possible de se glisser sous le boisage en place. L’étai B1 est un gros rondin qui supporte l’extrémité du plancher en place. Il est affaibli par une cassure du côté du mur. À proximité, un rondin légèrement courbe, nommé B2, reposait transversalement sur les éboulis, en dessous du plancher (bois déposé GF 61) (*cf.* pl. 39, p. 630, niveau bois du plancher en place). Il semble avoir servi d’étai pour supporter une partie du plancher au niveau du compartiment III. Il touchait encore le mur du chantier, mais le côté du toit avait chuté (*cf.* pl. 18, p. 588 et pl. 38, p. 629). Il semble donc que l’étai B1 ait été placé dans un second temps pour renforcer et/ou remplacer l’étai B2. Ce compartiment est interprété comme une zone de circulation verticale condamnée par un plancher de fortune.

Le compartiment III constitue la première portion du plancher en place conservée sur 0,80 m de longueur. Elle a été dégagée entre les coupes stratigraphiques 1 et 2 (*cf.* pl. 42, p. 634). Le plancher y a fait l’objet d’une réparation par les mineurs. Certains éléments instables en position de réemploi ont été déposés (GF 35 à GF 39 et GF 57 à GF 62). Ils comptent notamment un montant d’échelle rustique brisé, remployé (*cf.* pl. 43, ph. 1, p. 638). Les quatre bois qui se prolongent dans le compartiment IV ont été conservés en place. La portion réparée est constituée de planches grossières refendues longitudinalement et de rondins assez courts, probablement récupérés à proximité car les morceaux sont souvent abîmés. L'étai C1 est un gros rondin incliné à 50° qui supporte une partie du compartiment IV et la portion rafistolée du compartiment III. Une simple pierre posée sur l’étai cale les planches du côté du mur. Juste à côté, un bois refendu C2, plié au milieu, serait un étai plus ancien incliné à 25°. Il se trouve en contact avec toutes les planches du compartiment IV. Il semblerait que l’étai C1 ait servi à renforcer l’étai C2. En effet, la coupe 2 indique que le plancher du côté nord (côté mur), équipé des planches d’origine, suit la courbure de l’étai C2 et avait commencé à s’affaisser pendant l’exploitation (*cf.* pl. 42, coupe 2, p. 634). Du côté gauche (côté du toit), le plancher d’origine s’est rompu et les remblais ont chuté. Il a été réparé avec les bois de réemploi soutenus par les étais B1 et C1 et rechargé avec des blocs et des remblais remaniés (*cf.* pl. 42, coupe 1, p. 634).

PLANCHE N°43 : COMPARTIMENT III DU PLANCHER DE LA GRANDE FOSSE

1. Plancher en cours de fouille
Vue fragment d'échelle en remploi (cl. B. Ancel).

2. Cours de fouille - Coupe stratigraphique n°1 (cl. B. Ancel).

3. Cours de fouille
Coupe stratigraphique n°2 (cl. B. Ancel).

4. Détail des renforcements, vue depuis le bas (cl. B. Ancel).

Le compartiment IV constitue la seconde portion du plancher en place qui mesure environ 1,20 m de longueur. Elle est composée de belles planches refendues larges de 30 cm portée par les étais C2 et D2 renforcés par les étais C1 et D1 (*cf.* pl. 44, ph. 1, p. 640). Les anciens étais affectent un fléchissement à l'origine du tassement du plancher arrêté par les deux nouveaux étais. L'étai D1 est un gros rondin incliné à 40° environ. Le côté droit du plancher, là où il est naturel de circuler, est constitué de deux planches refendues larges de 30 cm. Le côté gauche est constitué de planches moins larges et de rondins. Les jours sont bouchés avec des pierres calées. Le contact avec le compartiment IV est ajusté par un bois placé transversalement et quelques pierres de calage. Un espace IV-V est compris entre les étais D et E, à la jointure entre les compartiments IV et V. Un long rondin de 3 m environ semble avoir été glissé entre le compartiment IV et les étais du groupe D pour renforcer l'étai E.

Cette pièce supporte les bois du compartiment V, long de 1,20 m, qui constitue la troisième portion du plancher en place construite avec des planches refendues. Il repose à la fois sur l'étai E et sur le bord du compartiment IV. Il est probable qu'il manque un étai qui aurait été le jumeau de l'étai E du côté sud-ouest. Il aurait chuté et n'aurait pas été remplacé. La structure a pu se maintenir malgré son instabilité grâce au poids des remblais. Les deux tiers du plancher sont constitués par un rondin et trois planches, larges de 20 à 30 cm. Son extrémité gauche est constituée par trois planches étroites posées sur les étais E et F. La zone de jour était obturée par des pierres qui devaient à l'origine se caler sur l'étai qui a disparu.

Les étais F, G et H sont trois pièces de bois refendues qui supportent le compartiment VI, long de 1 m. Il constitue la quatrième et dernière portion du plancher en place qui surplombe de 10 cm le compartiment précédent. Il est composé de planches refendues moins bien agencées que dans les compartiments précédents. L'étai I est un gros rondin noueux qui supporte une extension du compartiment VI, aménagée avec quelques bois placés du côté du mur. Cet assemblage de bois n'est plus très stable car il manque un étai sous le compartiment V, l'étai B est fendu et les étais C1 et D1 viennent renforcer le compartiment IV. La stabilité de l'ensemble était assurée par le poids des remblais.

PLANCHE N°44 : PLANCHER, BARRAGE ET FRONT DE TAILLE DE LA GRANDE FOSSE

1. Vue du compartiment IV depuis le compartiment II
(cl. B. Ancel 2008)

2. Vue du plancher depuis le dessous (SO)
(cl. B. Ancel 2008)

3. Vue du barrage depuis le SO
(cl. B. Ancel 2008)

4. Vue du front de taille du ressaut inférieur
(B. Ancel 2008)

L’allure de ces aménagements et le chevauchement des bois indiquent que la construction du plancher a débuté par le compartiment IV. Elle s’est poursuivie par les compartiments III et V et achevée par le compartiment extrême VI. Le chantier étant incliné, le plancher est incliné dans le sens contraire. Les étais d’origine ont été inclinés de 25° à 10° en progressant vers le fond. Les étais de réparation sont inclinés de 40° à 50° (*cf.* pl. 38, p. 629). Le plancher a connu des épisodes de ruptures. Les étais B2, C2, D2 et E auraient d’abord donné des signes de faiblesse puis la portion III du plancher aurait lâché. Elle aurait alors subi des confortements. Les gros rondins B1, C1 et D1 auraient été placés de façon à renforcer les étais B2, C2 et D2. L’étai E a été conforté à l’aide d’un rondin glissé sous le plancher IV, mais cet ajout peut aussi dater de la première phase de renforcement du plancher. Enfin, en même temps que ces confortements ou beaucoup plus tard, le côté sud-ouest du compartiment III aurait été rafistolé, en s’appuyant sur les étais B1, C1 et la portion de plancher du compartiment IV. Ces réparations n’auraient pu se faire que lorsque l’accès au fond du chantier était libre, c’est-à-dire avant la mise en place des blocs qui remplissaient la fosse, donc pendant la dernière phase d’exploitation.

Le dépôt des remblais a dû se faire d’abord du côté droit, là où le plancher est constitué d’un lit de planches larges et bien assemblées. Puis, lorsque les remblais commençaient à s’épaissir, le plancher a été complété vers le toit avec des bois plus minces et avec des pierres de calage.

Les remblais du plancher sont constitués de graviers et de cailloutis moyennement riches en charbon de bois. Des pierres centimétriques, et parfois plus grosses, sont présentes localement, notamment sur le côté gauche, sous le toit de la fosse. Du côté droit, sur le mur de la fosse, les remblais montrent une stratification fruste marquée par des lits plus sableux et plus riches en charbons. Il s’agit manifestement de résidus d’abattage par le feu qui ont été stockés sur le plancher juste après le nettoyage d’un front de taille. Comme on ne distingue pas de sol de circulation ou de dépôt lessivé, le remplissage a dû se faire dans un temps limité, celui de plusieurs dizaines de feux d’abattage. Le niveau supérieur des remblais est à peu près horizontal (cote -2,20 m). Sa base, c’est-à-dire le plancher en bois, s’élève d’un compartiment à l’autre aussi l’épaisseur des remblais passe de 90 cm (comp. III) à 80 cm (comp. V) puis à 50 cm (comp. VI). À l’origine, le volume de remblais stockés aurait été de 4 m^3 environ.

Les enchevêtrements de bois

Trois niveaux d'enchevêtrements de bois ont été distingués : un premier au niveau du plancher en place, un second à l'interface de l'éboulis pierreux et des remblais noirs, et un dernier à la base des remblais noirs.

La plupart des éléments ligneux situés en hauteur sont pris dans la coulée d'éboulis pierreux, mais se concentrent à une faible distance au-dessus du plancher de fortune (*cf.* pl. 39, p. 630, plan bois supérieurs du cône d'éboulis). Ces matériaux pouvaient faire partie de la structure d'un platelage suspendu ou d'une autre structure aérienne destinée à protéger la fosse des intempéries et particulièrement des eaux de pluie. Elle se serait écroulée au moment où l'éboulis de blocs a été déversé dans la fosse. Mais, il n'est pas exclu qu'ils aient été précipités dans la fosse en même temps que les blocs.

Au niveau du plancher conservé, une série de bois est disposée dans le sens du chantier, du côté du mur, en continuité avec la portion réparée (*cf.* pl. 39, p. 630, plan bois du niveau du plancher en place). Ils reposent au sommet des remblais noirs sur l'étai A1 et sur l'extrémité du compartiment III, et forment une sorte de platelage de fortune sur une moitié de la largeur du chantier. Ils ne sont pas recouverts de remblais. Cette portion paraît construite à la hâte, à un moment postérieur au glissement des remblais noirs, peut-être en même temps que la réparation et avant la coulée d'éboulis qui l'a submergée. Des bois sous-jacents peuvent lui appartenir. Ils ont pu riper ou céder sous le poids de la coulée d'éboulis. Dans ce cas, le plancher de fortune pouvait couvrir l'essentiel du compartiment II. Des morceaux de planches de refend sont couchés de manière peu stable contre le mur du chantier, au-dessus de l'étai B1. Ils ont pu glisser depuis le sommet de la fosse.

Les éléments de l'enchevêtrement situés sous le niveau du plancher réparé et à l'interface des remblais noirs et de l'éboulis pierreux, sont issus de différents contextes. Des bois présentent des traces de carbonisation. Ces pièces en position de réemploi peuvent correspondre à des éléments de boisage qui se trouvaient plus en profondeur au contact du ou des fronts d'abattage, ou à des vestiges de combustible. D'autres présentent des entailles ou des encoches dont la fonction n'est pas toujours évidente. Certains d'entre eux appartiennent à la structure d'origine ou au montage réparé du compartiment III. D'autres bois étaient inclus dans les remblais noirs du compartiment I. D'autres encore, peu nombreux, étaient pris dans la coulée d'éboulis. Mais, l'essentiel était situé à la base des blocs ou légèrement pris entre

eux, à la surface des remblais noirs ou légèrement enterrés, franchement à l'interface entre les dépôts miniers et la coulée d'éboulis. Cette stratigraphie indique que les bois étaient déjà dans la fosse au moment où les blocs y ont été déversés (*cf.* pl. 39, p. 630, plans des bois sous le niveau du plancher réparé sur les remblais noirs et vers la base des remblais noirs).

Les bois GF 40 à GF 56 sont situés dans le compartiment II, sous le niveau du plancher (*cf.* pl. 39, p. 630, relevés en plan des bois sous le niveau du plancher réparé, sur les remblais noirs). Ils sont désordonnés comme un jeu de mikados et plantés dans les remblais noirs. Ils peuvent correspondre à des éléments effondrés sur la pente des remblais noirs, jetés en vrac dans la fosse, ou qui auraient glissé de plus haut.

Les accumulations de matériaux ligneux découverts plus bas sont situées dans le même contexte. Une bonne partie des bois était concentrée contre la paroi du toit, dans les remblais noirs, indiquant leur chute sur un cône d'éboulement en formation. De nombreux bois longs étaient localisés sur la base de l'éboulis formé par les remblais noirs. Ils seraient tombés avec le glissement des remblais noirs et auraient fait partie de la cloison qui les retenait et/ou d'une possible continuation du plancher dans le compartiment II.

Dynamique opératoire

L'ensemble des données stratigraphiques, des observations réalisées lors de la fouille et l'analyse de la répartition des bois en plan caractérisent la dynamique opératoire de la Grande Fosse et de distinguent huit moments clés dans son histoire.

L'activité minière a progressé sur un escarpement rocheux où la lentille affleurait sur moins de 4 m de longueur. Dans un premier temps, la minéralisation a été reconnue grâce au percement d'une galerie de recherche sur 5 m de longueur, dont une portion de 3 m a été creusée en zone stérile entre la deuxième moitié du XIe et la première moitié du XIIe siècle. Au sol de ces travaux de reconnaissance, le filon semble avoir été prometteur puisque la fosse a été ouverte sur 4 m de longueur.

La roche encaissante, un gneiss assez dur, a nécessité le recours à l'abattage par le feu. Cette technique a conduit les mineurs à créer dans un second temps une cavité aux parois lisses et arrondies, avec une largeur qui varie de 1 à 1,50 m avec localement des rétrécissements pouvant atteindre 50 cm. À la profondeur de 4-5 m, le chantier a été étendu

vers la montagne, du côté du sud-ouest, se développant alors sur une longueur de 12 m. C'est peut-être seulement après cette extension que la construction d'un plancher en hauteur a été décidée. À ce moment-là, il était plus facile pour les mineurs de mettre en place des étais à hauteur d'homme.

Ce plancher, long de 6 m, n'a pas vraiment été conçu à l'origine pour stocker des déblais. En effet, il ne supporte qu'à peine 4 m^3 de remblais nécessitant pour leur stockage plus d'énergie qu'il en aurait fallu pour les évacuer au jour. Ce plancher a plutôt eu pour rôle de protéger les ouvriers travaillant dans la fosse contre les chutes de blocs depuis le jour et l'accumulation de neige en hiver. Pour permettre un accès dans le chantier pendant la combustion des bûchers d'abattage, il a aussi pu servir de séparation entre le courant d'air frais entrant et les fumées sortant. La zone de circulation aurait donc été établie du côté est du chantier.

Le chantier a été approfondi, au minimum, jusqu'à une profondeur de 8 m. D'autres planchers ont peut-être été construits pour faciliter la circulation verticale. Une telle cavité a nécessité le travail de plusieurs milliers de feux. Il a donc fallu plusieurs années aux mineurs pour arriver à un tel résultat. L'équipe pouvait se constituer d'au moins quatre ou cinq travailleurs sur chacun des sites (Fangeas I et Fangeas II). Il convient donc de déterminer, grâce à l'analyse des bois, si cette activité a eu lieu de façon saisonnière, avec une latence des travaux durant l'hiver où il peut s'accumuler deux à trois mètres de neige, ou pendant les temps forts du calendrier agropastoral.

En fin d'exploitation, il a été décidé de fermer la fosse avec des remblais. Étant donné l'existence d'un plancher déjà en place, les ouvriers chargés de cette mission n'ont pas opté pour sa prolongation, mais ils ont édifié de manière sommaire un barrage dans la partie est du chantier. Ils ont comblé le bord du chantier en récupérant les matériaux amassés sous forme de halde au-devant de la fosse. La remobilisation de cette halde a produit les remblais noirs riches en vestiges ligneux.

Alors que le comblement était bien avancé, la halde s'est épuisée. Les ouvriers ont alors ratissé les environs à la recherche de pierres. Mais, le sommet du barrage et l'extrémité du plancher ont cédé sous le poids du comblement. Une partie du stock de remblais noirs et de nombreux bois ont alors glissé vers le fond du chantier.

Après avoir constaté les dégâts dus à l'affaiblissement du plancher, les ouvriers ont décidé de le réparer. Ces réparations ont consisté au doublement de quelques étais pour

conforter le plancher qui s’affaissait. Le compartiment III, percé, a été également rafistolé avec des bois de récupération dont un fragment d’échelle. Un plancher de fortune a été aménagé entre le plancher réparé et la portion de remblais noirs qui n’avait pas glissé, dans le compartiment II.

Le comblement a repris avec le déversement d’une grande quantité de blocs dans la fosse. Ce travail a été achevé avant l’ennoiement inévitable de la fosse, car des bois et des branches ont été retrouvés pris entre les blocs. En effet, s’il avait eu lieu alors que la fosse était ennoyée, les bois auraient flotté et se seraient séparés des blocs et des gravats. Ultérieurement, le poids de l’éboulis pierreux a fait encore céder localement le plancher de fortune et une coulée de blocs s’est infiltrée dans la fosse recouvrant l’éboulis de remblais noirs.

Le Grand Puits et ses abords

La fosse du Grand Puits

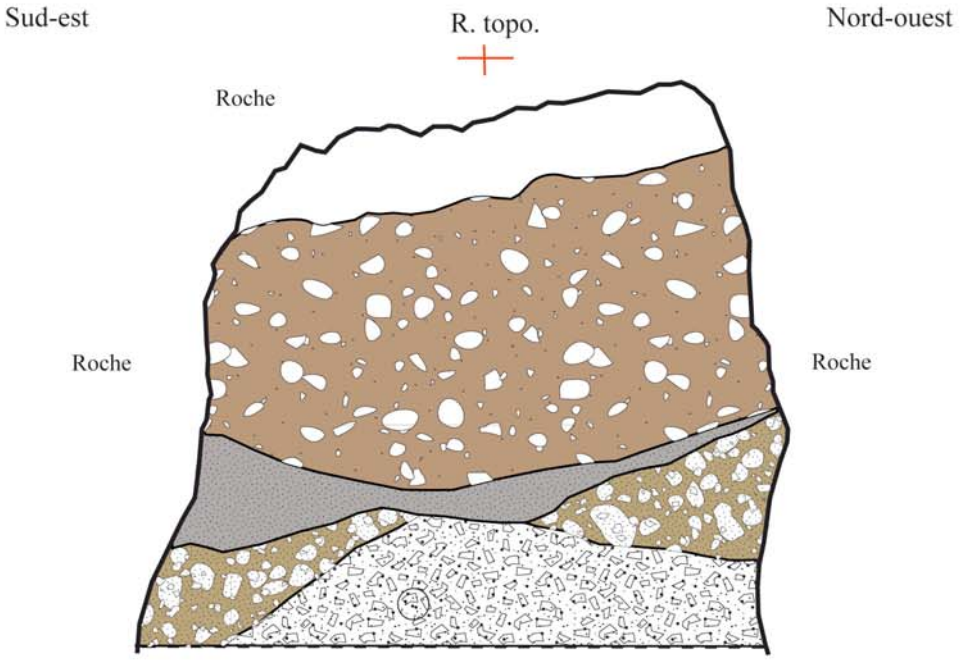
Le comblement du chantier du Grand Puits n'a pas encore été fouillé. Cependant, le dégagement de l'entrée de l'ouvrage a montré qu'il était principalement constitué de remblais (*cf.* pl. 45, p. 647). Il est donc probable qu'une grande partie du remplissage soit composé des déblais miniers coiffés par les colluvions qui ont envahi la cavité depuis les foncées ouvertes au jour.

Le remplissage de la fosse du Grand Puits a été fouillé sur 2,90 m de profondeur par tranches d'un mètre environ. De cette manière, trois coupes transversales ont été dressées au front de chacune des tranches (*cf.* pl. 20, p. 591 ; pl. 45, p. 647 ; pl. 46, p. 648 ; pl. 47, p. 649). La quantité de matériaux dégagés représentent un volume d'environ 20 m^3. La coupe 1 n'a pas été poursuivie en profondeur à cause de l'abondance des bois entremêlés qui traversent le comblement (*cf.* pl. 20, p. 591 ; pl. 22, p. 594). Ce dernier forme deux dépressions. La première est assez discrète tandis que la seconde est très importante. Ses parois abruptes attestent de manière indubitable la présence d'un soutirage. Il existe donc du vide sous ce remplissage qui repose, peut-être, comme dans la Grande Fosse, sur un plancher de bois qui a pu céder localement.

Le sommet du remplissage étudié par les quatre coupes stratigraphiques est coiffé par une épaisse couche de cailloutis centimétriques assez aérés, avec des blocs (US 1). Des variantes ont été localement différenciées par leur couleur et par l'importance de la matrice limoneuse. Au nord-ouest, du côté amont, elle présente une variante de couleur brune avec une faible matrice limoneuse (US 1a). Elle recouvre une variante de couleur brun-noirâtre riche en limons et en poussières de charbon de bois (US1b). Au nord-est, directement sous l'unité 1a, une lentille de couleur brune plus grossière avec des vides a été identifiée (US 1c). La portion sud-est présente des lentilles de dépôts de sables gris (US 1d).

PLANCHE N°45 : GRAND PUITS COUPE STRATIGRAPHIQUE TRANSVERSALE N°3
(ENTRÉE DU CHANTIER)

1/20



Légende

US 1 - Cailloutis centimétriques aérés avec des blocs.

US 1d - Dépôts sables gris lenticulaires.

US 3 - Cailloutis, blocs, graviers et sables avec infiltrations limons argileux brun clair à ocre.

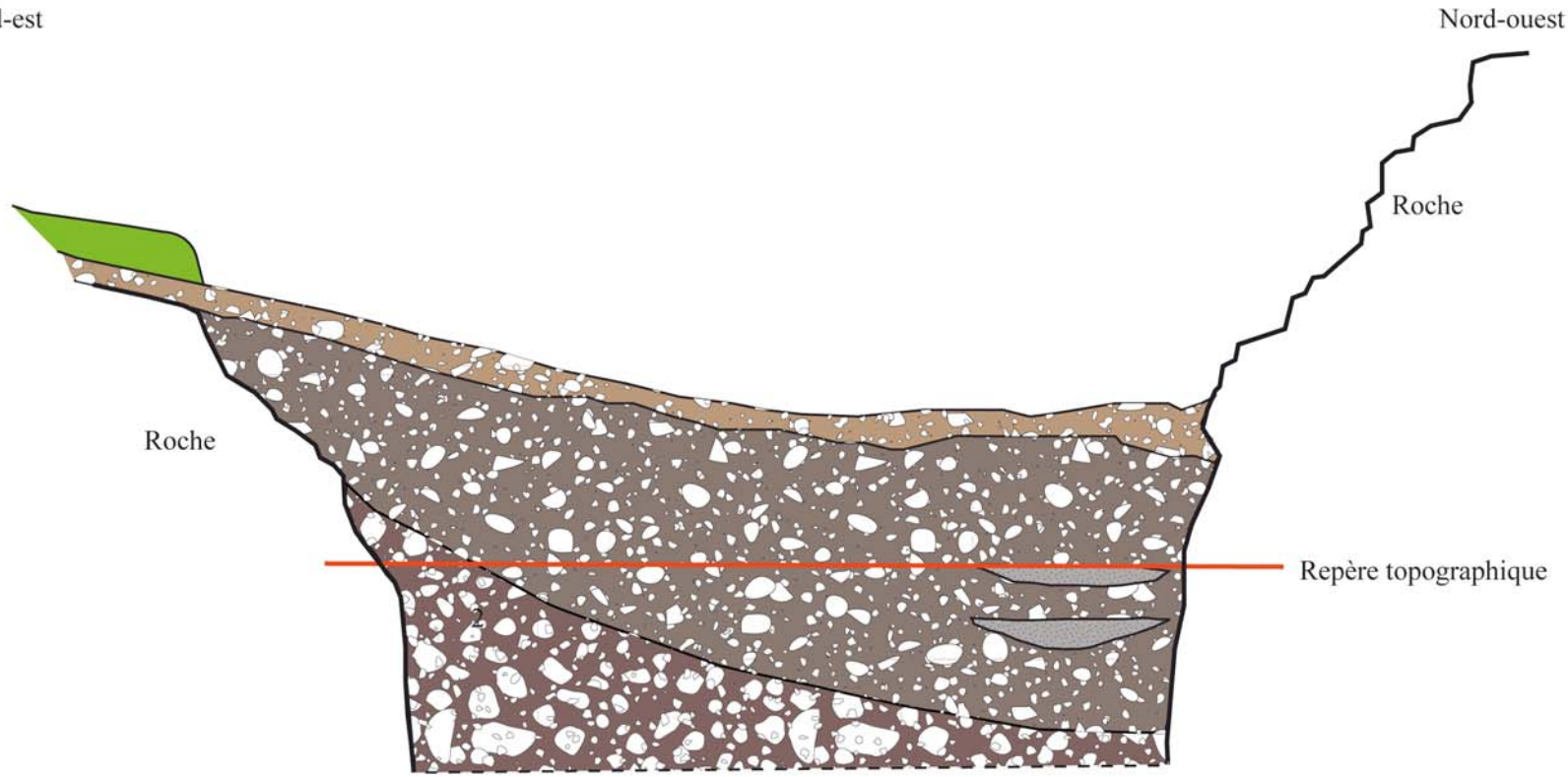
US 4 - Cailloutis riches en plaquettes, graviers et sables avec nombreux charbons de bois.

Prélèvement anthracologique.

Relevés : B. Ancel, S. Burri, G. Munteanu 2005
Dessin : B. Ancel et V. Py 2005-2009

PLANCHE N°46 : GRAND PUITS COUPE STRATIGRAPHIQUE TRANSVERSALE N°1

1/20



Légende

Humus

US 1a - Variante brune de l'US 1 avec une faible matrice limoneuse.

US 1b - Variante brun noir riche en limons et poussières de charbons de bois.

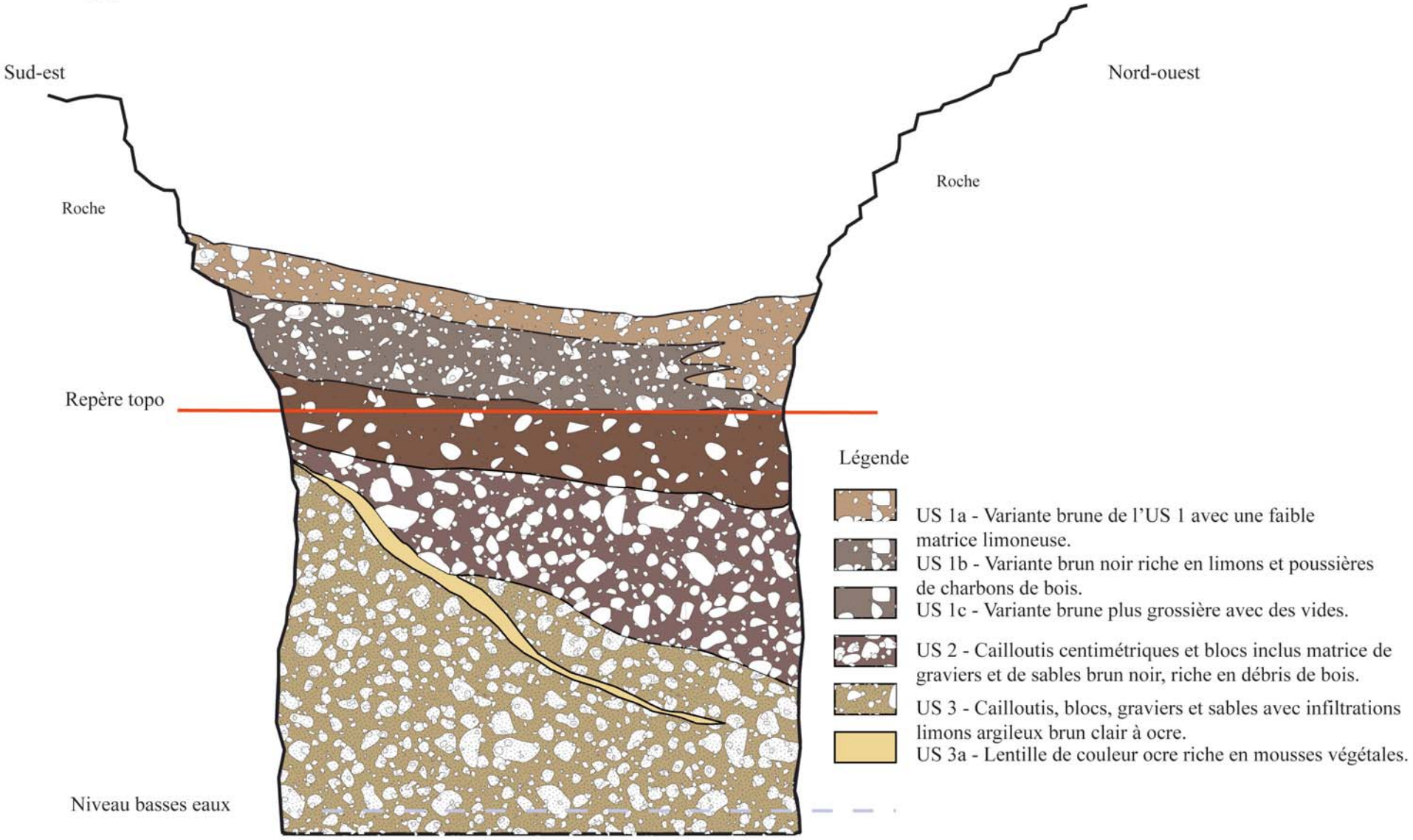
US 1d - Dépôts sables gris lenticulaires.

US 2 - Cailloutis centimétriques et blocas inclus dans une matrice de graviers et de sables brun noir, riche en débris de bois de refend.

Relevés : B. Ancel, S. Burri, G. Munteanu 2005
Dessin : B. Ancel, V. Py 2005-2009

PLANCHE N°47 : GRAND PUITS COUPE STRATIGRAPHIQUE TRANSVERSALE 2

1/20



Non fouillé

Relevés : B. Ancel, S. Burri, G. Munteanu
Dessin : B. Ancel et V. Py 2005-2009

Ces variations latérales de dépôts paraissent refléter des arrivées de colluvionnement par les bords du puits et par les dépressions qui drainent naturellement les eaux de pluies. Du côté sud, juste en aval du grattage sur le filon, les sables sont particulièrement abondants. Cette épaisse couche liée au colluvionnement des matériaux situés aux abords de la fosse (déblais miniers et sédiments) recouvre une strate de cailloutis centimétriques et de blocs inclus dans une matrice de graviers et de sables bruns-noirâtres, renfermant des débris de bois de refend (US 2). Elle présente des variantes latérales, mais moins prononcées que dans l'unité 1. Elle est envahie du côté sud par les sables gris accumulés dans la couche superficielle. La troisième unité individualisée est située au niveau des basses eaux. Elle est composée de cailloutis, de blocs, de graviers et de sables présentant des infiltrations de limons argileux de couleur brun clair à ocre (US 3). Ce faciès est directement lié à l'accumulation d'apports argileux remobilisés par les battements de la nappe d'eau. Du côté ouest, à l'interface des unités 2 et 3, un niveau de mousses végétales de couleur ocre (US 3a) se développe sur plusieurs centimètres d'épaisseur. Il se trouve en contact avec une zone enrichie en fragments de branches et de perches en bois. La continuité de ce niveau et sa relation avec les bois est assez nette. Il suggère l'existence d'un plancher effondré. Les mousses auraient pu servir de matériau de colmatage pour imperméabiliser les espaces entre les branches. Le tout était recouvert par une couche de cailloutis et de terre pour former un sol stable et régulier. La présence de mousse de calage a déjà été observée dans de telles conditions dans un chantier de la mine de cuivre de Campolungo en Italie du Nord, et à Brandes (Ancel *et al.* 1998 ; Bailly-Maître 2002, pp. 107-108). Seule la dernière unité est composée de déblais d'abattage par le feu à proprement parler constitués de plaquettes de roche et de graviers riches en charbons de bois (US 4). Ils forment un cône qui se développe au pied du bord sud du Grand Puits, comme s'ils avaient été stockés en hauteur, sous le grattage de l'affleurement, et qu'ils avaient glissés dans le puits. Des charbons de bois issus de cette couche datent la production de ces déblais du XIe siècle et de la première moitié du XIIe siècle.

À partir d'un mètre de profondeur, tous les grands bois découverts dans cet enchevêtrement ont été déposés et étudiés. À l'intérieur de cette portion de remplissage composée de quatre unités stratigraphiques distinctes, les bois entremêlés sont dominés par trois types. Le premier rassemble les branches et les perches de faible diamètre généralement disposées dans le grand axe du puits. Le second concerne les troncs massifs disposés en biais dans la fosse. Et le troisième, concerne les quelques vestiges d'équipement travaillés (une

poulie, une échelle monoxyle et un fragment d'échelle monoxyle). Les pièces maîtresses de cet enchevêtrement de bois sont les trois grandes poutres, les planches refendues et la goulotte étudiées plus bas. Les poutres semblent avoir supporté un plancher constitué de perches et de mousses. Les faces inférieures carbonisées ont apparemment été exposées aux flammes des bûchers d'abattage conduits lors du creusement du puits[24]. Cette observation suggère l'utilisation de grands feux, très violents, créant des flammes de plusieurs mètres de hauteur.

- . -

Les travaux du Grand Puits ont été amorcés sur l'affleurement du filon qui s'est avéré riche et prometteur. Il a été décidé d'ouvrir un puits rectangulaire spacieux, calibré, équipé d'ouvrages d'assistance sommitaux et probablement protégé par un plancher porté par de solides poteaux et couvert de branches calfeutrées par des mousses. Le tout était stabilisé par des remblais. Une ou deux ouvertures y ont été obligatoirement ajourées pour laisser passer les ouvriers et les récipients qui remontaient le minerai et descendaient le matériel. Pour y descendre, les mineurs y avaient installé des échelles monoxyles attestées par un *Kletterbaum* entier et des fragments de *Kletterbaüme*. Le treuil était apparemment composé d'une petite chèvre en bois munie d'une simple poulie et d'un moulinet ou tambour à manivelle. La corde où se fixe le poids à lever passe sur la poulie et s'enroule d'un côté sur un moulinet dont les vestiges n'ont pas été retrouvés. Mais, la fouille du remplissage du puits n'étant pas terminée, de nouvelles pièces appartenant à ces équipements peuvent encore être découvertes. Le puits a été approfondi avec la technique d'abattage par le feu. Les flammes ont apparemment endommagé certaines des pièces de bois, sans pour autant nuire à leur stabilité. La profondeur hypothétique d'un puits de telle envergure peut être évaluée à plus de 10 m, voire 20 ou 30 m de profondeur. Les traces de carbonisation sur certaines pièces de bois des équipements

[24] A. G. Jars, dans son troisième mémoire sur les mines d'or, d'argent et de plomb de Norvège, édité en 1767, explique que les flammes des foyers d'abattage, par la négligence des ouvriers, pouvaient se propager à la charpente « […] quoiqu'elle soit très-peu multipliée, puisqu'on ne l'emploie que pour former les cadres des puits, le support des échelles, & pour le soutien des larges excavations, où deux ou trois pièces de bois sont suffisantes. ». Plus loin, dans son huitième mémoire consacré aux mines du Harz, A. G. Jars indique que les mineurs du Rammelsberg préféraient exploiter les ouvrages proches des puits d'extraction à la poudre « […] dans la juste crainte où l'on est que le feu ne prît à la charpente des puits & n'embrasât toute la mine ; par la même raison dans les endroits où l'on fait du feu, on a grand soin de retirer tous les charbons que le bois laisse ne brûlant ; car si on les mêlait avec les déblais, qui sont continuellement pénétrés par des matières vitrioliques, il y aurait à craindre qu'ils ne prissent feu dans leur fermentation […] », JARS (A. G.), *Voyages Métallurgiques*, Troisième et Huitième mémoires, 1767, pp. 107-109, pp. 265-268.

sommitaux pourraient indiquer l'installation simultanée des équipements avec le creusement des premiers mètres de profondeur du puits. Ces stigmates pourraient aussi indiquer l'utilisation de gros bûchers de bois secs et de fort calibre produisant des feux très dynamiques pouvant donner des flammes de plusieurs mètres de hauteur. Ce problème pourra être élucidé avec une meilleure caractérisation du phasage chronologique de l'exploitation. Latéralement, le chantier a été équipé de planchers partiellement remblayés. À proximité de l'embouchure protégée par le plancher, une cabane a pu être aménagée pour servir d'abri aux mineurs. L'étude des bois donne quelques indications à ce sujet. En somme, avec ses dimensions spacieuses et ses équipements sommitaux élaborés, le Grand Puits d'extraction de Fangeas est exceptionnel. Il suffit de le comparer aux puits découverts dans mines du Fournel, datés de la même période, s'apparentant plus à de simples foncées.

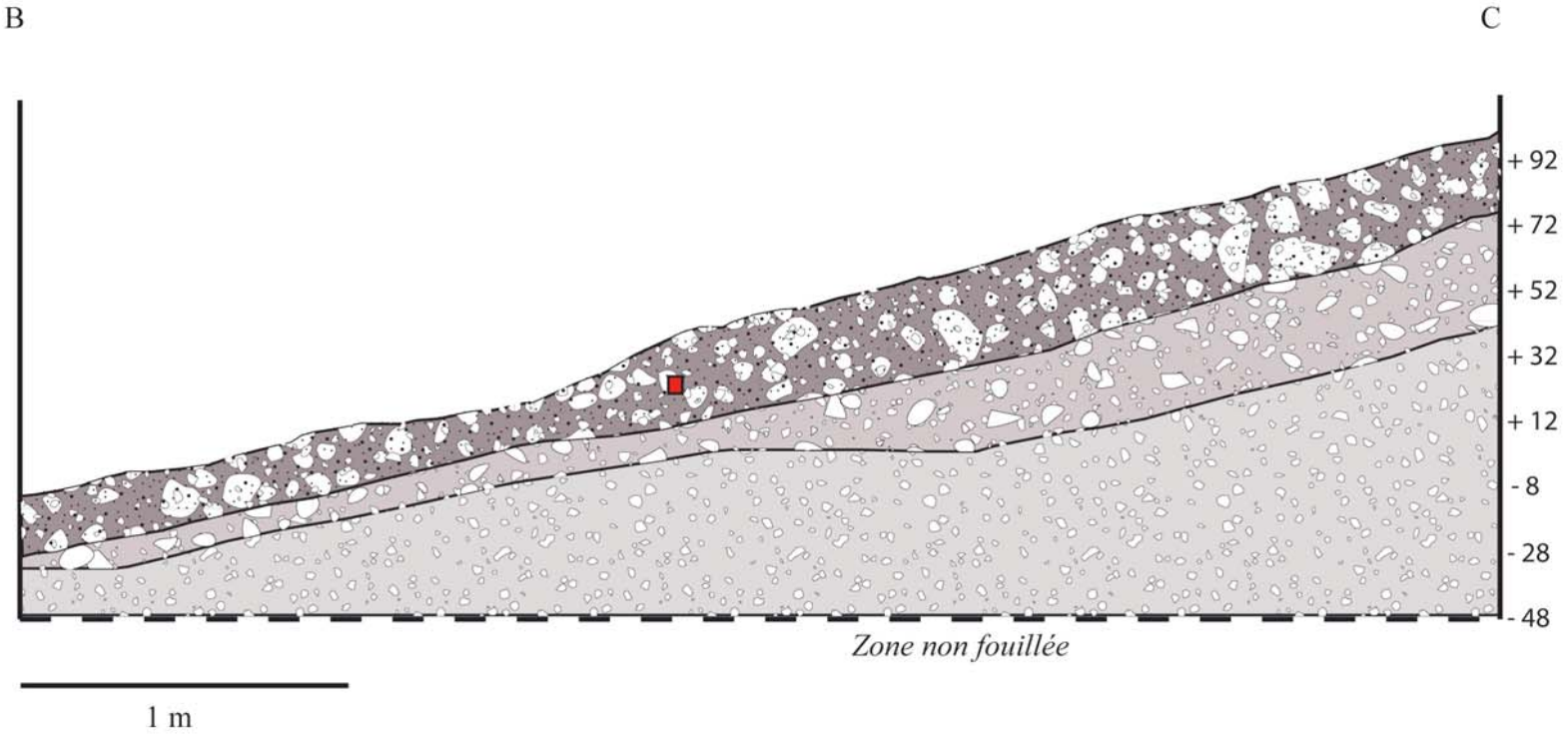
Fouille des déblais de surface

Les déblais miniers recouvrant de façon plus ou moins importante la surface d'investigation située aux abords directs du puits d'extraction ont exclu la mise en place d'une fouille planimétrique. Elle a été nécessairement conduite de façon stratigraphique pour comprendre la dynamique de la halde. Trois coupes témoins ont été conservées sur les côtés nord, sud et est de la zone fouillée (AB, BC, AC) (*cf.* pl. 21, p. 592 et pl. 48, p. 654 ; pl. 49, p. 657 ; pl. 50, p. 659). À l'intérieur de la zone de fouille, le sol rocheux a été complètement dégagé (sauf dans la partie sud) de façon à cerner les vestiges en creux d'éventuels aménagements et à retrouver les vestiges des ouvrages de recherche.

La coupe BC

La coupe BC orientée est-ouest, traverse une zone de déblais miniers prenant son origine au niveau des deux petites foncées situés en amont du Grand Puits (*cf.* pl. 48, p. 654). Elle semble naturellement liée à leur exploitation (recherches). La stratigraphie des déblais se compose d'une première couche de cailloutis anguleux et de graviers de couleur noire riches en charbons de bois caractéristiques des déchets d'abattage pas le feu où trois scories ont été retrouvées (US 1). Cette couche recouvre une passe plus claire, moins riche en charbons de bois, avec une matrice limoneuse plus importante où sont pris quelques blocs de roche (US 2). Dans cette zone du chantier, la fouille a été arrêtée, faute de temps suffisant, sur une couche gris clair, plus homogène avec nettement moins d'inclusions de charbons de bois et de débris de roche (US 3). Le substrat rocheux apparaît en certains endroits. Allant jusqu'à l'entrée du Grand Puits, cette nappe de déblais aurait pu être mobilisé par les mineurs pour combler la fosse. La présence des scories est problématique. Elles peuvent provenir d'une transformation involontaire du minerai lors de l'extraction par le feu car leur faible quantité n'atteste pas l'existence d'une aire de réduction. Les prospections menées aux abords du puits et de la halde n'ont pas permis de retrouver d'autres déchets de réduction caractéristiques.

PLANCHE N°48 : ABORDS DU GRAND PUITS
COUPE BC



Légende

US 1 - Cailloutis centimétriques et décimétriques avec graviers, sables et nombreux charbons de bois.

US 2 - Cailloutis centimétriques et blocs, matrice grise avec charbons dispersés diffus.

US 3 - Cailloutis plus disparates, absence blocs et inclusions charbonneuses dispersés et faibles.

Scories.

Relevés S. Burri et E. Bailly 2007
Dessin S. Burri et V. Py 2007-2009

La coupe AB

La coupe AB présente une stratigraphie plus complexe probablement en relation avec l'activité métallurgique attestée par la présence d'une enclume (*cf.* pl. 49, p. 657). La moitié nord de la coupe dont seule l'étude est complète a été divisée en trois portions pour faciliter sa lecture.

Quatre unités stratigraphiques ont été identifiées dans la portion 1. L'unité superficielle (US 1) se caractérise par des cailloutis anguleux centimétriques à décimétriques avec à la superficie quelques touffes d'humus (US 0). Elle présente une matrice d'éléments fins gris mêlés à des poussières de charbon de bois et à des inclusions charbonneuses. Cette couche qui se retrouve sur toute la coupe provient de déblais d'abattage par le feu lessivés (US 1 coupe BC). Quatre scories y ont été retrouvées. Sa masse imposante masque une réalité plus complexe. Elle se divise en plusieurs unités stratigraphiques dont la répartition est différentielle suivant les portions de la coupe (notamment au niveau de la portion 3). Elle recouvre une unité 2 caractérisée par des cailloutis anguleux plus fins et plus clairs (ocre rosé) avec une matrice de sable et de graviers compacte et des charbons dispersés. Elle présente des poches de cailloutis très fins avec des graviers. On note la présence de racines de grands arbres à son interface avec l'unité inférieure. Elle s'apparente à l'unité 5 caractérisée dans la coupe AD. Elle recouvre à certains endroits l'unité 2bis, souvent lenticulaire, plus sombre et plus riche en charbons de bois avec une allure irrégulière. On note la présence d'une zone très charbonneuse au contact de l'unité 3 qui est une couche détritique composée de cailloutis disparates inclus dans une matrice d'éléments fins et compacts ocre orangé. Un bloc de pierre, qui mesure 40 cm de largeur et environ 16 cm d'épaisseur, a été découvert au niveau de la rupture de pente. Ces dimensions caractéristiques et les cupules liées à la percussion présentent sur sa face supérieure laissent penser à une utilisation comme enclume. Elle repose sur l'unité 3 qui tapisse le sol rocheux (US 4). Elle est pour l'instant identifiée comme le pendant de l'unité 2 caractérisée à l'entrée du puits (coupe déblais base). En effet, une petite coupe dressée à cet endroit a révélé une couche sombre et riche en charbons de bois (US 2) qui tapissent une petite couche orangée détritique (US 3). L'unité 3 de la coupe AB présente des charbons de bois souvent pulvérulents juste à sa surface. Ces charbons proviennent apparemment des premiers travaux miniers. Or, l'unité 2 n'est pas caractéristique des déblais miniers car les cailloutis sont rares. Est-ce qu'il faut interpréter cette couche comme les

vestiges d'un incendie ? Dans ce cas, on aurait le même phénomène qu'à Faravel II où les travaux de prospection sont précédés d'un incendie.

Au niveau de la portion 2, l'unité 1 est plus épaisse et dense. L'unité 2 est aussi plus épaisse. On note toujours la présence de racine à l'interface des unités 2 et 2bis. L'unité 2 repose sur l'unité 2bis et sur une couche ocre compacte avec petits cailloutis qui s'intercale avec l'unité 2bis (US 5). Cette unité 5 présente des cailloutis centimétriques rares inclus dans une matrice compacte ocre orangé avec des inclusions de petits charbons dispersés. Elle repose sur l'unité 3.

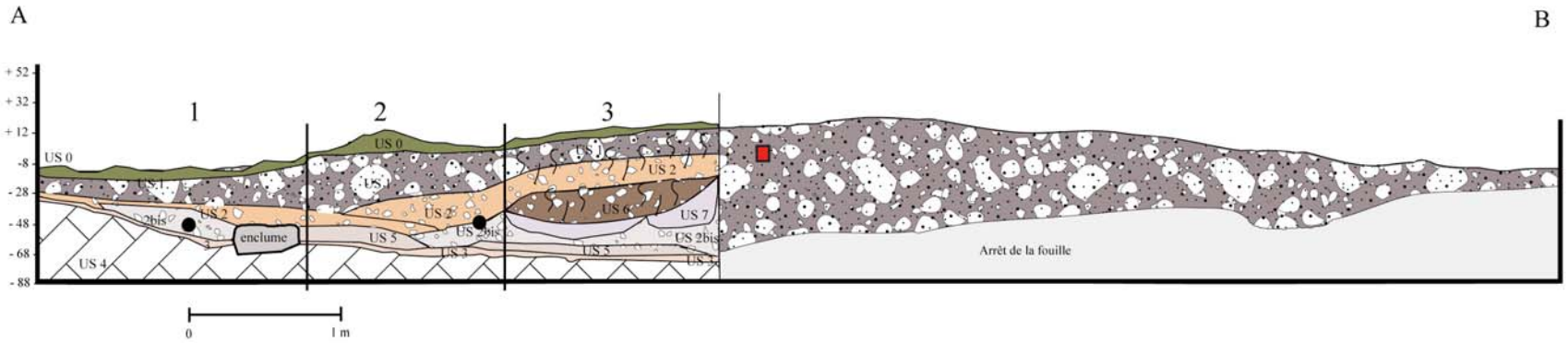
Au niveau de la portion 3, les unités 1 et 2 sont peu épaisses et envahies par des racines et radicelles. L'unité 2 repose sur une poche terreuse (US 6) avec beaucoup de racines et de cailloutis. Elle couvre des poches de cailloutis (US 7) inclus dans une matrice grise rosée de sables et de graviers. Des blocs reposent à la surface de l'unité 2bis.

Cette zone de halde présente des déblais miniers dans sa partie supérieure recoupée dans la portion 3 par une poche terreuse. Elle pourrait attester l'emplacement d'une zone de passage située à proximité d'une aire de transformation mécanique. Les unités qui reposent sur la couche de lessivage du substrat témoignent d'un traitement des déblais miniers, mais seule une analyse sédimentologique permettrait de préciser l'origine de ces couches.

Les charbons de bois découverts au contact de l'unité 3 prouvent que les abords du Grand Puits étaient à découvert pendant son exploitation. Les petits fragments charbonneux sont les témoins d'un épisode d'incendie d'origine anthropique ou naturelle. La première hypothèse nous paraît la plus probable. Les prospecteurs ont dû par endroits brûler et décaper la végétation pour retrouver l'affleurement du filon.

Dans la partie supérieure, la halde est légèrement végétalisée. Des inclusions de terres et de racines se sont infiltrées de façon hétérogène dans les déblais. La poursuite de la fouille de ce secteur pourrait permettre de mieux cerner l'articulation de cette aire de préparation mécanique qui a manifestement été recouverte par une nappe de déblais plus tardive.

PLANCHE N°49 : ABORDS DU GRAND PUITS
COUPE AB



Légende

US 0 - Humus.

US 1 - Cailloutis anguleux centi rarement déci avec en surface quelques touffe de terre végétale et d'humus, matrice fine grise avec inclusions charbons de bois.

US 2 - Cailloutis anguleux centi rarement déci plus clairs avec matrice sableuse et graviers, charbons dispersés.

US 2bis - Passe de cailloutis anguleux plus sombre, inclusions de charbons de bois plus abondantes, allure irrégulière.

US 3 - Cailloutis disparates, matrice de sables compactes ocre orangé.

US 4 - Substrat rocheux.

US 5 - Cailloutis centimétriques rares, matrice compacte ocre orangé avec inclusions de charbons de bois dispersés.

US 6 - Poche terreuse avec beaucoup de racines et radicelles et peu de cailloutis.

US 7 - Poches de cailloutis grises avec inclusions de charbons de bois.

- Scories
- Grosses racines
- Racines et radicelles abondantes

Relevé S. Burri, E. Bailly et V. Py 2007-2008
Dessin S. Burri et V. Py 2007-2008

La coupe AD

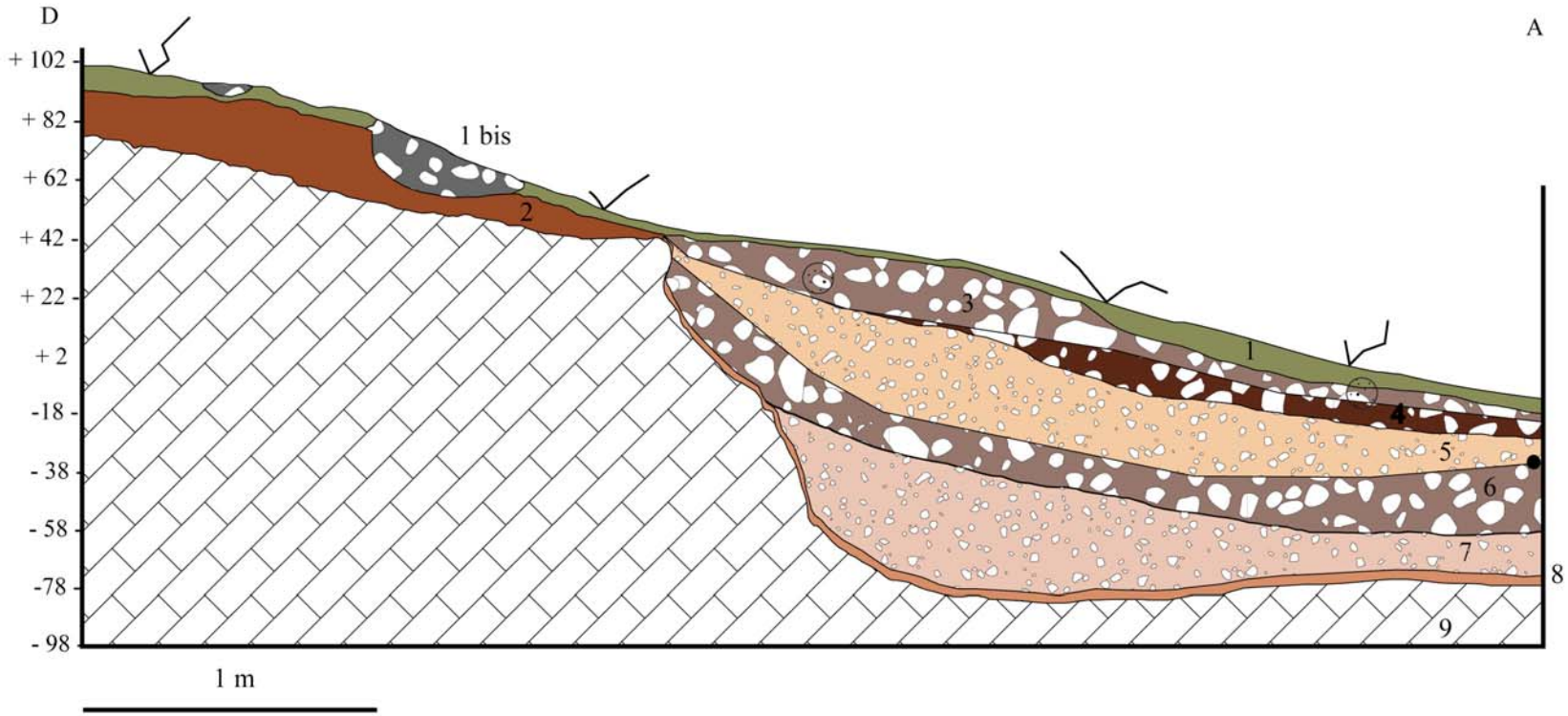
La coupe AD située dans le côté nord de la fouille présente une stratigraphie plus complexe (*cf.* pl. 50, p. 659). Il y a une dichotomie nette entre les parties ouest et est. La moitié ouest est constituée de sédiment naturel (US 1 et 2) avec des poches riches en charbons et en cailloutis anguleux (US 1bis) dont l'origine est minière. Ces dépôts lenticulaires de déblais miniers ne sont pas en place. Ils peuvent provenir du déplacement par colluvionnement de déblais provenant de l'amont ou de rejets de fouilles de la halde réalisées au moment des prospections géologiques ou par des chercheurs de trésors.

Dans la moitié est de la coupe, l'unité 1 couvre directement une couche de déblais miniers avec des cailloutis anguleux et de nombreux charbons de bois (US 3). Elle recouvre une unité plus sombre car plus riche en charbons de bois (US 4). Les charbons de bois issus de la zone superficielle de cette passe de déblais se sont concentrés dans la partie inférieure de la couche sous l'effet des lessivages. L'unité 4 couvre une épaisse couche de petits cailloutis anguleux centimétriques, avec moins de blocs et de gros cailloutis, l'unité 5. Elle est plus claire (ocre rosée) avec une matrice de sables et de graviers abondants et compacts. Les charbons sont rares, petits et dispersés. À son interface avec l'unité inférieure, on note la présence de racines d'arbres morts. Cette couche de déblais affecte la morphologie de déblais miniers ayant subi un traitement (tri, purge, concassage ?). Seule l'étude sédimentologique pourra préciser leur nature.

L'unité 5 recouvre une nouvelle couche de déblais d'abattage par le feu, l'unité 6, composée essentiellement de cailloutis anguleux centimétriques et de blocs avec des inclusions de charbons de bois très riches. Elle correspond à une phase d'abattage plus ancienne. Elle repose sur une couche claire pauvre en charbons de bois avec des cailloutis décimétriques et centimétriques orangés dans une matrice de sables et de graviers rose orangé. Cette unité repose sur une couche détritique orangée pauvre en cailloutis qui tapisse le substrat rocheux (US 8 et 9).

Cette coupe stratigraphique témoigne d'un comblement progressif d'une recherche taillée par le feu, dont l'ouverture est antérieure aux travaux du Grand Puits, par des déblais miniers issus de l'abattage de la roche par le feu et de la purge et du tri des déblais riches en minerais.

PLANCHE N°50 : ABORDS DU GRAND PUITS
COUPE AD



Légende

US 1 - Humus.
US 1 bis - Poches de déblais miniers.
US 2 - Terre marron avec cailloutis.
US 3 - Halde, déblais miniers avec une forte concentration en charbons de bois.
US 4 - Couche inférieure de la halde plus riche en charbons de bois (lessivage).
US 5 - Cailloutis anguleux centi rarement déci clair (ocre/rosé), matrice sables et graviers, charbons dispersés et racines dans la partie inf.
US 6 - Couche + sombre, charbonneuse, matrices fines compactes noires, allure irrégulière
US 7 - Cailloutis anguleux centi, matrice sables et graviers, charbons dispersés
US 8 - Cailloutis disparates, matrice de fines compactes ocre-orangée
US 9 - Substrat
● Racines
Prélèvement anthracologique.

Relevé S. Burri, E. Bailly et V. Py 2007-2008
Dessin S. Burri et V. Py 2007-2008

Interprétations

Grâce à la découverte d'une aire de préparation mécanique et de travaux de recherche, cette fouille des abords du Grand Puits autorise une première approche de l'aménagement de l'espace extérieur. Elle a fourni une partie des éléments clés pour reconstituer l'histoire des premiers temps de l'exploitation dans ce secteur. Une chronologie relative des travaux peut en effet être avancée. Le percement du Grand Puits est précédé par une première recherche infructueuse qui a été par la suite comblée par les déblais issus de l'exploitation des foncées. La relation chronologique entre le percement des foncées et l'ouverture de la fosse du puits est plus difficile à saisir. Le Grand Puits a été remblayé avec des déblais qui peuvent aussi bien provenir de l'exploitation des foncées que de celle du Grand Puits lui-même. Mais, les datations radiocarbones obtenues grâce à des charbons de bois prélevés dans les remblais du Grands Puits et l'analyse dendrochronologique des poteaux en bois apportent des lueurs, mais aussi de nouveaux problèmes.

Un des troncs porteurs du plancher du Grand Puits a fourni une séquence de 171 cernes de croissance. Il a été daté de 1013 AD-1183 AD[25]. Cette date est assortie d'un niveau de confiance maximum. Elle est importante car le bois conserve presque l'intégralité de son *aubier ce qui permet d'approcher de quelques années la date d'abattage. Compte tenu d'une érosion possible de l'aubier, provoquant la perte de quelques cernes, l'année d'abattage de l'arbre d'où provient ce poteau se situe peu après 1183, vers 1183-1190. Il est très probable que le bois a été mis en œuvre peu de temps après son abattage puisque les boisages de mine n'ont pas besoin d'être séchés au préalable.

Cette date est plus récente que les fourchettes de datations radiocarbones obtenues à partir d'échantillons de *Pinus cembra* et de *Larix-Picea* prélevés dans les remblais d'abattage par le feu du Grand Puits (coupe 4, US 4) datés respectivement de 899 à 1023 ap. J.-C. et de 1018 à 1161 ap. J.-C., âge calibré (*cf.* pl. 51, p. 663). Les pics de probabilité de la date obtenue avec les échantillons de Pin cembro sont compris entre 905 et 996 ap. J.-C. L'intervalle corrélé recoupe presque parfaitement l'intervalle corrélé de la date obtenue pour le site de Faravel II. La datation obtenue à partir des échantillons de *Larix-Picea* est plus

[25] L'étude dendrochonologique des bois est réalisée par J.-L. Édouard, chercheur à l'IMPEP (Europôle de l'Arbois). Elle doit faire l'objet d'un article de synthèse.

tardive. Les pics de probabilités sont compris entre la deuxième moitié du XIe et la première moitié du XIIe siècle. Cette fourchette demeure tout de même antérieure à la construction du plancher du Grand Puits dont la datation dendrochronologique révèle qu'elle est postérieure de plusieurs années au remblaiement.

Ces données chronologiques confirment qu'une partie des déblais extérieurs a été remobilisée pour combler le puits d'extraction. Leur datation pourrait indiquer qu'ils proviennent du percement des ouvrages de recherche et/ou du départ d'exploitation des foncées. La prospection des affleurements et la réalisation d'ouvrages de recherche à Fangeas aurait eu lieu en même temps que sur le site de Faravel II. En s'appuyant sur la datation des échantillons de Pin cembro, on peut même avancer qu'il pourrait s'agir de la même campagne de prospection qui aurait eu lieu dans le courant du Xe siècle. Or, la datation des charbons de Mélèze (*Larix-Picea*) est largement plus haute. Il faut croire qu'une partie des déblais liés à l'extraction lors du fonctionnement du Grand Puits a pu se retrouver mêlée aux anciens déblais remobilisés. Cette hypothèse pourra être validée ou invalidée avec la datation des charbons de bois trouvés au contact de la roche dans la recherche ouverte par le feu, située au sud de la fouille.

En se basant sur la datation des charbons de Pin cembro et sur la datation dendrochronologique d'un des poteaux, il y aurait presque deux siècles qui sépareraient la campagne de prospection de la réalisation des équipements sommitaux du Grand Puits, du moins du plancher. Cette fourchette paraît extrêmement large. On peut avancer plusieurs hypothèses pour expliquer cet important écart chronologique.

Une première campagne de prospection aurait eu lieu dans le courant du Xe siècle. Plusieurs campagnes d'extraction auraient alors été nécessaires pour ouvrir la fosse du Grand Puits entièrement taillée par le feu et exploiter son chantier ; ce qui nous amène dans le courant du XIe siècle. À ce moment, le puits a forcément été équipé de protections sommitales pour préserver la fosse des intempéries. L'exploitation du gisement, nécessitant un changement régulier des équipements en bois, a pu durer jusqu'à la fin du XIIe siècle. Le poteau porteur du plancher daté aurait été mis en place durant la dernière phase d'exploitation du puits. Or, les traces de carbonisation superficielle identifiées sur les poteaux porteurs du plancher indiquent qu'ils ont été soumis aux flammes des feux d'abattage. Dans ces conditions, l'approfondissement de la fosse du Grands Puits aurait été réalisé après la construction du plancher. Il est en effet difficilement probable que ces pièces de bois aient été atteintes par des flammes provenant des parties profondes. Cette remarque nous conduit à la

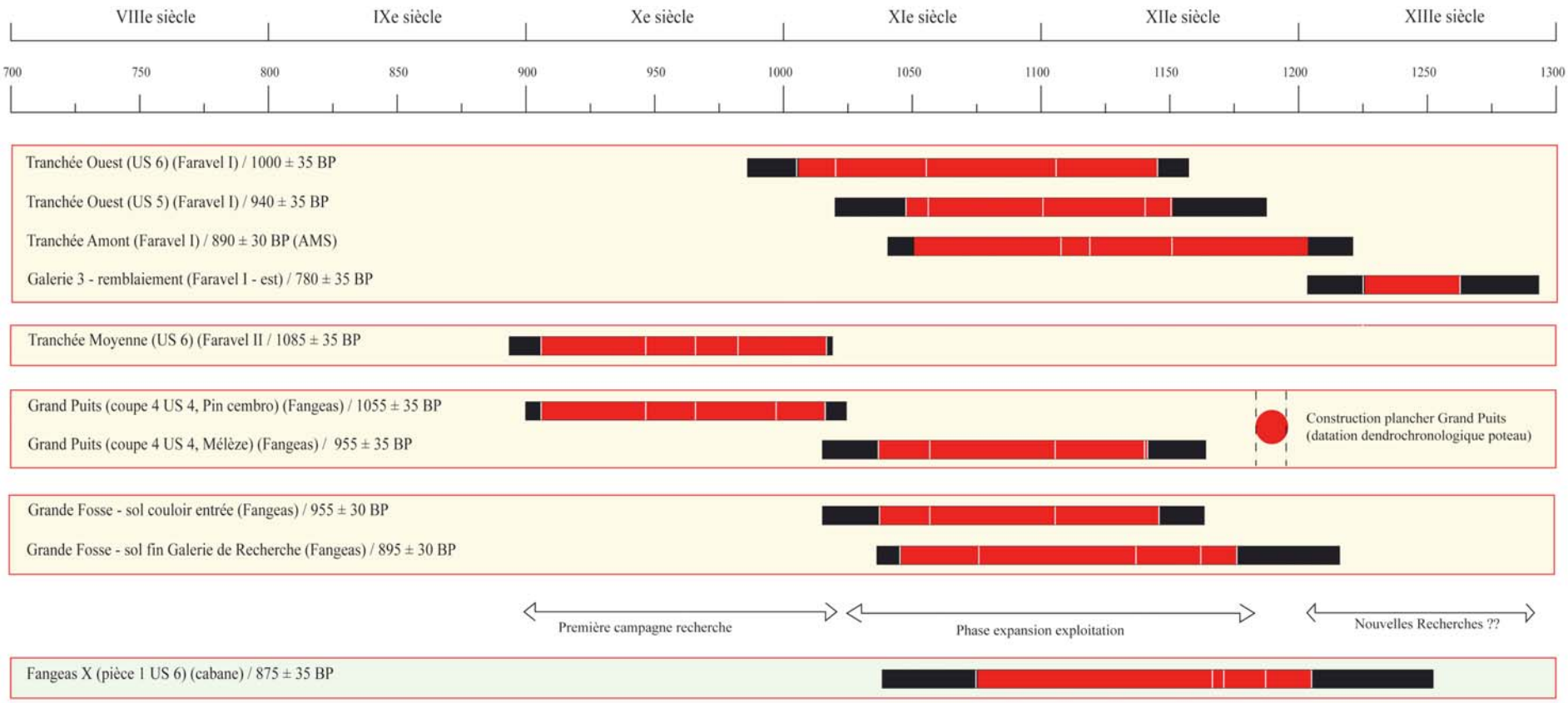
seconde hypothèse, basée sur la datation des charbons de Mélèze. Elle place la découverte du gisement et le départ d'exploitation du puits entre le milieu du XIe et la première moitié du XIIe siècle. Cette fourchette chronologique est corrélée avec les datations obtenues pour l'ouverture du couloir d'entrée de la Grande Fosse et la fin du percement de la Galerie de Recherche de la Grande Fosse (*cf.* pl. 51, p. 663). La nécessité de construire un plancher sommital se serait imposée seulement après l'approfondissement des ouvrages dans le courant du XIIe siècle. Enfin, l'écart entre la date des charbons de Mélèze et la date tardive d'un des bois de construction pourrait s'expliquer par une vacance de l'exploitation dans le courant de la seconde moitié du XIIe siècle, dans ce cas, la construction du plancher correspondrait alors à une phase de reprise.

La première phase de prospection identifiée à Faravel II et à Fangeas pourrait avoir été infructueuse et ne pas avoir conduit au développement des travaux souterrains du Grand Puits et de la Grande Fosse dont les travaux auraient franchement repris dans le courant du XIe siècle. Dans tous les cas, il est nécessaire d'obtenir une datation absolue pour l'exploitation du chantier du Grand Puits et de poursuivre la fouille afin d'évaluer précisément l'étendue des ouvrages. Comme pour le secteur de Faravel I, ce phasage chronologique et les scénarios exposés plus haut sous-entendent que l'exploitation de ces gisements n'a pas eu lieu en continu. Il est aussi certains qu'il nous manque une portion chronologique liée aux dernières phases d'approfondissement des travaux du Grand Puits et de la Grande Fosse. Un des objectifs des campagnes prochaines sera d'obtenir des éléments de datation absolue des ouvrages profonds.

PLANCHE N°51 : MISE EN PHASES DES FOURCHETTES DE DATATIONS RADIOCARBONES POUR LE SECTEUR DE FARAVEL-FANGEAS

FARAVEL I - II ET FANGEAS - ÂGES CALIBRÉS

Intervalles de confiance 95 % (noir) et intervalle (rouge) des pics de probabilité (traits blancs) dans l'intervalle de confiance



Datations radiocarbones classiques réalisées par le Centre de Datation par le Radiocarbone de Villeurbanne Université de Lyon I et datation AMS réalisée par le Poznan Radiocarbon Laboratory (Pologne)
Dessin et conception V. Py 2008

L’âge des bois d’où proviennent les charbons datés peut avoir eut une influence sur le vieillissement des datations dont il est difficile d’évaluer avec précision le nombre d’années. Ce n’est pas parce que le bois a cent ans et que le centième cerne a été daté par le radiocarbone que la fourchette de datations doit être rajeunie d’autant d’années. De plus, il n’a pas été possible d’évaluer avec précision l’emplacement des charbons de bois dans le tronc. Même si l’âge des cernes d’arbre datés a forcément une influence sur les fourchettes de datation, l’écart des datations radiocarbones et dendrochronologique s’explique forcément par la dynamique d’exploitation.

La présence d’une enclume atteste une première étape de traitement mécanique du minerai *in situ*, sur le carreau de la mine. Cette phase d’enrichissement préliminaire manuelle réduisait considérablement la masse de minerais à transporter vers les ateliers de préparation en laissant sur place la majeure partie de roche stérile (la gangue). Il est prévu dans les années à venir d’étendre l’emprise de la fouille à l’ouest, au niveau de l’enclume, pour vérifier si celle-ci prend place au sein d’un véritable carreau minier avec d’autres vestiges attestant une activité de concassage du minerai. Il serait intéressant, voire indispensable, d’entreprendre une analyse sédimentologique et plus particulièrement granulométrique de la couche dans laquelle est située l’enclume pour vérifier si l’activité de concassage a bel et bien eu lieu sur place et pour évaluer la qualité du travail.

I.3.4. Synthèse

Les ouvrages de prospection exploités à ciel ouvert sont peu remblayés. Les déblais étaient évacués vers la surface au fur et à mesure de l’avancée des travaux. Les ouvrages du site de Faravel II ont été partiellement comblés par des déblais de surface remobilisés dans les cuvettes par l’activité météorique. Les vestiges d’incendie emprisonnés dans les cuvettes d’extraction et scellés par une couche détritique témoignent peut-être d’un épisode de déboisement lié à l’activité de prospection (végétation incendiée pour améliorer la visibilité des affleurements ?). Cette hypothèse est en partie confirmée par la découverte d’un autre niveau d’incendie identifié aux abords du Grand Puits. Dans le cas de la Tranchée Amont du versant Ouest de Faravel I, les cuvettes d’extraction tapissées par les déchets de l’activité

conduite *in situ* ont été comblées par des déblais plus anciens remobilisés principalement par l'activité météorique. Protégés par des surplombs rocheux, seuls quelques rares ouvrages de faibles dimensions sont demeurés dégagés comme c'est le cas dans le secteur Est de Faravel I.

Les travaux de surface et de sub-surface plus profonds, ouverts sur des zones enrichies, ont été en partie comblés par des déblais de surface remobilisés par les mineurs. Suivant la topographie des lieux, le scellement des remplissages provient d'une forte activité de colluvionnement emportant les déblais provenant d'ouvrages en amont. Cette hypothèse est valable pour la Fosse ouest du site de Faravel I et de la galerie 3 du secteur Est. Un doute persiste pour la Grande Fosse de Faravel I dont l'étude du remplissage est très partielle. Seuls les derniers déchets de l'activité d'extraction ont été abandonnés sur place. Certains travaux demeurent inaccessibles à cause de l'effondrement de cavités sous-jacentes.

Une partie du comblement des travaux profonds réalisés dans les zones enrichies importantes paraît liée à une volonté de sceller l'exploitation. Cette hypothèse est établie grâce à l'étude complète du comblement de la Grande Fosse de Fangeas. Une partie du remplissage est constituée de remblais miniers stockés sur des planchers dont certains ont cédé provoquant leur effondrement dans les zones profondes. Les fronts de taille des travaux inférieurs sont restés dégagés. Les déblais abandonnés sur place proviennent des derniers bûchers d'abattage. Le reste du comblement est constitué d'éboulis dont une partie s'est glissée jusque dans les zones profondes à la suite de la rupture du plancher de fortune. Les bois enchevêtrés proviennent en partie du déversement volontaire de déblais et de gravats remobilisés, et en partie de la dégradation et de la rupture des boisages restés en place. Les travaux du Grand Puits, dont le remplissage est scellé par des colluvions, ont aussi été comblés volontairement par des déchets de l'activité d'extraction.

Indépendant du stockage des stériles, ce comblement volontaire des mines est problématique. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées. Il peut s'agir du résultat d'une mise en sécurité précoce destinée à démotiver les aventuriers et/ou à éviter les accidents. Les mines étaient contrôlées par la seigneurie banale qui manifestait une volonté de cadrer l'exploitation pour garantir ses revenus en revendiquant leur droit régalien. Elle avait le pouvoir d'octroyer des concessions et d'interdire leur exploitation lorsque les travaux étaient infructueux ou mal conduits. La fermeture des travaux était un moyen de garantir tous travaux ou recherches illicites dans l'attente de rassembler des capitaux et/ou de trouver des techniciens capables de relancer l'exploitation ou de retrouver le filon perdu. Les textes conservés en relation avec l'activité minière médiévale de la Haute-Durance ne mettent

malheureusement pas en évidence une telle pratique. Mais, l'hypothèse d'une mise en sécurité ou d'une réparation des terrains excavés peut être étayée par les sources réglementaires qui stipulent la remise en état des sols situés dans l'aire d'une concession minière qui peut recouper des terrains communaux, seigneuriaux ou privés. L'origine des prohibitions contre l'abus du droit de fouille sur les terrains d'autrui pour l'exploitation des substances minérales remonte à la fin de l'Antiquité. Elles sont émises par les empereurs Théodose, Arcadius et Honorius à la toute fin du IVe siècle[26] et reprises dans le Bref d'Alaric II en 506. Elles sont reproduites dans le Code Justinien promulgué au début du VIe siècle où il est stipulé que l'usufruitier peut exploiter des gisements métallifères sur une propriété si cette activité ne nuit pas aux cultures qui peuvent s'y trouver. En aucun cas l'usufruitier n'a le droit de détériorer la terre sur laquelle il travaille. Il a pour devoir de toujours les améliorer et les faire fructifier[27]. Cette réglementation se perd au haut Moyen Âge alors que le droit paraît avoir conservé l'essentiel du legs romain (Hesse 1973, p. 32). Bien que Charlemagne ait en théorie conservé la propriété des mines dans les biens du domaine et des principales exploitations, le Capitulaire *de Villis* ne donne aucune indication à ce sujet. Il prescrit seulement de rendre compte au souverain du rendement des mines de fer et de plomb[28]. Il faut attendre la promulgation des textes réglementaires des XIIIe-XIVe siècles, pour la plupart inspirés de l'ancienne législation minière germanique, pour trouver ce problème de nouveau abordé de façon concrète. Ils montrent tous que l'exploitation des mines de l'Occident médiéval est régie d'une part par le droit régalien, la plupart du temps détenu par des seigneurs locaux, et d'autre part par la liberté des mines. Cette dernière concerne le droit accordé par le souverain ou le seigneur à tout particulier de prendre part à la propriété souterraine en exploitant les substances minérales soit dans sa propriété foncière soit dans celle d'un autre, mais toujours en se conformant à des conditions capables d'assurer la conservation de la richesse minérale

[26] Code Théodosien, Livre 10, *De metallis et metallariis*, 10.19.10 et 10.19.14.

[27] *Corpus Iuris Civilis Iustinianei : cum commentariis accursi, scholiis contii, et Dionysii Gotthofredi…, Tomus primus continens digestum vetus, Lugduni*, 1612, *Digestorum Liber septimus, tit. 1, De usufructu,…* (Pandectes : L. 13, § 5-6, *De usuf. Et quemudmodum*, 7,1) : 6. *« Si tamen quae instituit usufructuarius, aut coelu corrumpat agri, aut magnum appararum sint desideratura, opificium forte, vel legulorum, quae non potest sustinere proprietarius : non videbitur viri boni arbitratu frui. Sed nec aedificium quidem positurum in fundo, nisi quod ad fructum percipiedum necessarium sit. »*.

[28] *Capitulare de Villis in* : *M. G. H., Leges,* I, (éd. G. H. Pertz), XLV et surtout LXII ; *cf.* ABIGNENTE (G.), La proprietà del sottosuolo, Studio storico giuridico, Estratto dagli *Annali di Agricoltura*, n°136, Roma, 1888, p. 131.

en même temps que celle de la richesse agricole[29]. Sans vouloir donner une conclusion hâtive sur ce sujet qui mériterait d'être approfondi, il n'est pas interdit de supposer que la montagne de Dormillouse, espace depuis fort longtemps voué à l'agropastoralisme, était régie par ce principe ancestral. Il n'est donc pas exclu que le comblement des travaux ait servi à garantir la sécurité des troupeaux, qui parcouraient ce territoire, et le bon déroulement des activités agropastorales, sources de revenus pour l'autorité locale et de vie pour les communautés montagnardes.

Parallèlement à cette question réglementaire qui n'a encore jamais été soulevée par les recherches archéologiques menées sur des sites miniers médiévaux jusqu'à présent, l'étude des remplissages des ouvrages et de la stratigraphie des épandages de déblais met en évidence l'organisation des aires de travail. La Halde Supérieure (Faravel I) et les déblais d'abattage remobilisés pour le comblement des travaux contiennent de nombreux déchets de bois de refend non carbonisés qui seraient les vestiges des travaux de préparation et de calibration du combustible pour alimenter les foyers d'abattage. Ces aires de travail étaient installées directement sur le carreau de la mine.

Le carreau de la mine était aussi le lieu d'une première opération de traitement minéralurgique attestée à Fangeas par une enclume. En effet, le minerai abattu à Fangeas était probablement riche en sulfures métallifères complexes comme les galènes argentifères qui sont les plus répandues. L'argent peut s'y trouver comme sulfure d'argent mélangé simplement et mécaniquement à la galène ou comme sulfure d'argent combiné au sulfure de plomb. Ce type de minerai contient très souvent d'autres corps comme le sulfure de cuivre. Quoi qu'il en soit, le minerai extrait se présentait dans un état physique qui nécessitait un traitement métallurgique. Le caractère fruste des vestiges ne donne pas de renseignements précis sur l'organisation de cet espace. Le minerai trié devait être transporté dans une laverie où il subissait plusieurs traitements avant d'être fondu. Actuellement, rien ne permet de dire si cette opération a été réalisée sur place, voire juste à un moment donné, ou si le minerai concassé était stocké dans un abri puis transporté dans des ateliers métallurgiques dont la localisation demeure indéterminée. On peut juste supposer que dans le courant du XIIe et au XIIIe siècles, le minerai exploité à Dormillouse, ou du moins une partie, était amené jusque

[29] Voir par exemple les *Jus Regale Montanorum*, chapitre VII, § 9, ZYCHA (A.), *Das böhmische Bergrecht…*, p. 78 ; HÉRON DE VILLEFOSSE (A. M.), *De la richesse minérale. Considérations sur les mines, usines et salines des différens états, et particulièrement du royaume de Westphalie, pris pour terme de comparaison…*, I (Division économique), Paris, 1810, p. 6.

dans les ateliers de l'archevêque situé au Veyer. Une autre partie pouvait être transportée dans la vallée voisine du Fournel où le *Probus* atteste de façon indirecte l'existence d'ateliers métallurgiques au milieu du XIIIe siècle. Les rares scories découvertes lors de la fouille des abords du Grand Puits doivent manifestement être attribuées à une fusion involontaire du minerai lors des abattages par le feu conduit sur le filon. Cette phase de la chaîne opératoire technique demeure dans l'ombre. Les sondages ouverts sur des structures d'occupation atypiques du plateau de Fangeas et à Coste de Tonis avaient pour objectifs de retrouver d'éventuels aménagements artisanaux en connexion avec l'activité minière.

Une partie des grands bois découverts dans le comblement du Grand Puits indique l'existence de structures en élévation de type cabane qui seraient aménagées directement au débouché de la fosse. L'étude dendrologique et technologique des bois permet de mieux cerner la fonction de ces bois voire la forme primitive des aménagements. L'exploitation en souterrain de la Grande Fosse bénéficie d'aménagements en bois pour la circulation verticale et pour le stockage des déblais amassés sur des planchers suspendus. L'étude de tous ces vestiges ligneux est précisément abordée dans les chapitres II et III. Enfin, l'analyse des remblais a fourni l'opportunité de réaliser une série de prélèvements anthracologiques destinés à caractériser les modes de gestion des boisements par les mineurs pour l'abattage par le feu, technique d'extraction partout attestée par la morphologie et la composition des remblais et la forme des ouvrages.

Enfin la localisation du site soulève le problème de la possibilité d'une exploitation saisonnière. L'abandon saisonnier du site pose un certain nombre de problèmes techniques touchant l'équipement, l'aménagement du site et l'exhaure. Est-ce qu'il fallait réparer d'une saison à l'autre les boisages et les structures de surface qui pouvaient avoir été endommagés par les intempéries ? L'ennoiement total de la fosse puis son séchage pouvaient également fragiliser et endommager les structures en bois. Est-ce que de tels problèmes ont pu être à l'origine des réparations du plancher détectées grâce à la fouille ? Ont-elles eu lieu pendant l'approfondissement du chantier, d'une saison à l'autre, après quelques années d'exploitation, en encore lors d'une activité de reprise après plusieurs décennies voire siècles d'abandon ? Ces phases de travail pouvant être très variables pourront peut-être être mieux cernées grâce à l'analyse dendrochronologique qui est en cours et sur laquelle nous reposons toutes nos espérances.

I.4. ANALYSE ANTHRACOLOGIQUE DES DÉPÔTS CARBONISÉS

I.4.1. L’échantillonnage

Choix des dépôts

Une série de 45 échantillons a été prélevée dans les ouvrages fouillés des secteurs de Fangeas et Faravel. L’échantillonnage a été conduit dans toutes les couches rattachées clairement à une phase de la dynamique opératoire et à une période chronologique. Pour la plupart des ouvrages fouillés, les couches de remblais peu remaniés et les dépôts en place issus des derniers feux d’abattage ont été privilégiés. Il en est de même pour les dépôts associés à une couche de circulation ou à un incendie. Les remblais, suivant leur richesse en charbons de bois ont été échantillonnés environ tous les mètres sur toute leur superficie dans les limites de l’étendue du sondage ou de la fouille. Les prélèvements localisés ont été réalisés pour les ouvrages seulement sondés où il était nécessaire d’obtenir une information anthracologique complémentaire.

Mode de prélèvement et effectif optimal des échantillons

La méthode de prélèvement des charbons de bois dans les sites miniers de Faravel et Fangeas ne diffère pas de celle qui a été établie pour le réseau du Fournel. Mais, nous avons réalisé uniquement des prélèvements de type 2, plus précis en termes de reconstitution paléoenvironnementale. Les prélèvements ont été effectués à partir des coupes stratigraphiques décrites et analysées plus haut. Au niveau de chaque coupe, 10 à 30 litres de déblais mêlés ou non à des sédiments ont été prélevés dans la ou les couches choisies. Lorsque les couches étaient peu épaisses, seulement 10 litres de déblais sont prélevés au niveau de la coupe. Dans certains cas, les dépôts ont été entièrement prélevés (foyers résiduels

d’abattage, lambeaux de couche de circulation, couche d’incendie). Toute la quantité de déblais prélevés a été systématiquement tamisée à l’eau ou à sec dans des colonnes de tamis de 6 – 4 mm. Les refus de la maille fine sont séchés et triés en laboratoire si nécessaire. Les dépôts de gros fragments (une ou quelques bûches) sont prélevés à la main et isolés des échantillons de dépôts dispersés pour éviter les pollutions (fragmentation). Les charbons de bois séchés sont traités suivant le protocole d’analyse décrit en annexe. L’analyse microscopique consiste à déterminer les essences utilisées (anatomie comparée). Elle est couplée avec l’observation des déformations anatomiques et des pourritures présentent dans les fibres ligneuses. L’interprétation des résultats est basée sur l’étude statistique des fréquences et des proportions des différents taxons dans les différents dépôts.

La quantité de fragments de bois obtenus par échantillon dépend de leur fréquence dans les différentes couches de déblais. Lorsque les charbons sont normalement abondants, un effectif minimum de 100 fragments a été jugé suffisant compte tenu des résultats obtenus pour le site du Fournel. En effet, les recherches anthracologiques conduites au Fournel ont démontré que les résidus carbonisés de l’abattage par le feu, issus d’une gestion artisanale ou industrielle de la forêt, nécessitent un effort d’analyse moins important que les dépôts domestiques (épandages de foyers par exemple). Par contre, l’augmentation de l’effort d’analyse est de rigueur pour les dépôts à charbons très dispersés issus d’une action longue et répétée. Un effectif minimum de 200 fragments s’est avéré nécessaire. Les effectifs les plus importants ont été obtenus pour les ouvrages entièrement fouillés qui ont fourni des dépôts issus de la longue durée.

I.4.2. Étude des proportions des taxons, de leur distribution spatiale et de leur représentativité paléoécologique

Les sites d'extractions du district minier de Dormillouse étant situés à différentes altitudes, les résultats des analyses anthracologiques : étude de la distribution spatiale des dépôts grâce à l'approche stratigraphique et des proportions des taxons dans les différents échantillons, sont présentés depuis l'altitude la plus élevée jusqu'à l'altitude la plus basse. En effet, l'altitude joue un rôle important dans l'étagement de la végétation, la composition des boisements et leur densité. Au même titre que la pression anthropique, ce facteur doit être pris en compte pour la reconstitution de l'évolution des boisements et du territoire d'approvisionnement en bois de feu des mineurs. L'analyse des proportions des taxons est basée sur l'évolution de leur rapport de proportion au sein d'une stratigraphie et sur le calcul de l'indice de concentration de Pareto pour les dépôts dont le nombre de taxons est au moins supérieur à deux.

Le pourcentage de charbons indéterminables est généralement très faible. Les fréquences absolues (FA) de ces charbons ne sont pas comptabilisées dans le total de charbons déterminés qui sert au calcul des fréquences relatives (FR). Par contre, les fréquences absolues du taxon « Gymnosperme indéterminable » sont comptabilisées pour le calcul du total au même titre que pour les autres taxons.

Faravel I – versant est – 2100 m d'altitude

Les dépôts des Attaques Supérieures

Les Attaques Supérieures ont fait l'objet de deux sondages destinés à réaliser des prélèvements anthracologiques. Le premier a été ouvert au niveau des grattages opérés sur la terminaison du filon (Orifice Supérieur). La cuvette était comblée par des colluvions et des déblais d'abattage riches en charbons de bois. La totalité des déblais dégagés a été tamisée à sec *in situ.* Le second sondage a été ouvert au début de la tranchée masquée par un effondrement du toit (point 2). Le remplissage était constitué de déblais d'abattage par le feu coiffés par des colluvions (*cf.* pl. 4, p. 565). La totalité des déblais dégagés a également été entièrement tamisée *in situ.* Il n'a en effet pas été jugé nécessaire d'opérer à un échantillonnage car la quantité de déblais amassés dans ces petits ouvrages était peu importante.

Les échantillons prélevés au niveau de l'Orifice Supérieur ont fourni un total de 200 fragments de charbons de bois (*cf.* tabl. n°1, p. 680). Trois taxons ont pu être déterminés : *Larix-Picea, Pinus cembra* et *Pinus*. Le premier est secondaire. Il totalise 29,1 % des fréquences relatives. Le second est dominant. Il totalise 58,2 % des fréquences relatives. Le troisième constitue moins d'un dixième du combustible utilisé (9,7 %). L'indice de concentration de Pareto est très faible (35/65) (*cf.* fig. n° 3 p. 673). Il indique que les proportions des taxons ne sont pas stabilisées. Le mode de dépôt est probablement à l'origine de cette déformation. Les attaques réalisées sur la terminaison du filon sont très localisées et peu profondes. Le nombre des feux d'abattage qui ont été conduits par les mineurs a très certainement été peu élevé (une dizaine de feux tout au plus) induisant une vision fortement biaisée des proportions des taxons dans les boisements exploités.

L'augmentation de l'effort d'analyse est dans ces conditions inutile. Le faible affinement des proportions des taxons nécessiterait la détermination de plusieurs centaines de charbons de bois pour un résultat peu différent en termes d'interprétation paléocologique.

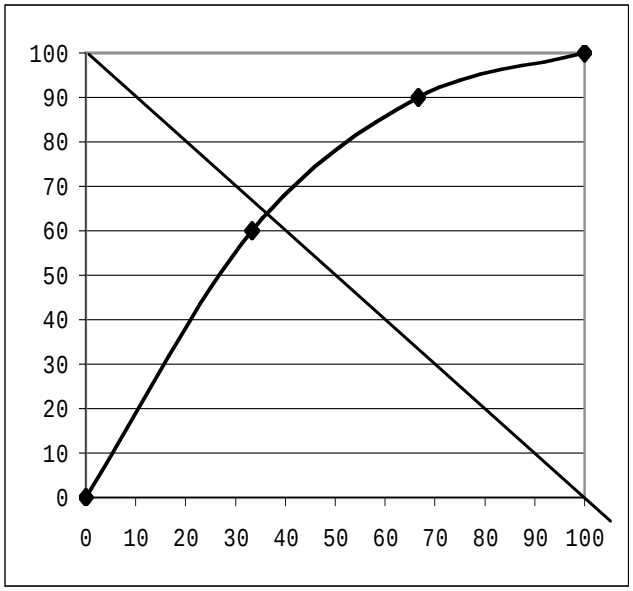


Fig. n°3 : Courbe de concentration de Pareto (ou Gini-Lorenz) dessinée pour le prélèvement de l'Orifice Supérieur (Faravel I, versant est).
L'indice de concentration est très faible (35/65).

Les échantillons prélevés dans les déblais qui comblaient le début de la tranchée (point 2) ont fourni un total 425 charbons de bois (*cf.* tabl. n°1, p. 680). Quatre taxons ont pu être identifiés : *Larix-Picea*, *Pinus* type *P. sylvestris*, *Pinus* et *Pinus cembra*. *Larix-Picea* est secondaire. Il totalise 16,7 % des fréquences relatives. *Pinus* type *P. sylvestris* totalise un pourcentage légèrement inférieur avec 14,4 % des fréquences relatives. *Pinus cembra* est nettement dominant avec 66,5 % des fréquences et *Pinus* est anecdotique en totalisant seulement 1,4 % du combustible utilisé. Il est d'ailleurs à rattacher au taxon *Pinus* type *P. sylvestris* et/ou au taxon *Pinus cembra.* Il ne peut en effet sûrement pas s'agir d'une troisième espèce à rattacher au genre *Pinus.* Mais, la difficulté d'identification au rang de l'espèce de certains taxons de ce genre oblige à conserver une catégorie *Pinus* pour ne pas rattacher abusivement un charbon à l'espèce *Pinus cembra* plutôt qu'au groupe des pins de type *P. sylvestris* (*cf.* annexe). L'indice de concentration obtenu pour ce prélèvement se rapproche de l'indice idéal, mais demeure faible (28/72) (*cf.* fig. n° 4, p. 674). Comme pour le prélèvement précédent, les proportions des taxons ne sont pas stabilisées et offrent une vision légèrement biaisée des proportions des taxons dans la végétation ligneuse exploitée. L'affinement de l'indice est en partie à attribuer à l'augmentation de l'effort d'analyse, mais qui est directement lié au mode de dépôt. La quantité de déblais dégagés et tamisés est plus importante et synthétise probablement un nombre plus élevé de feux. La dominance de *Pinus cembra* dans les boisements exploités est affirmée. Il s'avère sous-représenté dans le spectre de l'Orifice Supérieur. Les différences de distributions spatiales de ces taxons au niveau de l'Orifice Supérieur et du point 2 sont significatives, mais elles ne sont pas aberrantes. Les indices de concentration démontrent que les dépôts du point 2 offrent un meilleur degré de

représentativité en termes de paléoécologie. Il est évident que *Larix-Picea* est surreprésenté dans les dépôts de l'Orifice Supérieur. Ces dépôts provenant de la même phase de recherche et d'exploitation n'en demeurent pas moins complémentaires. Les variations de proportions des taxons entre ces deux dépôts sont à attribuer à des pratiques sur la courte durée (renouvellement du stock) qui ne reflètent pas de véritables changements paléoécologiques sur la longue durée. Il a donc été jugé pertinent de cumuler les fréquences absolues des taxons de ces deux dépôts pour la construction du diagramme de synthèse.

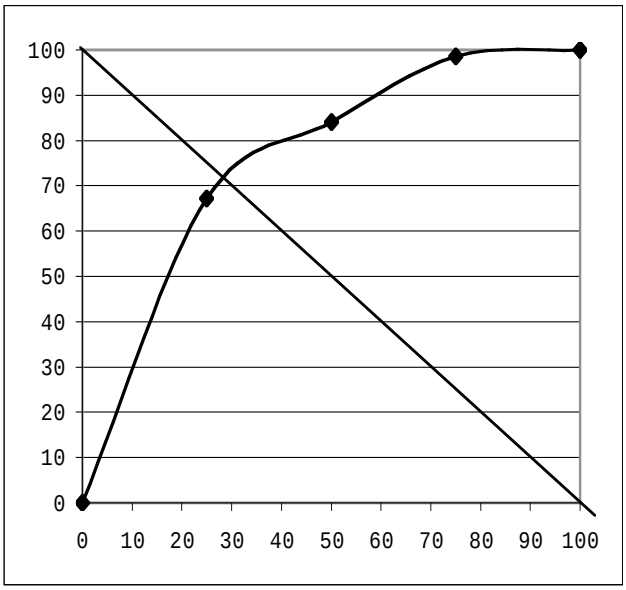


Fig. n° 4 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée par le prélèvement de la tranchée des Attaques Supérieures (Faravel I – versant Est). L'indice de concentration est affiné par rapport à celui de l'Orifice Supérieur (28/72).

Les dépôts de la Galerie 3

Les échantillons prélevés dans la Galerie 3 ont fourni un total de 600 charbons de bois (*cf.* tabl. n°1, p. 680). L'échantillonnage a été conduit à partir des deux coupes stratigraphiques dressées à 1 m d'intervalle. Le remplissage relevé au niveau de la coupe 1 a fait l'objet de trois prélèvements réalisés dans chacune des unités identifiées, à l'exception de la couche superficielle. L'unité 2 qui est dominée par des déblais miniers avec des inclusions de terre végétale brune diffuses a fourni un total de 300 charbons de bois (*cf.* tabl. n°1, p. 680). Une branche carbonisée issue de cette couche a été datée par le radiocarbone. Elle situe le moment de production de ces déblais issus de l'exploitation des ouvrages amont durant la seconde moitié du XIIIe siècle. Quatre taxons ont été identifiés : *Pinus cembra*, *Pinus* type *P.*

sylvestris, *Pinus* et *Larix-Picea. Pinus cembra* est dominant avec 50,8 % des fréquences relatives. *Larix-Picea* et secondaire avec 39,8 % des fréquences relatives. Le genre *Pinus* pouvant se rattacher au Pin cembro et/ou aux Pins de type P. sylvestre totalise 7 % des fréquences tandis que *Pinus* type *P. sylvestris* est anecdotique avec seulement 0,3 % des fréquences relatives (*cf.* tabl. n°1, p. 680). L'indice de concentration de Pareto (32/68) indique que les proportions des taxons ne sont pas stabilisées comme pour les dépôts échantillonnés au niveau des Attaques Supérieures (*cf.* fig. n°, 5, p. 675). Il est probable que *Pinus cembra* soit sous-représenté au profit de *Larix-Picea.*

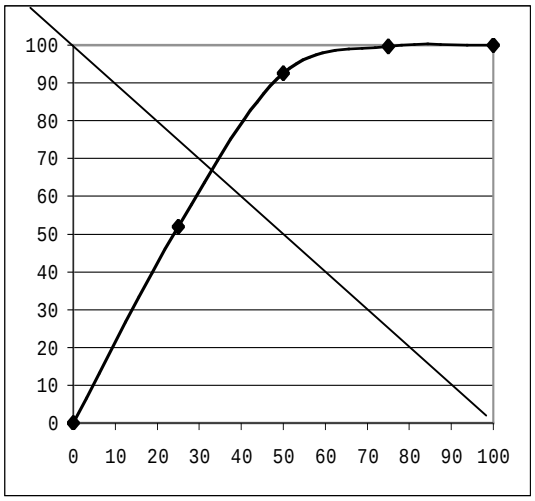


Fig. n° 5 : Courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour l'US 2 de la coupe 1 de la Galerie 3 (Faravel I – versant Est).
L'indice de concentration est faible (32/68).

L'unité 3 de la coupe 1 a fourni un total de 300 charbons de bois (*cf.* tabl. n°1, p. 680). Trois taxons ont été identifiés : *Pinus cembra*, *Pinus* et *Larix-Picea*. Leurs proportions sont presque identiques aux proportions des mêmes taxons identifiés dans la couche précédente. *Pinus cembra* est dominant avec 52 % des fréquences, *Larix-Picea* est secondaire avec 40,8 % des fréquences et *Pinus* totalise 6,1 % des fréquences. L'étude stratigraphique couplée avec les analyses anthracologiques rattache ces deux couches au même fait archéologique. Elles proviennent de la même vague de déblais issus des ouvrages amont qui a scellé le comblement de la galerie. Les fréquences absolues des taxons identifiés dans ces deux couches sont additionnées dans le diagramme anthracologique de synthèse (*cf.* tabl. n°2, p. 680).

L'unité 4 de la coupe 1, qui correspond à la première phase de remblaiement de la galerie et qui est composée de déblais d'abattage par le feu peu remaniés, a fourni un total de 50 fragments de charbons de bois. Le nombre peu élevé d'échantillons prélevés n'est pas lié à

la fréquence des charbons de bois dans le dépôt, mais à la quantité de déblais prélevés et tamisés. L'eau imprégnée dans cette couche a considérablement nui à l'efficacité du tamisage, réalisé à sec pour des questions pratiques (absence de point d'eau à proximité). Les charbons de bois étaient fragiles et leur refragmentation inévitable. Dans ces conditions, nous avons choisi de prélever un seul seau de 10 l contre deux à trois seaux en moyenne dans les autres couches.

Seulement deux taxons ont été identifiés : *Pinus cembra* et *Larix-Picea*. Le premier totalise 32 % des fréquences relatives. Pour la première fois, cette espèce constitue moins de la moitié du combustible utilisé. *Larix-Picea* est dominant avec 68 % des fréquences. Cette variation des proportions des taxons dominants par rapport aux autres dépôts échantillonnés dans les ouvrages du versant est doit être attribuée au mode de dépôt et/ou à l'échantillonnage plutôt qu'à un changement des modes d'approvisionnement en bois de feu des mineurs. Cette hypothèse est confirmée par le spectre de l'unité 3 identifiée au niveau de la coupe 2. Cette couche provient de la même phase de remblaiement de la galerie que l'unité 4 identifiée au niveau de la coupe 1. Elle a fourni un total de 150 charbons de bois. Trois taxons ont été identifiés : *Pinus cembra*, *Pinus* et *Larix-Picea*. Le premier est à nouveau dominant avec 58,8 % des fréquences relatives. *Larix-Picea* comptabilise 39,2 % des fréquences et *Pinus*, 2 %. L'indice de concentration de Pareto est faible. Il est proche de l'indice obtenu pour les dépôts de l'Orifice Supérieure (36/64) (*cf.* fig. n°6, p. 677). Il indique que les proportions des taxons ne sont pas stabilisées. Pour ce cas, la valeur faible de l'indice n'est pas liée au mode d'échantillonnage et de prélèvement, mais au mode de dépôt. Les remblais correspondant à la première phase de comblement de la galerie sont issus d'une action courte conduisant à une vision légèrement biaisée des proportions des taxons dominant et secondaire dans les boisements exploités. Les données anthracologiques révèlent que cette portion du remplissage est constituée des déblais d'abattage des derniers feux conduits par les mineurs aux abords de la galerie et très certainement juste en amont. Il n'est pas totalement exclu que ces remblais proviennent de l'abattage du plafond de la Galerie elle-même. La grosseur des charbons de bois (centimétriques) va dans ce sens. Elle confirme le caractère peu remanié de ces déblais.

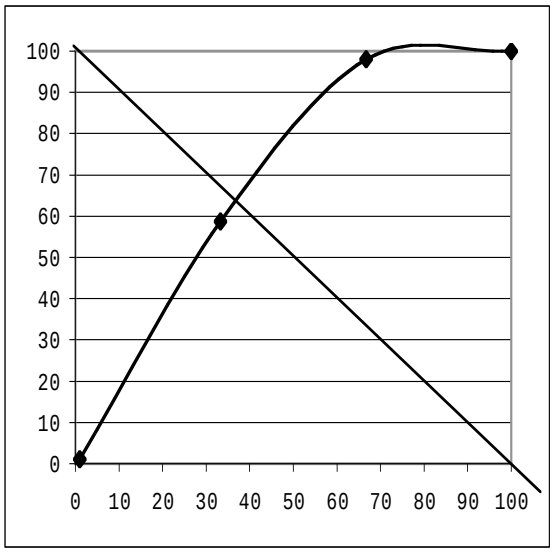
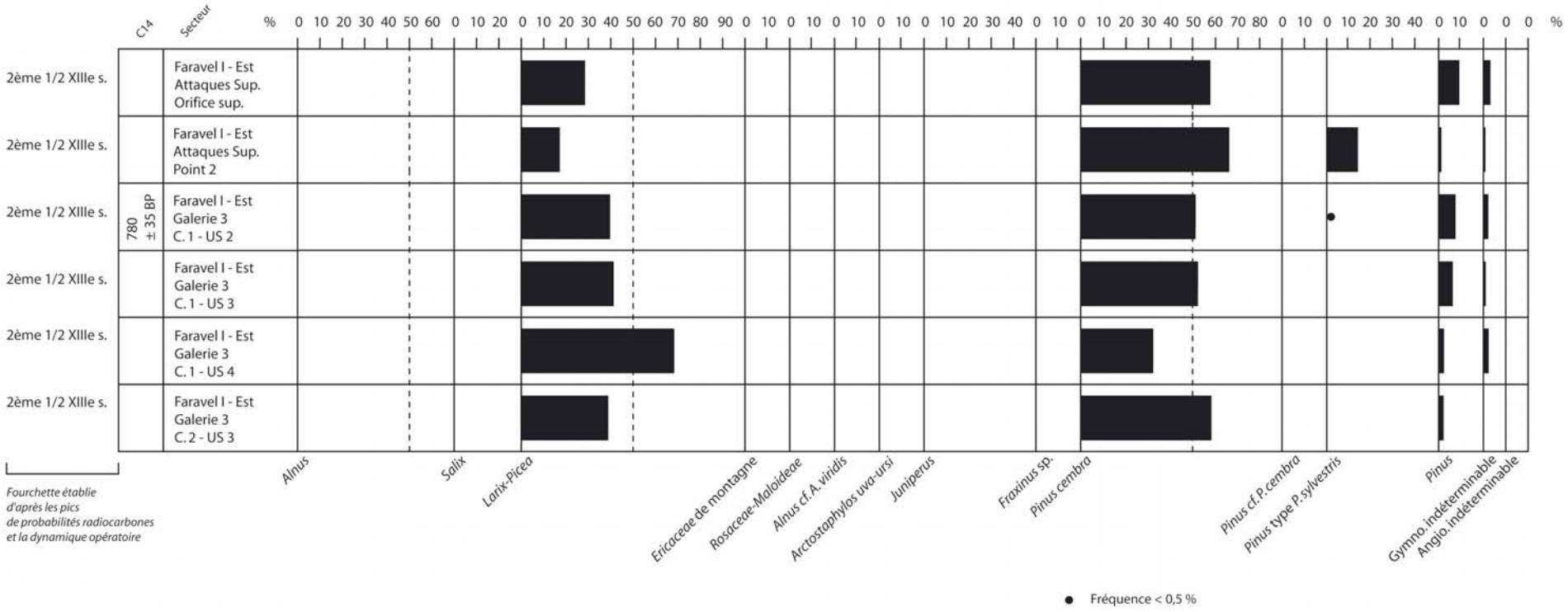


Fig. n° 6 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour l'US 3 de la coupe 2 de la Galerie 3 (Faravel I – versant Est).
L'indice de concentration est faible (36/64).

La distribution spatiale des fréquences relatives des différents taxons est très homogène dans les unités 2 et 3 de la coupe 1 (*cf.* pl. 52, p. 678). Corroborées par l'analyse stratigraphique, les données anthracologiques suggèrent que ces remblais proviennent de déblais d'abattage produits au même moment. Les fréquences absolues des taxons identifiés seront cumulées pour la construction du diagramme de synthèse. Par contre, les fréquences relatives des mêmes taxons reconnus dans l'unité 4 de la même coupe révèlent que cette couche est différente et provient d'une action courte : quelques feux tout au plus. Dans ce cas, la surreprésentation de *Larix-Picea* ne doit pas être interprétée en termes de changement de pratiques ou de territoire d'exploitation en bois de feu. Par contre, comme ce dépôt est en correspondance stratigraphique avec l'unité 3 de la coupe 2, les fréquences absolues des taxons identifiés sont additionnées pour la construction du diagramme anthracologique de synthèse (*cf.* tabl. n°2, p. 680).

PLANCHE N°52 : SPECTRES ANTHRACOLOGIQUES DES ÉCHANTILLONS PRÉLEVÉS DANS LES OUVRAGES DU VERSANT EST DE FARAVEL I



V. Py 2008

L’étude de la distribution des taxons dans les dépôts des ouvrages du versant est et de leurs proportions met en évidence leur niveau de synthèse moyen. Elle indique clairement que ces dépôts proviennent d’actions plus ou moins courtes. Les déblais qui constituent la première phase de remblaiement de la galerie sont les résultats des derniers feux d’abattage pratiqués juste en amont de la galerie, voire dans la galerie même, par les mineurs. Leur niveau de représentativité paléoenvironnementale est peu élevé, mais par contre ces dépôts offrent des renseignements précis sur la composition du combustible utilisé par les mineurs sur une très courte durée permettant de mettre en évidence des variations de composition des bûchers d’une série de feux à l’autre (voire d’un feu à l’autre ?). Les mineurs ne calculaient pas précisément les proportions de *Larix-Picea* ou de pins à utiliser pour leurs bûchers. Ces variations normales liées à la disponibilité immédiate des bois stockés s’estompent dans les dépôts synthétisant une plus longue durée et des feux répétés. Ces remarques mettent parfaitement en évidence les différents niveaux de représentativité obtenus suivant différents types de dépôts. Toutes ces données sont donc à considérer avec attention lors de l’interprétation des résultats en termes de gestion forestière et d’évolution des boisements disponibles. Les dépôts prélevés au niveau de la Tranchée Supérieure (point 2) sont les plus proches du rapport idéal 20/80. Les proportions des taxons identifiés suggèrent la dominance du Pin cembro impliquant sa relative abondance dans les boisements disponibles et/ou exploités pendant la première moitié du XIIIe siècle (*cf.* pl. 51, p. 653). Cette nuance implique que les boisements exploités soient évidemment choisis en relation avec leur disponibilité (facteur environnement), mais le choix peut aussi être orienté en fonction d’un mode de gestion particulier lié à des facteurs économiques et politiques.

FARAVEL I Versant est	**Attaques sup. Tranchée**			**Attaques sup. Tranchée - Pt 2**			**Galerie 3. - C. 1 - US 2**			**Galerie 3. - C. 1 - US 3**			**Galerie 3. - C. 1 - US 4**			**Galerie 3. - C. 2 - US 3**			Total
Datation	**2ème 1/2 XIIIe s.**			**2ème 1/2 XIIIe s.**			**780 ± 35 BP**			**2ème 1/2 XIIIe s.**			**2ème 1/2 XIIIe s.**			**2ème 1/2 XIIIe s.**			
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra	2	114	58,2	1	282	66,5	1	152	50,8	2	51	52	1	16	32	1	87	58,8	
Pinus type *P. sylvestris*		0	0	2	61	14,4	4	1	0,3		0	0		0	0		0	0	
Pinus	1	19	9,7	4	6	1,4	2	21	7	3	6	6,1		0	0	3	3	2	
Larix-Picea	3	57	29,1	3	71	16,7	3	119	39,8	1	40	40,8	2	34	68	2	58	39,2	
Gymno. indéter.		6	3,1		4	0,9		6	2		1	1		0	0		0	0	
Total		**196**	100		**424**	100		**299**	100		**98**	100		**50**	100		**148**	100	
Indéterminables		4	2		1	0,2		1	0,3		2	2		0	0		2	1,4	
Total charbons analysés		200			425			300			100			50			150		1225

Tabl. n°1 : Tableau de comptage des taxons déterminés dans les différents dépôts échantillonnés dans les ouvrages du secteur Est de Faravel I. FA = fréquences absolues, FR = fréquences relatives (%), Rang = n° d'apparition des taxons lors de l'analyse. Par exemple, pour la tranchée des Attaques sup., le taxon Pinus cembra est le deuxième taxon apparu lors de l'analyse, Pinus est le premier taxon apparu lors de l'analyse etc.

FARAVEL I Versant est	**Attaques sup.**			**Gal. 3 déblais remobilisés**			**Gal. 3 déblais in situ**			Total
Datation	**2ème 1/2 XIIIe s.**			**780 ± 35 BP**			**2ème 1/2 XIIIe s.**			
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra		396	63,9		203	51,1		103	52	
Pinus type *P. sylvestris*		61	9,8		1	0,3		0	0	
Pinus		25	4		27	6,8		3	1,52	
Larix-Picea		128	20,6		159	40,1		92	46,5	
Gymno. indéter.		10	1,6		7	1,8		0	0	
Total		**620**	100		**397**	100		**198**	100	
Indéterminables		5	1		3	0,8		2	1	
Total charbons analysés		625			400			200		1225

Tabl. n°2 : Tableau de comptage destiné à la construction du diagramme anthracologique de synthèse.

Faravel I – versant ouest – 2100 m d'altitude

Les dépôts de la Halde Supérieure

Les unités 3 et 4 caractérisées dans le sondage de la Halde Supérieure ont été échantillonnées (*cf.* pl. 25, p. 602). L'unité 3 correspond au corps de la halde issu principalement des déblais d'abattage de la Grande Fosse. L'unité 4 semble constituer un niveau d'accumulation des produits lessivés issus de la couche supérieure. Les prélèvements effectués dans l'unité 3 ont fourni un total de 175 charbons de bois (*cf.* tabl. n°3, p. 687). Quatre taxons ont été identifiés : *Larix-Picea*, *Pinus cembra*, *Pinus* type *P. sylvestris* et *Pinus.* Le premier est dominant et totalise 71,3 % des fréquences relatives. Le second est secondaire avec 23,4 % des fréquences relatives. *Pinus* type *P. sylvestris* et *Pinus* sont anecdotiques avec chacun 1,2 % des fréquences relatives. L'indice de concentration de Pareto est inférieur à l'indice idéal 20/80 (25/75) (*cf.* fig. n°7, p. 681). Le spectre des fréquences relatives des taxons est un peu déformé par rapport à leurs proportions dans les boisements exploités lors de l'activité de la Grande Fosse.

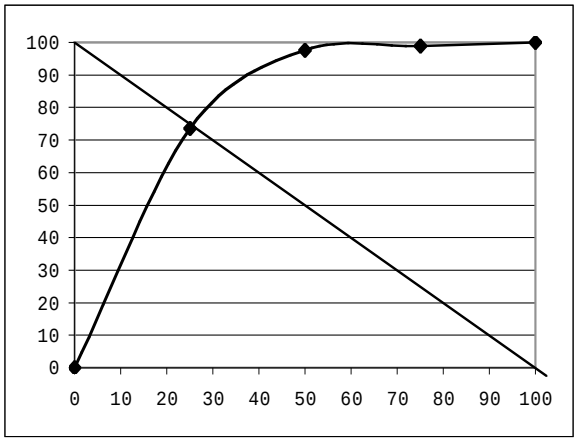


Fig. n° 7 : Courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour la couche 3 de la Halde Supérieure. L'indice de concentration égal à 25/75 est faible.

L'échantillonnage de l'unité 4, plus riche en charbons de bois, a fourni un total de 300 fragments (tabl. n°3, p. 687 et pl. 53, p. 683). Trois taxons ont pu être déterminés : *Larix-Picea*, *Pinus cembra* et *Pinus.* Leurs proportions sont légèrement différentes des proportions obtenues pour les mêmes taxons dans la couche 3. *Larix-Picea* est dominant avec 79,6 % des

fréquences relatives, *Pinus cembra* est secondaire avec 18,1 % et *Pinus* est anecdotique avec 0,7 % des fréquences. L'indice de concentration de Pareto (28/72) est légèrement supérieur à l'indice de la couche 3 (25/75) (*cf.* fig. n°8, p. 682). Les proportions des taxons dominant et secondaire ne sont pas stabilisées, mais se rapprochent fortement du rapport idéal 20/80. Dans les deux cas, le mode de dépôt est à l'origine de la valeur correcte de l'indice. Contrairement aux dépôts échantillonnés dans la galerie 3, ces dépôts sont le résultat d'une action longue et répétée offrant une assez bonne image de synthèse des boisements sollicités pour l'exploitation de la Grande Fosse, probablement durant la seconde moitié du XIe et la première moitié du XIIe siècle. La ressemblance des spectres des couches 3 et 4 confirme l'interprétation stratigraphique : la couche 4 est le résultat d'une accumulation de produits fins et des charbons de bois issus de l'accumulation de déblais d'abattage par le feu. Les variations des proportions des taxons entre ces deux dépôts sont liées au processus de transformation taphonomique de la halde. La variabilité de l'indice de concentration entre les dépôts échantillonnés dans les deux couches est directement liée au même phénomène. L'unité 4 offre un effet de synthèse plus prononcé en relation avec l'accumulation des charbons de bois provenant de l'horizon supérieur. Ces dépôts provenant de la même phase d'exploitation, les fréquences absolues des différents taxons sont cumulées pour la construction du diagramme de synthèse (*cf.* tabl. n°4, p. 687).

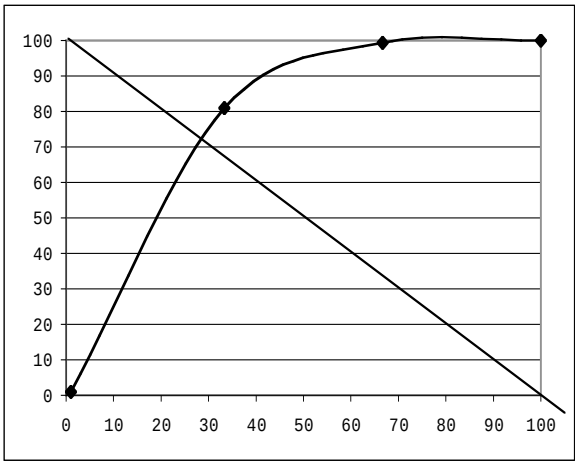
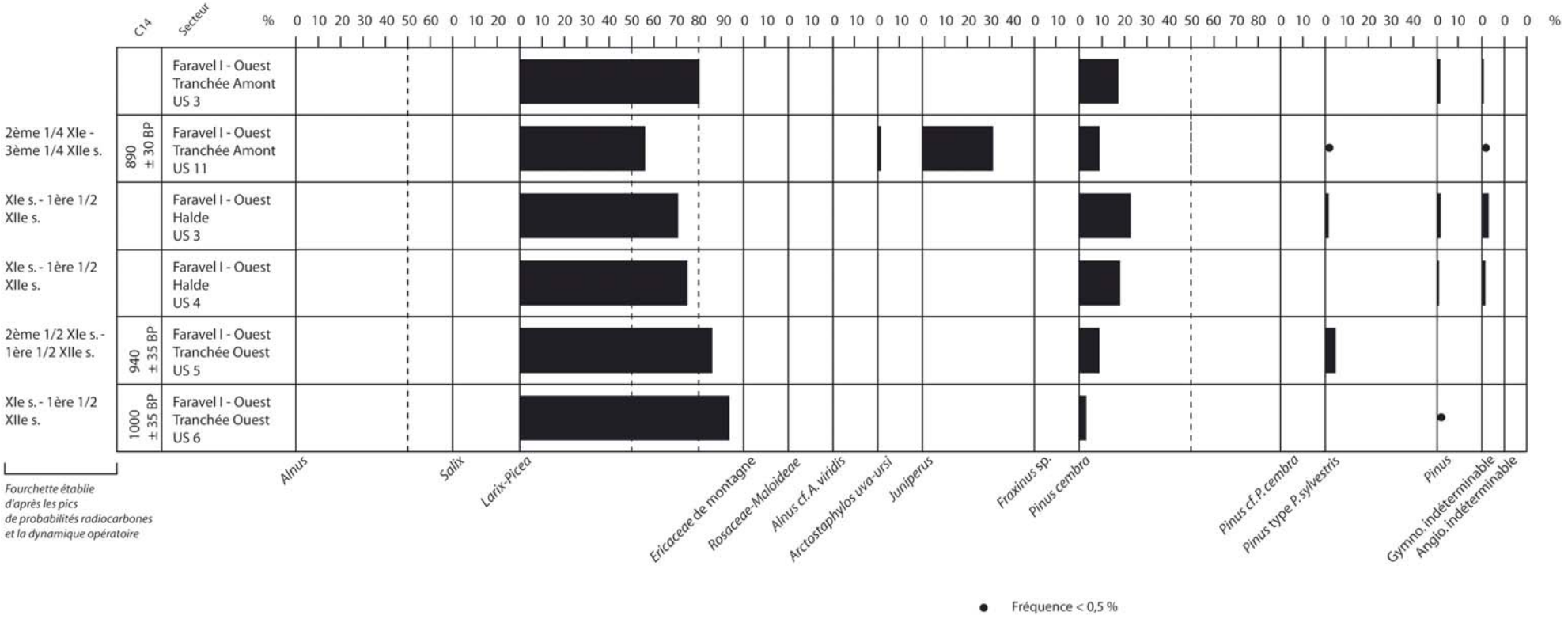


Fig. n° 8 : Courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour la couche 4 de la Halde Supérieure. L'indice de concentration égal à 28/72.

PLANCHE N°53 : SPECTRES ANTHRACOLOGIQUES DES ÉCHANTILLONS PRÉLEVÉS DANS LES OUVRAGES DU VERSANT OUEST DE FARAVEL I



V. Py 2008

Les dépôts de la Fosse ouest

L'échantillonnage anthracologique a été conduit dans le corps du remplissage de la Fosse ouest, composé principalement de déblais miniers remobilisés et de remblais probablement issus des derniers feux conduits dans la fosse. Un total de 100 fragments a été échantillonné dans l'unité 5 qui correspond à la deuxième phase de remblaiement réalisée quelques années après la fin de l'extraction (*cf.* tabl. n°3, p. 687 et pl. 53, p. 683). Trois taxons ont été déterminés : *Larix-Picea, Pinus cembra* et *Pinus* type *P. sylvestris.* Le premier taxon est largement dominant avec 86 % des fréquences. Le deuxième est secondaire avec 9 % des fréquences, et le troisième totalise 5 % des fréquences, ce qui représente un vingtième du combustible utilisé. L'indice de concentration de Pareto est de 25/75 comme pour les dépôts du corps de la Halde Supérieure.

L'échantillonnage conduit dans l'unité 6, plus riche en dépôts carbonisés, a fourni 400 charbons de bois. Quatre taxons ont été identifiés : *Larix-Picea, Pinus cembra, Pinus* et *Juniperus.* Le premier taxon est très largement dominant avec 94,5 % des fréquences. Le second totalise 2,5 % tandis que les deux derniers sont anecdotiques avec chacun 0,5 % des fréquences. L'indice de concentration de Pareto est extrêmement proche de l'indice idéal 20/80 ce qui signifie que les proportions des taxons sont elles aussi proches de leur rapport de proportions idéal dans la végétation exploitée (*cf.* fig. n°9, p. 684). Cette donnée est relativement surprenante sachant que l'unité 6 ne contient *a priori* que les derniers feux d'abattage conduits dans la fosse. Il pourrait s'agir de l'exception qui confirme la règle.

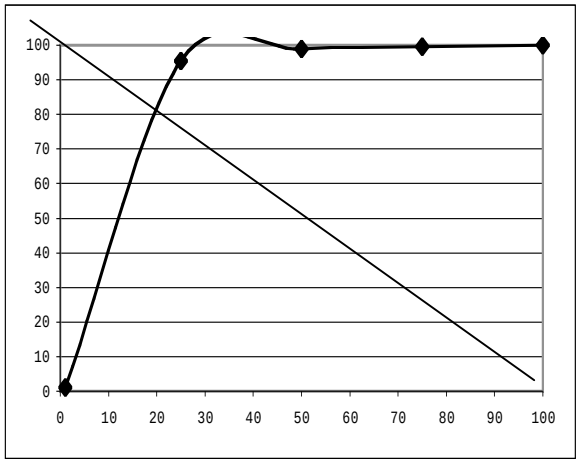


Fig. n° 9 : courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour la couche 6 de la Fosse ouest. L'indice de concentration est extrêmement proche du rapport idéal 20/80.

Il est possible que cette couche de déblais, malgré leur production sur une durée courte, offre d'un point de vue anthracologique un rapport idéal, obtenu par le fruit du hasard, des proportions des différents taxons disponibles dans le territoire d'approvisionnement des mineurs. La grandeur de l'effort d'analyse a pu participer à l'affinement de l'indice, mais il a déjà été démontré pour les dépôts du Fournel qu'il n'est pas le seul à y contribuer. Les variations des proportions des taxons entre les deux couches sont liées au mode de remblaiement réalisé en plusieurs étapes, mais sur une relativement durée courte. Les deux dépôts étant pourtant séparés chronologiquement par la datation radiocarbone, il a été jugé bon de ne point les rassembler pour la construction du diagramme de synthèse (tabl. n°4, p. 687).

Les dépôts de la Tranchée Amont

L'échantillonnage des dépôts de la Tranchée Amont a été réalisé dans deux unités stratigraphiques choisies pour leur intérêt stratigraphique. Une première série d'échantillons a été prélevée dans le niveau d'accumulation de produits fins provenant des déblais superficiels lessivés (US 3) issus de l'exploitation des ouvrages amont. Ils correspondent à la dernière phase de comblement de la tranchée. Une seconde série d'échantillons a été prélevée dans la couche charbonneuse qui tapissait le sol rocheux et qui est clairement issue des derniers feux d'abattage réalisés dans la Tranchée (US 11).

L'échantillonnage réalisé dans l'unité 3 a fourni un total de 225 charbons de bois (*cf.* tabl. n°3, p. 687 et pl. 53, p. 683). Trois taxons ont été identifiés : *Larix-Picea*, *Pinus cembra* et *Pinus*. Le premier est largement dominant avec 80,4 % des fréquences. Le second totalise 17,3 % des fréquences et le troisième 1,3 %. L'échantillonnage réalisé dans l'unité 11 a fourni un total de 200 charbons de bois (*cf.* tabl. n°3, p. 687). Cinq taxons ont été identifiés : *Larix-Picea*, *Pinus cembra*, *Pinus* type *P. sylvestris*, *Juniperus* et *Arctostaphylos uva-ursi*. Les proportions des taxons sont très différentes des proportions obtenues pour les mêmes taxons dans l'unité superficielle. Ces variations sont à attribuer à l'origine différentielle des dépôts. Il est très probable que les dépôts de l'unité 3 proviennent du colluvionnement de déblais plus anciens dont le spectre anthracologique est très proche de celui de la halde. Les dépôts de l'unité 11 sont donc plus récents. Ils sont d'ailleurs datés par le radiocarbone de 890 ± 30 BP

(*cf.* pl. 53, p. 683). L'éventail floristique est pour la première fois composé de ligneux bas : le Genévrier et le Raisin d'ours. *Larix-Picea* totalise 56 % des fréquences relatives. *Pinus cembra* totalise 8,9 % des fréquences relatives, *Pinus* type *P. sylvestris*, 0,5 %, *Juniperus*, 32 % et *Arctostaphylos uva ursi*, 1 %.

La courbe de concentration de Pareto obtenue pour l'unité 3 indique un indice de concentration inférieur à l'indice idéal 20/80 (28/72) (fig. n°10, p. 686). Les proportions des taxons ne sont donc pas totalement stabilisées. L'indice de concentration obtenu pour l'unité 11 est identique à celui de l'unité 3. La valeur relativement faible de l'indice est à attribuer, dans le cas de l'unité 11, au mode de dépôts (action courte et peu répétée) et, dans le cas de l'unité 3 au caractère trop limité de l'échantillonnage compte tenu du type de dépôts (halde).

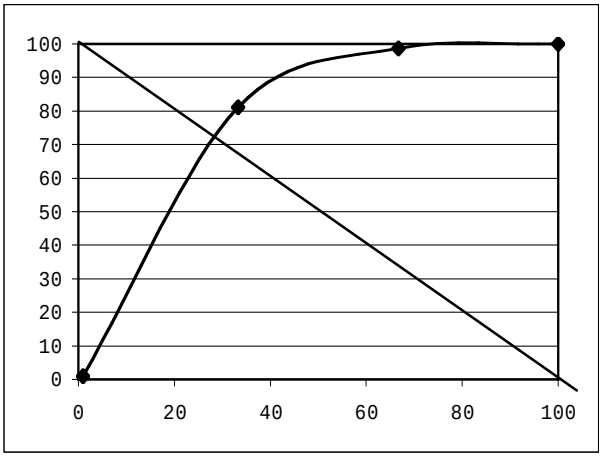


Fig. n°10 : Courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour la couche 3 de la Tranchée Amont. L'indice de concentration est de 28/72.

FARAVEL I Versant Ouest	Tranchée Amont US 3			Tranchée Amont US 11			Halde US 3			Halde US 4			Fosse Ouest US 5			Fosse Ouest US 6			Total
Datation				**890 ± 30 BP**									**940 ± 35 BP**			**1000 ± 35 BP**			
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra	2	39	17,3	3	19	9,8	2	40	23,4	2	54	18,1	2	9	9	2	14	3,5	
Pinus type. *P. sylvestris*		0	0		1	0,5	3	2	1,2		0	0	3	5	5		0	0	
Pinus	3	3	1,3		0	0	4	2	1,2	3	2	0,7		0	0	4	2	0,5	
Larix-Picea	1	181	80,4	1	109	56,5	1	122	71,3	1	238	79,6	1	86	86	1	377	94,5	
Juniperus		0	0	2	61	31,6		0	0		0	0		0	0	3	2	0,5	
Arctostaphylos uva-ursi		0	0	4	2	1		0	0		0	0		0	0		0	0	
Gymno. indéter.		2	0,9		1	0,5		5	2,9		5	1,7		0	0		4	1	
Total		**225**	100		**193**	100		**171**	100		**299**	100		**100**	100		**399**	100	
Indéterminables					7	3,5		4	2		1	0,3					1	0,25	
Total charbons analysés		225			200			175			300			100			400		1400

Tabl. n°3 : Tableau de comptage des taxons déterminés dans les différents dépôts échantillonnés dans les ouvrages du secteur Ouest de Faravel I..

FARAVEL I Versant Ouest	Corps de la halde			Fosse Ouest US 5			Fosse Ouest US 6			Tranchée Amont US 3			Tranchée Amont US 11			Total
Datation	**2e 1/2 XIe - 1ère 1/2 XIIe s. (?)**			**940 ± 35 BP**			**1000 ± 35 BP**			**XIIe s. (?)**			**890 ± 30 BP**			
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra		94	20		9	9		14	3,5		39	17,3		19	9,8	
Pinus type. *P. sylvestris*		2	0,4		5	5		0	0		0	0		1	0,5	
Pinus		4	0,9		0	0		2	0,5		3	1,3		0	0	
Larix-Picea		360	76,6		86	86		377	94,5		181	80,4		109	56,5	
Juniperus		0	0		0	0		2	0,5		0	0		61	31,6	
Arctostaphylos uva-ursi		0	0		0	0		0	0		0	0		2	1	
Gymno. indéter.		10	2,1		0	0		4	1		2	0,9		1	0,5	
Total		**470**	100		**100**	100		**399**	100		**225**	100		**193**	100	
Indéterminables		5	1,1					1						7	3,5	
Total charbons analysés		475			100			400			225			200		1400

Tabl. n°4 : Tableau de comptage destiné à la construction du diagramme anthracologique de synthèse.

Faravel II – 2070 m d’altitude

Les dépôts de la Tranchée Supérieure

Les échantillons prélevés dans la Tranchée Supérieure ont fourni un total de 575 fragments de charbons de bois et de petits fragments de bois (*cf.* pl. 35, p. 619 et tabl. n°5, p. 694). L’unité 2 comptabilise un total de 50 fragments dont 60 % sont des petits fragments de bois refendus non carbonisés ou à demi carbonisés. Ce nombre de charbon peu élevé est à attribuer au caractère lessivé de la couche. Quatre taxons différents ont pu être déterminés : *Larix-Picea*, *Pinus cembra*, *Pinus cf. P. cembra* et *Juniperus*. Le premier est dominant dans les trois couches échantillonnées, mais ses fréquences varient entre 52 et 86 %. Le second est secondaire, il comptabilise 11,7 % pour l’unité 4, 21 % pour l’unité 3 et 44 % dans l’unité 1 où il talonne *Larix-Picea*. Les deux derniers ont des fréquences relatives anecdotiques comprises entre 0,6 et 3,5 %. Comme pour les dépôts précédents, *Larix-Picea* et *Pinus cembra* paraissent nettement surreprésentés dans les trois spectres. Le même phénomène a été observé dans les spectres du Fournel où l’on trouve un taxon dominant qui est en général *Larix-Picea* avec des fréquences relatives comprises entre 70 et 90 voire 100 %, un taxon secondaire qui est en général *Pinus* type *P. sylvestris* avec des fréquences relatives comprise entre 10 et 30 %, associés à quelques autres taxons anecdotiques dont les fréquences sont faibles. Ici, seul le spectre de l’unité 2 ne suit pas cette règle. La courbe de concentration de Pareto tracée pour cette unité démontre que les proportions des taxons ne sont pas du tout stabilisées. L’indice de concentration indique une déformation importante de la végétation ligneuse exploitée. Les lessivages météoriques sont à l’origine de cette forte déformation du spectre (fig. n°11, p. 689).

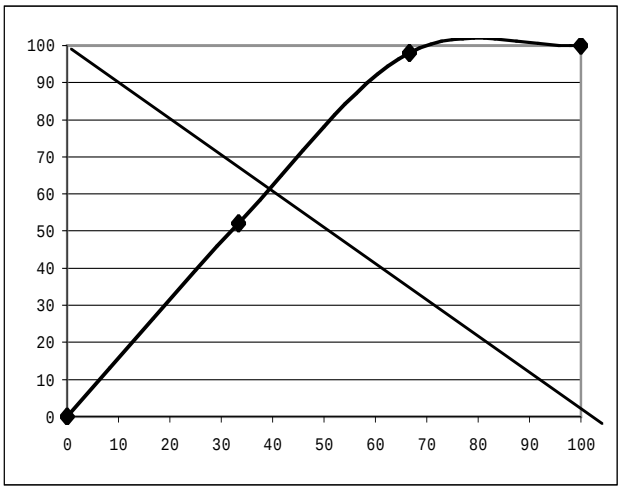


Fig. n° 11 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'US 2 de la Tranchée Supérieure. L'indice de concentration est très faible et démontre que les proportions des taxons ne sont pas stabilisées.

La question est de savoir si les variations importantes des proportions des taxons dominant et secondaire entre les couches 2 et 3-4 sont à attribuer au contexte de dépôt, au mode de dépôt, au mode de prélèvement. Le protocole de prélèvement étant rigoureusement identique pour les trois couches, il faut considérer que ces variations sont plus certainement liées aux modes de dépôt et/ou au contexte de dépôt. L'analyse stratigraphique a démontré que ces déblais n'avaient pas été fortement déplacés ou remaniés. La stratigraphie originelle composée de déblais d'abattage par le feu aurait subi principalement des phénomènes de lessivage avec des infiltrations de terre végétale liée à la sédimentation naturelle. La présence de fragments de bois refendus non carbonisés et à demi carbonisés relevée uniquement dans la couche 2 pourrait suggérer une origine différente. Or, l'analyse stratigraphique de la Halde Supérieure (Faravel I) a montré que le corps de la halde présentait de nombreuses inclusions de débris de bois non carbonisés mêlés aux déblais miniers. Leur absence dans les couches inférieures doit plutôt être attribuée à leur infiltration différentielle dans les graviers et les cailloutis par rapport aux charbons de bois plus fragiles et plus petits. Les variations des proportions des taxons dominant et secondaire dans la couche 2 par rapport aux autres couches sont donc à attribuer au contexte de dépôts. Par mesure de sécurité, les données anthracologiques de cette unité ne seront pas intégrées dans le diagramme de synthèse. Par contre, le caractère relativement homogène de la stratigraphie autorise à rassembler les fréquences absolues des taxons des unités 3 et 4 au sein d'un même spectre dans le diagramme anthracologique de synthèse. Ils constituent une synthèse des bois utilisés pour les feux d'abattage réalisés sur l'affleurement. Une seule campagne de prospection a normalement été nécessaire pour mener à bien ces travaux. L'image anthracologique reflète donc une action de courte durée qui a pu se dérouler sur quelques mois tout au plus.

Les dépôts de la Tranchée Moyenne

Les échantillons prélevés dans la Tranchée Moyenne ont fourni un total de 275 fragments de charbons de bois (*cf.* tabl. n°5, p. 694). Seules les unités 4 et 6 ont été échantillonnées car les autres couches étaient peu riches ou vierges en inclusions charbonneuses (*cf.* pl. 36, p. 621). L'unité 4 qui est dominée par des déblais miniers envahis par des infiltrations de terre végétale a fourni 75 fragments de charbons de bois. Ces dépôts proviennent des déblais d'abattage par le feu des travaux amont, c'est-à-dire principalement de la Tranchée Supérieure. Leur analyse complète donc celle des dépôts inclus dans les déblais de cet ouvrage. Le spectre de la couche 4 est d'ailleurs très proche du spectre obtenu pour l'unité 4 de la Tranchée Supérieure (*cf.* pl. 54, p. 692). Trois taxons ont pu être identifiés : *Larix-Picea*, *Pinus cembra* et *Pinus.* Le premier taxon est largement dominant. Il totalise 89 % des fréquences relatives. Le deuxième taxon totalise 9,3 % des fréquences et le troisième seulement 1,3 %. L'indice de concentration de Pareto est inférieur à l'indice idéal 20/80 (fig. n°12, p. 690). Il indique que les proportions des taxons entre eux ne sont pas stabilisées, mais qu'elles se rapprochent de l'indice idéal.

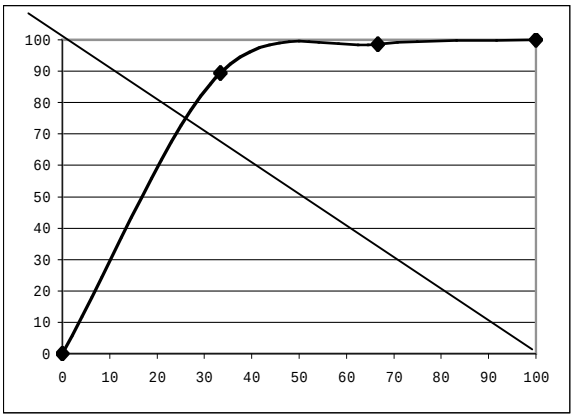


Fig. n° 12 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'US 4 de la Tranchée Moyenne. L'indice est inférieur à l'indice idéal 20/80 (25/75), mais il s'en rapproche.

La couche 6 qui correspond aux vestiges d'un incendie qui s'est déclaré peu de temps après la fin de l'exploitation de la tranchée (ou peu de temps avant ?) a fourni un total de 170 fragments de charbons de bois. Il présente le cortège floristique le plus riche de tous les dépôts échantillonnés dans le site de Faravel II, avec notamment l'apparition d'un feuillu. Six

taxons ont pu être identifiés : *Larix-Picea*, *Pinus cembra*, *Pinus cf. P. cembra*, *Pinus*, *Juniperus* sp. et *Fraxinus* sp. Le premier totalise 81 % des fréquences relatives, le second, 13 %, le troisième, 0,6 %, le quatrième, 1,8 %, le cinquième, 0,6 %, et le sixième, 0,6 %. Comme dans les autres dépôts des Tranchées Supérieure et Moyenne, *Larix-Picea* et largement dominant, *Pinus cembra* est secondaire et les autres taxons sont anecdotiques. L'indice de concentration de Pareto est très proche du rapport idéal 20/80 (fig. n°13, p. 691). Il indique que les proportions des taxons dominant et secondaire sont proches de leurs proportions dans la végétation ligneuse située aux abords du site. La qualité de l'indice doit être attribuée non seulement au mode d'échantillonnage, mais aussi au mode de dépôt. Il confirme l'hypothèse émise grâce à l'analyse stratigraphique. Les charbons issus de cette couche d'incendie offrent un bon effet de synthèse de la végétation ligneuse existante aux abords du site juste après son abandon (ou pendant son exploitation).

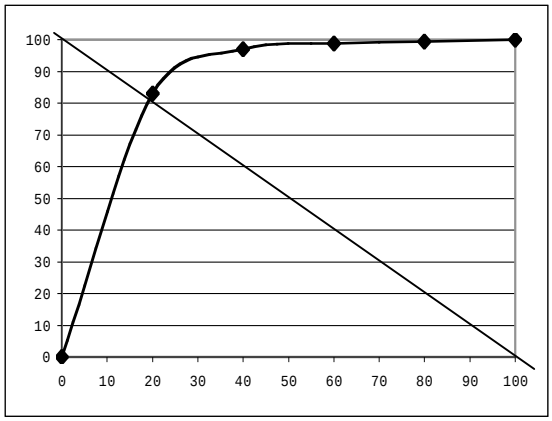
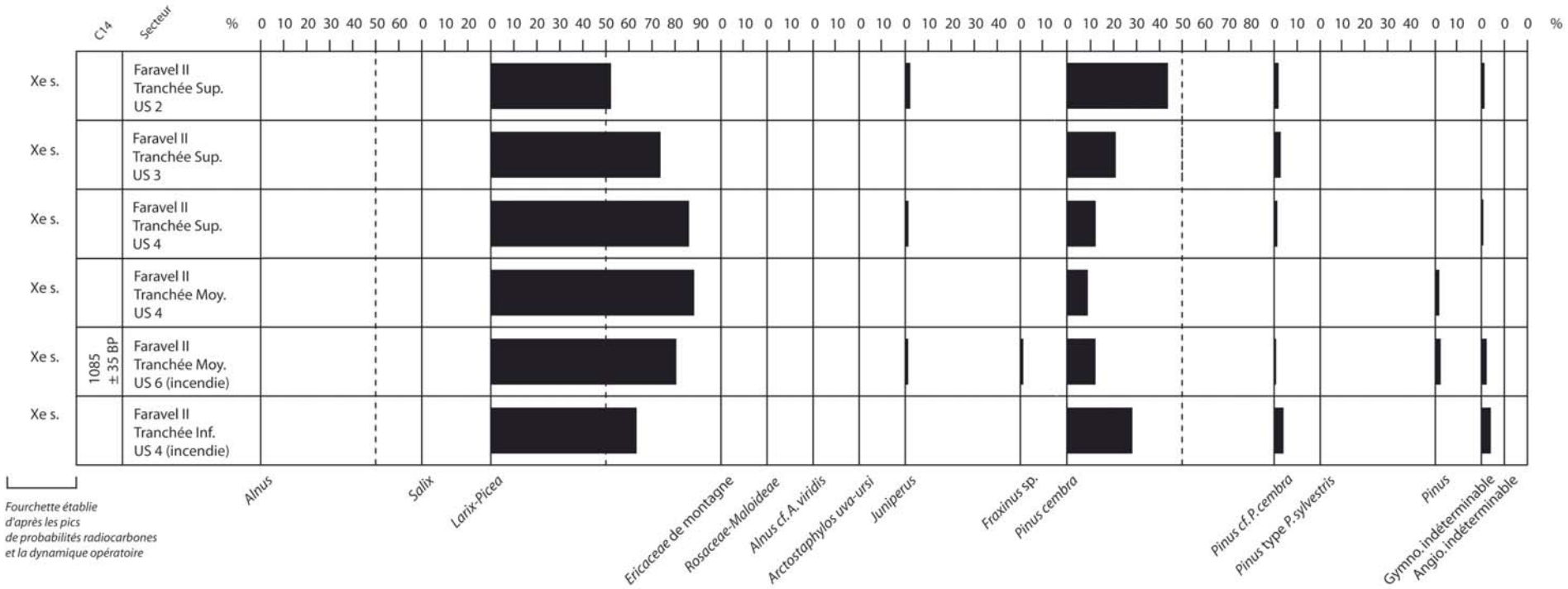


Fig. n°13 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'US 6 de la Tranchée Moyenne. L'indice de concentration est très proche du rapport idéal 20/80.

PLANCHE N°54 : SPECTRES ANTHRACOLOGIQUES DES ÉCHANTILLONS PRÉLEVÉS DANS LES OUVRAGES DU SITE DE FARAVEL II



V. Py 2008

Les dépôts de la Tranchée Inférieure

La couche 4 de la Tranchée Inférieure qui correspond à la couche d'incendie détectée dans la Tranchée Moyenne, est la seule à avoir fourni des charbons de bois. Le reste du remplissage de la tranchée est dominé par des dépôts de colluvions et de sédiments pauvres en déblais miniers (*cf.* pl. 37, p. 625). La couche 4 étant très pulvérulente (charbons désagrégés) s'est avérée très pauvre en charbons de bois. Sur la totalité du dépôt prélevé sur toute la superficie de la Tranchée Inférieure, seulement 25 fragments ont été récupérés par tamisage à l'eau. Les charbons préservés ont été moins bien conservés que dans la Tranchée Inférieure pour des raisons difficiles à établir.

Trois taxons ont pu être identifiés : *Larix-Picea, Pinus cembra* et *Pinus cf. P. cembra.* Le premier taxon totalise 64 % des fréquences relatives, le second, 28 % et le troisième, 4 %. Les variations des proportions des taxons dominant et secondaire par rapport aux prélèvements échantillonnés dans la même couche au niveau de la Tranchée Moyenne sont clairement liées à la mauvaise conservation des charbons de bois. Il paraît évident que *Pinus cembra* est surreprésenté dans cette tranchée par rapport à la Tranchée Moyenne où les proportions entre taxons sont proches du rapport idéal 20/80. Pour gommer cet effet, les charbons échantillonnés dans la Tranchée Inférieure seront additionnés aux charbons échantillonnés dans la Tranchée Moyenne dans le diagramme anthracologique de synthèse puisqu'ils proviennent clairement du même dépôt (*cf.* tabl. n°6, p. 694).

L'étude des proportions des taxons identifiés dans les différentes couches des tranchées de Faravel II mise en perspective avec l'approche stratigraphique révèle que les spectres obtenus dans les dépôts inclus dans les déblais d'abattage par le feu sont peu déformés par rapport aux spectres issus de la couche d'incendie. Il démontre aussi la nécessité absolue de procéder à un échantillonnage sur toute la superficie des couches qui peuvent présenter une conservation différentielle des charbons liée principalement à la taphonomie et aux effets de lessivage météoriques. Les dépôts superficiels de la Tranchée Supérieure présentent une surreprésentation du taxon secondaire (*Pinus cembra*) liée aux conditions de conservation, tandis que les dépôts de déblais miniers déplacés dans les fosses montrent une légère surreprésentation des taxons arborescents (*Larix-Picea* et *Pinus cembra*). Elle est induite vraisemblablement par une sélection préférentielle de ces essences par les mineurs plus

rentables pour la production de bois de feu minier, dictée, nous le verrons ailleurs, par la nécessité d'utiliser des forts calibres.

FARAVEL II	**Tranchée sup. US 2**			**Tranchée sup. US 3**			**Tranchée sup. US 4**			**Tranchée moy. US 4**			**Tranchée moy. US 6**			**Tranchée inf. US 4**			Total
Datation	**Xe s.**			**Xe s.**			**Xe s.**			**Xe s.**			**1085 ± 35 BP**			**Xe s.**			
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra	2	22	44		73	21	3	20	11,7	2	7	9,3	1	22	12,9	2	7	28	
Pinus cf. P. cembra	4	1	2		12	3,5	2	2	1,2		0	0	6	1	0,6	3	1	4	
Pinus		0	0		0	0		0	0	3	1	1,3	4	3	1,8		0	0	
Larix-Picea	1	26	52		258	74,4	1	147	86	1	67	89,3	2	137	80,6	1	16	64	
Juniperus	3	1	2		0	0	4	1	0,6		0	0	5	1	0,6		0	0	
Fraxinus sp.		0	0		0	0		0	0		0	0	3	1	0,6		0	0	
Gymno. indéter.		0	0		4	1,2		1	0,6		0	0		5	2,9		1	4	
Total		**50**	100		**347**	100		**171**	100		**75**	100		**170**	100		**25**	100	
Indéterminables					3			4	2,3					5					
Total charbons analysés		**50**			**350**			**175**			**75**			**175**			**25**		**850**

Tabl. n°5 : Tableau de comptage des taxons déterminés dans les différents dépôts échantillonnés dans les ouvrages de Faravel II.

FARAVEL II	**Déblais d'abattage**			**Niveau incendie**			Total
Datation	**Xe s.**			**1085 ± 35 BP**			
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra		100	17		29	14,9	
Pinus cf. P. cembra		14	2,4		2	1,0	
Pinus		1	0,2		3	1,5	
Larix-Picea		472	80		153	78,5	
Juniperus		1	0,2		1	0,5	
Fraxinus sp.		0	0		1	0,5	
Gymno. indéter.		5	0,8		6	3,1	
Total		**593**	100		**195**	100	
Indéterminables		7	1,2		5	2,5	
Total charbons analysés		**600**			**200**		**800**

Tabl. n°6 : Tableau de comptage destiné à la construction du diagramme anthracologique de synthèse.

Fangeas – 1970-2000 m d’altitude

L’étude anthracologique du site de Fangeas est partielle. De nombreux nouveaux prélèvements ont été échantillonnés lors de la dernière campagne de fouille et n’ont pas encore pu être traités. Les foyers résiduels des feux d’abattage conduits au niveau des deux ressauts inférieurs de la Grande Fosse appartenant à la fin de l’exploitation ont été entièrement prélevés. Leur étude prochaine permettra de compléter le corpus anthracologique du site notamment pour la phase chronologique la plus récente. De la même manière, l’étude des dépôts échantillonnés dans le sondage de la halde du Grand Puits est en attente. Les résultats préliminaires obtenus pour ce site sont néanmoins dignes d’intérêt.

Les dépôts de la Grande Fosse

Les dépôts carbonisés échantillonnés dans la Grande Fosse proviennent du sol du couloir d’entrée, du sol de la portion terminale de la Galerie de Recherche et du départ des remblais noirs prélevés à l’entrée du chantier. Les dépôts les plus anciens étudiés jusqu’à présent proviennent du sol du couloir d’entrée (955 ± 30 BP). Les charbons de bois ont été prélevés dans la couche de circulation située directement sur le sol rocheux incurvé. Ils peuvent théoriquement provenir des résidus de la série feux d’abattage conduits sur place pour excaver le sol. Une centaine de charbons de bois ont pu être récolté et ont fourni seulement deux taxons différents : *Larix-Picea* et *Pinus cembra* (*cf.* tabl. n°7, p. 697 et pl. 55, p. 698). Le premier totalise 99 % des fréquences relatives et le second, 1 %. La forte surreprésentation de *Larix-Picea* peut être attribué à trois facteurs : le contexte de dépôt (effet de synthèse limité), la surreprésentation de *Larix-Picea* dans les boisements exploités, le mode de gestion des boisements disponibles. L’effectif de l’échantillon ne doit pas être mis en cause puisque, en contexte minier, il voisine avec la centaine de fragments. Les échantillons riches floristiquement sont repérés à partir de 50 fragments déterminés. L’échantillonnage du sol de circulation dans la portion terminale de la Galerie de Recherche, daté de 895 ± 30 BP, a fourni 90 charbons de bois de *Larix-Picea*. La faiblesse de l’effectif est liée au dépôt résiduel. Les lambeaux de sol conservés étaient très limités. Comme pour le dépôt précédent, la

dominance absolue de ce taxon doit être attribuée à la combinaison des trois facteurs énumérés *supra.* L'échantillonnage réalisé au niveau du départ des remblais noirs (compartiment I) a fourni 99 charbons de bois. Trois taxons ont été déterminés : *Larix-Picea* qui totalise 91,8 % des fréquences, *Pinus cembra* qui représente 7,1 % des fréquences et *Pinus* type *P. sylvestris* totalisant 1 % des fréquences. Avec un indice de concentration proche de 25/75, le rapport de proportions des taxons de ce dépôt se rapproche de celui des remblais remobilisés de la Fosse ouest. Encore une fois, l'exploitation massive de *Larix-Picea* au détriment des pins et des ligneux bas doit être dictée par des raisons paléoécologique et ethnobotanique (choix induit par les disponibilités locales).

Les dépôts du Grand Puits

Les dépôts carbonisés échantillonnés dans le Grand Puits et ses abords qui ont pu être étudiés dans le cadre de cette thèse, proviennent du niveau supérieur de la halde (coupe AD) et des remblais miniers fouillés dans la fosse du Grand Puits où seule l'unité 4 composée de déblais d'abattage par le feu à proprement parler autorisait une approche anthracologique. Le reste du comblement de la fosse du puits fouillé est dominé par les bois de construction et d'équipement enchevêtrés dans des déblais remaniés et des colluvions.

L'échantillonnage anthracologique conduit dans les remblais de la fosse du puits a fourni un total de 301 charbons de bois. Seulement deux taxons ont été déterminés : *Larix-Picea* qui totalise 79,9 % des fréquences relatives et *Pinus cembra* qui totalise 20,1 % des fréquences (*cf.* tabl. n°7, p. 697 et pl. 55, p. 698). Le rapport de proportions entre ces deux taxons se rapproche du rapport obtenu pour le niveau d'incendie de la Tranchée Moyenne de Faravel II avec cependant une nette surreprésentation de *Pinus cembra* probablement liée au mode de gestion des boisements mis en œuvre par les mineurs. Les différences de proportions de ces deux taxons avec les proportions des mêmes taxons obtenues pour la Grande Fosse, peuvent s'expliquer ici par le contexte de dépôts et leur chronologie. Les remblais de la fosse du Grand Puits paraissent provenir d'une phase d'exploitation plus ancienne.

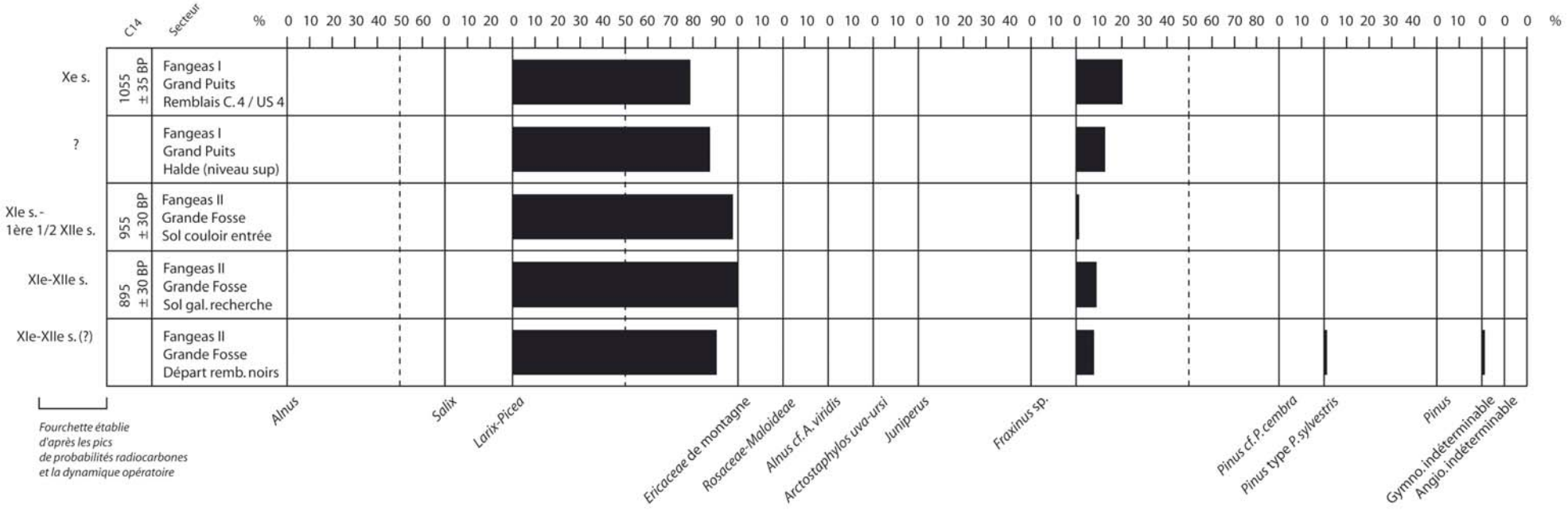
Les dépôts carbonisés échantillonnés dans le niveau supérieur de la halde au niveau de la coupe AD proviennent de l'unité 3 circonscrite dans la partie est de la coupe. Une étude préliminaire destinée à l'analyse radiocarbone a fourni 69 charbons de bois. Deux taxons ont été déterminés : *Larix-Picea* qui totalise 87 % des fréquences relatives et *Pinus cembra* qui

totalise 13 % des fréquences relatives. L'effectif optimal de l'échantillon étant limité, il est fort probable que le rapport de proportions entre ces deux taxons soit légèrement faussé. Le spectre de ce dépôt ne sera pas pris en considération pour le diagramme anthracologique de synthèse. Il révèle néanmoins qu'il existe une dichotomie entre les spectres de la Grande Fosse, dominé à plus de 90 % par *Larix-Picea*, avec ceux du Grand Puits où *Pinus cembra* est mieux représenté. Seule la poursuite des analyses des dépôts échantillonnés dans ce secteur confirmera ou infirmera cette dichotomie qui est *a priori* liée à la chronologie.

FANGEAS	**Grand Puits C. 4 - US 4**			**G. F. - sol couloir entrée**			**G. F. - sol gal. recherche**			**G. F. - départ remblais noirs**			**Grand Puits - halde**			Total
Datation	**Xe s.**			**XIe-1ère 1/2 XIIe s.**			**XIe-XIIe s.**			**XIe-XIIe s. (?)**			**coupe AD - niveau sup.**			
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra	1	59	20,1	2	1	1		0	0	2	7	7,1	2	9	13	
Pinus type. *P. sylvestris*		0	0		0	0		0	0	3	1	1		0	0	
Larix-Picea	2	235	79,9	1	98	99	1	90	100	1	90	91,8	1	60	87	
Total		294	100		99	100		90	100		98	100		69	100	
Indéterminables		7	2,4		1	1		0	0		1	1				
Total charbons analysés		301			100			90			99			69		659

Tabl. n°7 : Tableau de comptage des taxons déterminés dans les différents dépôts échantillonnés dans les ouvrages de Fangeas. Ce même tableau a servi à dresser le diagramme anthracologique de synthèse. Seules les données obtenues pour la halde ne seront pas intégrées à ce diagramme pour les raisons exposées supra.

PLANCHE N°55 : SPECTRES ANTHRACOLOGIQUES DES ÉCHANTILLONS PRÉLEVÉS DANS LES OUVRAGES DU SITE DE FANGEAS



V. Py 2008

Les dépôts échantillonnés dans les ouvrages miniers de Faravel et Fangeas sont extrêmement pauvres d'un point de vue floristique. Ils présentent en moyenne trois à quatre taxons et rarement plus. Un maximum de six taxons a été obtenu pour le niveau d'incendie de la Tranchée Moyenne. Tous les spectres obtenus à partir des échantillons provenant de déblais miniers présentent un maximum de cinq taxons. Cette faible ouverture du spectre floristique n'est pas à attribuer au mode de prélèvement ou à l'effectif des échantillons qui est rarement inférieur à 100 fragments, mais à une conjonction de facteurs environnementaux (disponibilité des boisements) et anthropiques (stratégies d'approvisionnement). La faible ouverture du spectre floristique du combustible minier a déjà été mise en évidence au Fournel. Pour ce site, la richesse de certains spectres est à attribuer à des dépôts synthétisant une très longue durée de travail et au contexte environnemental plus propice au développement des feuillus arborescents. La haute montagne offre une palette bien plus réduite de ligneux arborescents. Le calcul de l'indice de concentration de Pareto est en général faible pour les dépôts issus d'une action courte et peu répétée (série de quelques feux), et s'affine pour les dépôts offrant un meilleur effet de synthèse. Les variations des proportions des taxons au sein d'une même stratigraphie sont soit liées aux conditions taphonomiques soit à leur profond écart chronologique. L'analyse des proportions des taxons identifiés conjointement à leur contexte de dépôt permet de dresser un diagramme anthracologique de synthèse organisé en fonction de la chronologie absolue et relative des dépôts. Ce diagramme servira de base aux interprétations concernant l'état du couvert forestier, son évolution et les modes de gestion et d'exploitation des boisements pour la mine, mis en œuvre par les mineurs entre le Xe et la première moitié du XIIIe siècle.

I.4.3. Le diagramme anthracologique de synthèse[30]

Avant l'an Mil

La végétation ligneuse exploitée et en partie incendiée par les prospecteurs ou les agropasteurs est dominée par deux grands taxons arborescents : *Larix-Picea* (*cf. Larix decidua*) et *Pinus cembra.* Les vestiges carbonisés d'un incendie provoqué dans le courant du Xe siècle montrent que *Larix-Picea* constitue presque 80 % de la végétation arborescente locale à 2000 m d'altitude. Il est associé aux pins de haute montagne dont le Pin cembro (14,9 %). Le spectre floristique est très limité. Il est dominé presque exclusivement par les grands résineux. Un seul feuillu a été déterminé : le Frêne. Les ligneux bas sont rares. Seul les genévriers sont représentés (0,5 %). Les espaces boisés situés aux abords du site avant l'incendie étaient donc dominés par la série du Mélèze et du Pin cembro caractéristique de l'étage subalpin. L'absence du taxon *Pinus* type *P. sylvestris* peut s'expliquer par l'exposition en ubac de ce secteur qui favorise l'expansion du Mélèze, friand de sols frais, là où le Pin cembro a été éliminé par l'action anthropique ou des incendies naturels. Les proportions de ces deux taxons suggèrent que cet espace était déjà anthropisé avant l'arrivée des prospecteurs. La forêt n'était pas « vierge » de toutes atteintes. Les genévriers et le Frêne sont des témoins discrets de la présence humaine et de l'ouverture du paysage ligneux probablement morcelé.

L'étendue de ce paysage paraît homogène sur 100 m de dénivelé, entre 2070 et 1970 m d'altitude. Les proportions des taxons dominants sont extrêmement proches aux abords du Grand Puits situé 100 m plus bas. Le paysage forestier de ce secteur de la montagne de Dormillouse avait donc une allure bien différente de l'actuel au moment de la première vague de prospection minière daté de l'extrême fin de l'époque carolingienne.

Le territoire d'approvisionnement en bois de feu des prospecteurs est strictement local. Les proportions des taxons qui dominent le couvert forestier sont peu déformées. Seul le Pin cembro est très légèrement surreprésenté. Mais, la variation de ses fréquences relatives entre le niveau d'incendie et le niveau de déblais des tranchées de Faravel II peut s'expliquer par

[30] *Cf.* pl. 56, p. 704.

les fortes proportions de Gymnospermes indéterminables rencontrées dans le niveau d'incendie où les charbons ont particulièrement souffert. Elles peuvent contenir un pourcentage non négligeable de Pin cembro.

De l'an Mil à la fin du XIIe siècle

Les spectres anthracologiques rattachés à cette période révèlent un changement du couvert boisé et/ou des stratégies d'approvisionnement adoptées par les mineurs. Que ce soit à Fangeas (Grande Fosse, sol du couloir d'entrée) ou à Faravel I (Fosse ouest), *Larix-Picea* constitue plus de 90 % du couvert forestier exploité. Les fréquences des pins et particulièrement du Pin cembro chutent sous la barre des 5 %. Le paysage forestier, dont l'image est légèrement biaisée compte tenu de l'exclusion des ligneux bas et arbustifs pour la production de bois de feu artisanal, est dominé par le Mélézin dont l'extension se poursuit aux dépens du Pin cembro entre 1970 et 2100 m d'altitude. Considérée comme climacique dans l'étage subalpin d'ubac, cette espèce est menacée par la double pression de l'activité minière et agropastorale favorisant le Mélèze à croissance plus rapide et à germination plus dense. Les mineurs paraissent s'approvisionner presque exclusivement dans les massifs d'ubac car le paysage ligneux de l'adret n'est pas perceptible dans le diagramme : *Pinus* type *P. sylvestris* n'est pas représenté. L'omniprésence du mélézin ne signifie pas pour autant que le paysage est dominé par une forêt dense. Le Mélèze peut constituer à cette altitude des formations de pré-bois où il recouvre des formations prairiales diverses à haute valeur agropastorale. La forêt exploitée par les mineurs durant cette période est plus probablement morcelée.

Les spectres anthracologiques des travaux de Fangeas et Faravel I qui correspondent à une phase intense d'exploitation et d'approfondissement des travaux (2ème moitié XIe-1ère moitié XIIe siècle) enregistrent une nouvelle augmentation des proportions du Pin cembro, plus prononcée pour les sites situés à 2100 m d'altitude. Ces fréquences atteignent 20 % à Faravel I (déblais de la Grande Fosse, dépôt de la Halde Supérieure). Il est évident que le Pin cembro n'a pas eu le temps de se régénérer. Il croît entre 1970 et 2100 m d'altitude au sein des peuplements de résineux qui subissent une intensification de la pression anthropique durant le XIe siècle. Les changements enregistrés dans les spectres sont donc à attribuer à une stratégie d'approvisionnement en bois de feu des mineurs. Le Pin cembro est une espèce de haute montagne par excellence. Elle peut se maintenir dans des stations très hautes en altitude.

Les boisements exploités par les mineurs seraient donc plutôt situés dans la tranche altitudinale supérieure concernée par la zone d'étagement des mines (1970 – 2100 m d'alt.). L'apparition de *Pinus* type *P. sylvestris*, particulièrement à Faravel I (Fosse ouest), suggère une extension du territoire d'approvisionnement vers les versants d'adret. Le cortège floristique associé à ce taxon (*Larix-Picea, Pinus cembra*), les stratégies d'exploitation probables mises en œuvre par les mineurs prônent en effet plutôt pour la présence du Pin à crochets que du Pin sylvestre. Cette espèce s'intègre à la série subalpine du Mélèze et du Pin cembro dans les Alpes intra-alpines. Ses faibles fréquences dans le diagramme anthracologique peuvent signifier une présence limitée à des boisements circonscrits.

Le spectre atypique de la Tranchée Amont, excavée entre la deuxième moitié du XIe siècle et la fin du XIIe siècle, souligne cette extension du territoire d'approvisionnement vers les versants d'adret. Le recours à des ligneux bas pour l'abattage par le feu est ici exceptionnel et très localisé dans le temps (action courte, effet de synthèse limité). Il peut s'expliquer par le caractère très localisé et restreint des attaques. Des feux alimentés de branchages et de bois de plus forts calibres auraient suffi pour décaper cette zone de l'affleurement. Le spectre enregistre une baisse importante des ligneux arborescents, et particulièrement de *Larix-Picea* au profit du Genévrier associé au Raisin d'ours, beaucoup plus discret. Le changement des stratégies habituelles d'approvisionnement en bois de feu avec l'utilisation de petits ligneux explique les transformations du diagramme. De plus, il a le mérite de mettre en lumière le caractère ouvert des formations boisées de l'adret et l'extension de la lande à Genévrier. Cette dernière peut constituer un repère de la limite supérieure de l'étage subalpin, mais il demeure difficile de définir le niveau altitudinal de cette transition qui pourrait se situer à cette période aux abords (juste en amont ?) du site de Faravel I.

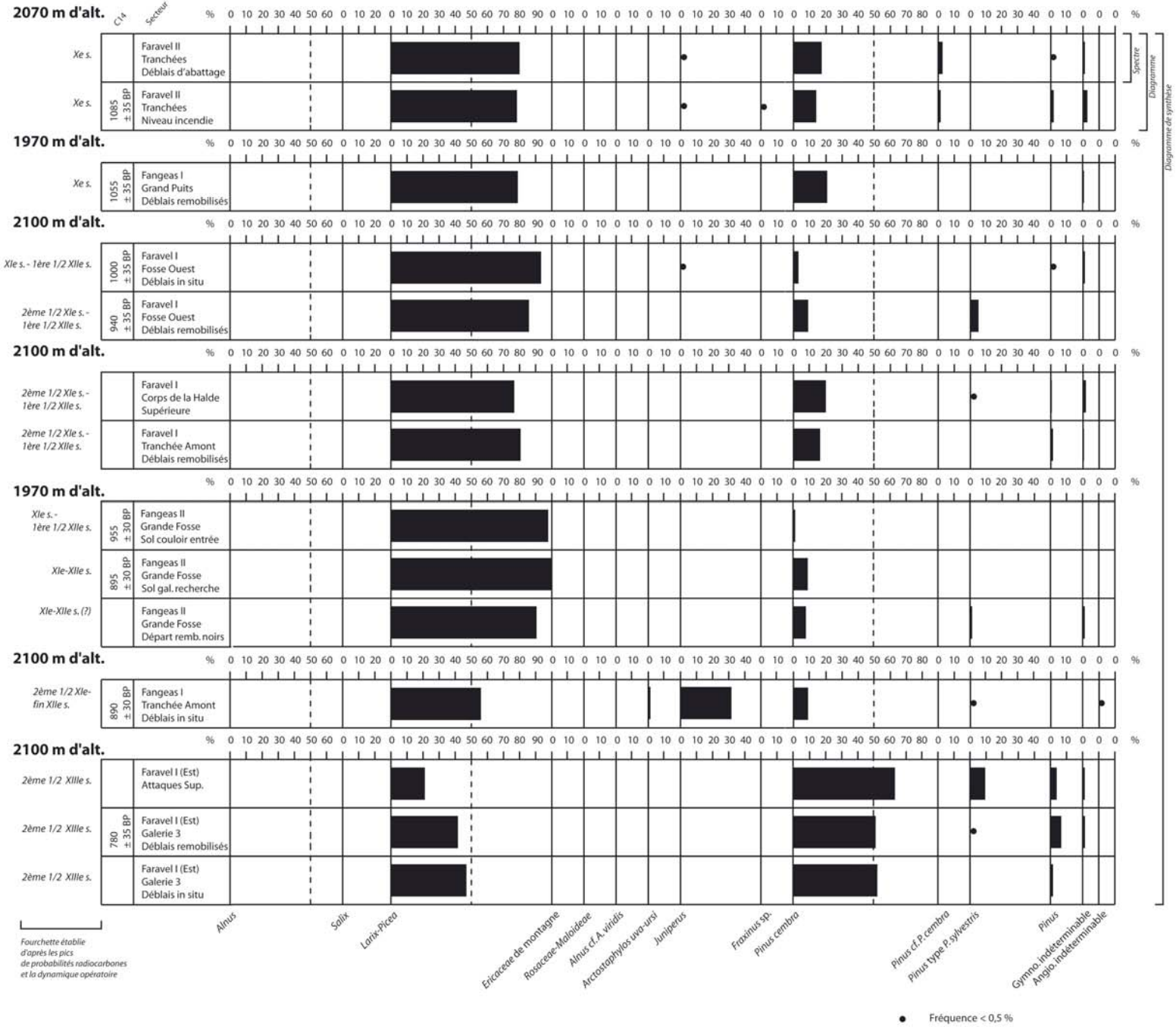
Première moitié du XIIIe siècle

Les spectres anthracologiques obtenus pour le secteur Est de Faravel I exploité durant la première moitié du XIIIe siècle présentent une dichotomie avec les spectres des Xe-XIIe. Les boisements utilisés pour la production de bois de feu sont dominés par le Pin cembro qui constitue des boisements mélangés avec le Mélèze et dans une moindre mesure *Pinus* type *P. sylvestris*. Cette période probablement à rattacher à une ultime phase de recherche médiévale

est caractérisée soit par de profonds changements de la composition de la végétation arborescente aux abords de Faravel I, soit par une nouvelle stratégie d'approvisionnement.

Les textes (le *Probus*) et les vestiges archéologiques indiquent une intensification des activités agropastorales. La montagne constitue un lieu de vie et de production agricole pour les communautés locales. La pression sur les boisements situés entre 1900 et 2100 m d'altitude ne s'est sûrement pas relâchée juste avant ou pendant cette période. L'hypothèse d'une régénération du Pin cembro dans cette tranche altitudinale est à rejeter. Par contre, plus en haut en altitude ou dans les zones très escarpées, les conditions sont différentes. Les travaux miniers du versant est étant situés sur un versant très abrupt, par endroits impraticable par les troupeaux et difficilement exploitable pour la production de bois de construction, la préservation ou la régénération de massifs boisés riches en Pin cembro y est plausible. Ils auraient offert une source providentielle de bois de feu pour la mine. De plus, il n'est pas exclu que la reprise de l'activité minière ait bénéficié du soutien du prince (*dixit* le dauphin) mettant à la disposition des entrepreneurs ses réserves forestières privées préservées du déboisement. Mais rien ne valide une telle hypothèse, et il est impossible de localiser ces réserves dont l'existence est très hypothétique. Nous savons juste que le dauphin pouvait disposer à son gré des « bois noirs ». Quoi qu'il en soit, le territoire d'approvisionnement caractérisé par l'omniprésence des pins de haute montagne paraît tourné vers les derniers massifs boisés d'altitude. Le bois provient soit d'arbres abattus aux abords directs du site (2100 m d'alt.), soit de boisements localisés situés plus haut en altitude. Il suggère un déboisement important des peuplements à *cf. Larix decidua* et à pins de la tranche altitudinale comprise entre 1970 et 2100 m d'altitude. La strate arborée de la limite supra-forestière était alors constituée de Pin cembro mélangé au Mélèze et/ou Épicéa (*cf.* Mélèze) et à *Pinus* type *Pinus sylvestris.*

PLANCHE N°56 : DIAGRAMME ANTHRACOLOGIQUE DE SYNTHÈSE DES MINES DE FARAVEL-FANGEAS



- . -

Ces résultats anthracologiques doivent être confrontés aux données obtenues pour l'étude des bois d'étayage et d'équipement de la mine de Fangeas. À leur tour, ils soulignent la possibilité d'une gestion des ressources non seulement liée au contexte naturel, mais aussi au contexte politique et juridique (réserves de boisements pour la mine). Une étude des sources écrites réglementaires a été envisagée dans cette perspective de façon à compléter les jalons fixés dans la précédente partie. Parallèlement, il est apparu fondamental de préciser les techniques et les usages du bois pour la mine grâce à une approche croisée des textes réglementaires alpins et péri-alpins, de l'iconographie et de l'archéologie minière. Ces données permettent d'appréhender plus facilement l'étude des importants vestiges ligneux découverts à Fangeas. La confrontation de toutes ces données est envisagée dans une perspective paléoenvironnementale et d'économie des boisements au Moyen Âge. Enfin, il est apparu pertinent de comparer la morphologie, la composition et les changements de la forêt artisanale avec la forêt domestique, source de bois de feu et de nourriture pour le troupeau, grâce à l'analyse anthracologique de plusieurs vestiges de foyers situés dans des structures agropastorales de la montagne de Dormillouse. Ces données concourent à la reconstitution de l'évolution de ce paysage forestier de haute montagne, taillé par l'homme pour l'exploitation des ressources métallifères et agropastorales.

II. OBJETS EN BOIS ET BOISAGES : DES TÉMOINS PEU CONNUS ET ÉTUDIÉS DU TRAVAIL MINIER AUX XIe-XIIIe SIÈCLES

> « Chacun a conservé le souvenir de la remarquable exposition des années 1981-1983, réalisée sous l'impulsion de Gabrielle Démians d'Archimbaud, *Aujourd'hui le Moyen Age*, et de son évocation de la « vie quotidienne en France méridionale » (France actuelle il s'entend). Le catalogue publié à cette occasion demeure une base de référence. J'avouerai pourtant une petite déconvenue lorsque, préparant la présente communication, je ne trouvai guère plus d'une colonne consacrée au « travail du bois » (p. 48), outre quelques mentions éparses de ce matériau. Pour les tourneurs, il n'était fait référence qu'aux os et aux bois… des cervidés (p. 45). Le rôle du bois, aux deux sens du terme, dans l'histoire matérielle était donc occulté. Faut-il y voir un effet de ce que Noël Coulet a appelé avec malice, mais sans malignité, « l'acharnement céramologique » ? C'est plus à l'historien qu'à l'archéologue de battre sa coulpe. Le mobilier bois n'a pas survécu. Si l'écriture est souvent consacrée à l'« exceptionnel », selon la remarque de Georges Duby (p. 7), elle conserve pourtant une image relativement précise des rapports entre l'homme et la forêt de haute Provence pour la fin du Moyen Age, indice qu'à l'instar de l'élevage il s'agissait d'une question capitale. »[31]

Lorsque J.-P. Boyer rédige cet article, le bois, ses usages et son travail au Moyen Âge, était, en effet, peu connus. Les résultats exceptionnels des fouilles de Charavines n'étaient pas encore publiés (Colardelle, Verdel 1993) et les découvertes de boisages médiévaux en contexte minier sortaient à peine de l'ombre (Bailly-Maître 1989). Certes, seule la documentation écrite permettait d'aborder la question des forêts et de ses usages dans les Alpes du Sud, et de façon plus large dans le Midi de la France. Mais, la manne que

[31] Citation de J.-P. Boyer *in* : Pour une histoire des forêts de Haute-Provence (XIIIe-XVe s.), *Provence Historique*, « La montagne provençale », T. XL, fasc. 161, 1990, p. 267. Ouvrage et article mentionnés dans la citation : Demians d'Archimbaud 1981 : DEMIANS D'ARCHIMBAUD (G.) dir. – *Aujourd'hui le Moyen Age. Archéologie et vie quotidienne en France méridionale.* 1981. Coulet 1989 : COULET (N.). – Compte rendu bibliographique. *Provence Historique*, fasc. 155, 1989, p. 109.

constituaient les règlements forestiers, les statuts et les embannements, et tous les autres documents d'ordre juridique ou administratif ayant trait à la forêt, qui n'ont d'ailleurs que rarement conduit à une description du labeur des hommes, s'est comme tarie. L'histoire de la forêt sud-alpine et de ses usages s'est alors figée et cristallisée autour d'un concept réglementariste, faisant du bois et de la forêt, des ressources prisées, des biens convoités et asservis, sans jamais réellement replacer ces carcans dans la mobilité et la mosaïque que constitue la forêt alpine et les pratiques des communautés. Et cela, jusqu'à ce que l'archéologue, et non pas l'historien, accorde une place aux sciences dites « connexes », anthracologie, carpologie et palynologie, pour le lever le voile sur l'histoire des rapports entre l'homme et son milieu dans les Alpes.

Depuis B. Gille, la mine constitue un des axes d'études privilégiés des historiens des techniques. Les textes et l'iconographie ont toujours sous-entendu le lien étroit, pour ne pas dire organique, entre la mine et la forêt. Dès lors, pourquoi n'a-t-elle pas été dans cette perspective un terrain d'étude privilégié ? Avant de constituer un creuset d'innovation technologique, elle a accueilli des hommes de la montagne, de la colline, ou plus particulièrement de la forêt. Ils ont appliqué dans la mine un savoir-faire du bois. Mais lorsque le bois, qui a parfaitement survécu dans certains contextes, particulièrement dans les mines, est apparu, l'archéologue n'était pas toujours préparé à l'accueillir. C'est donc à lui de battre sa coulpe.

Avant d'exposer la manière et les outils pour faire parler le bois en tant qu'objet archéologique, nous ne pouvons pas passer sous silence les traces qu'il a laissées dans la documentation historique, et les découvertes archéologiques essentielles.

II.1. ESSAI DE SYNTHÈSE SUR LES DONNÉES DES SOURCES ÉCRITES (XIe-XVe SIÈCLES)

Surtout normative pour la période concernée par l'exploitation des sites miniers de la Haute-Durance (Xe-XIIIe siècles), la documentation étudiée se rapporte à une fourchette chronologique élargie, comprise entre les XIe et XIVe-XVe siècles. En effet, à la fin de cette période, les textes deviennent plus détaillés concernant l'enregistrement des usages. Elle se compose essentiellement des règlements miniers de l'Occident médiéval et des pays sous domination ottomane (Balkans occidentaux)[32], des corpus de chartes et des statuts communaux des cités minières alpines et italiennes, des enregistrements de coutumes et des ordonnances princières en Dauphiné (XIe-XVe siècles) (tabl. n°8, p. 710). Elle concerne tout l'arc alpin et ses abords. Certains documents, particulièrement riches pour éclairer la problématique des usages miniers du bois, pour laquelle nous ne disposons que de mentions rares et peu explicites dans notre fenêtre d'étude, nous ont momentanément éloigné des Alpes et des pré-alpes pour nous porter dans tout l'ancien royaume de France, en Sardaigne, en Toscane, dans les Balkans, ou encore dans les vieux massifs montagneux vosgiens. Cet élargissement géographique est fondé sur la nécessité d'appréhender une des plus anciennes industries sur la longue durée de façon à mieux cerner les particularités chronologiques et régionales, et sur la complémentarité de cette documentation élargie issue d'un tronc commun : l'ancienne législation minière germanique.

[32] Comme en Italie, l'exploitation minière dans les pays serbes a été influencée pendant le haut Moyen Âge par la technique et la terminologie minière allemande. Cette influence transparaît dans les règlements miniers des XIVe-XVe siècles.

Documents	Lieu	date
Statut de Massa	Toscane, Italie	XIIIe-XIVe s.
Breve de la Villa di Chiesa	Iglesias, Sardaigne	1ère 1/2 XIVe s.
Statuts de Bormio	Lombardie, Italie	fin XIIIe s.
Statut vénitien	Venise, Italie	1488
Loi minière de Schwaz	Tirol, Autriche	1449
Règlement d'Allevard	Grésivaudan, France	1395
Enquête d'Allevard	Grésivaudan, France	1284
Reconnaissance d'Allevard	Grésivaudan, France	1315
Règlements de Novo Brdo	Pristina, Kosovo	1488, 1494
Règlement saxon appliqué aux mines	Balkans occidentaux	fin XVe s.
Charte de la baronnie d'Hierle	Lozère, France	1228
Règlement de Kratovo	Priboj, Serbie	1390
Comptes de la mine de Pampailly	Lyonnais, France	milieu XVe s.
Jus Regale Montanorum	Kutna Hora, République tchèque	1300
Statuts de Jean Dauvet, Pampailly	Lyonnais, France	1455
Corpus d'Ardesio	Lombardie, Italie	XIe-XIIIe s.
Jugement minier à Iglau	Moravie, Autriche	1349
Concessions à Vicence et Belluno	Vénétie, Italie	XVe s.

Tabl. n°8 :Liste des documents législatifs mentionnés dans ce chapitre.

II.1.1. Les structures de surface et les boisages

Dans la plupart des règlements miniers de l'Occident médiéval, même les plus anciens[33], la concession d'un puits ou d'une fosse s'accompagne de l'obligation de démarrer les travaux dans les plus brefs délais, à laquelle est souvent associée l'exigence de construire un bâtiment en dur ou en matériaux périssables à leur embouchure. À Massa en Toscane comme à la Villa di Chiesa en Sardaigne (fin XIIIe-début XIVe siècles), quiconque s'engage à ouvrir un puits dispose de trois jours pour lancer l'exploitation et d'un mois et trois jours après la construction d'un abri en bois (appelé *capanna* à Iglesias[34]) au débouché du puits

[33] HÄGERMANN (D.), LUDWIG (K.-H.), *Europäisches Montanwesen im Hochmittelalter…*, III, CXXV, 19 juin 1208, p. 39 (cette référence sera dorénavant indiquée de la sorte : *Codex Wangianus*, 19 juin 1208, III, CXXV, 39) : *« Item si quis partem vel puteam ceperit et illam per .I passum vel minus ducerit, et postea illam per XV dies dimiserit, quod eam non laboret ; exinde quicumque illam intromiserit et laboraverit, sua sit sine placito et molestacione aliqua. »*. Il existe une éd. plus ancienne du *Codex* : KINK (R.), *Codex Wangianus, Urkundenbuch des Hochstiftes Trient, Fontes Rerum Austriacarum, Diplomataria et Acta 5*, Wien, 1852.

[34] BAUDI DI VESME (C.), *Codex Diplomaticus Ecclesiensis, Historiae Patriae Monumentae*, 17, *Augustae Taurinorum*, 1877, 113a, pp. 2-10 ; 118b, pp. 21-28 (cette référence sera dorénavant indiquée de la sorte : *Breve* sarde, 113a, pp. 2-10 ; 118b, pp. 21-28).

principal[35] (Braunstein 2003, p. 152). À Massa, les mineurs qui construisent au-dessus des fosses une *« domum de lapidibus, lingnamine et tecto coperto de plaustris »*[36] et non pas une simple « hutte », sont exempts de la taxe de 25 livres due au « capitaine du peuple de Massa »[37]. Cette disposition du statut indique que les mineurs peuvent et doivent construire des « habitations en dur » à proximité directe de leur fosse s'ils souhaitent bénéficier de privilèges. Le terme *domus* implique une occupation de type domestique (lieu d'habitation des mineurs) plus qu'artisanale. Cette organisation de l'habitat minier aux abords des fosses étaient probablement une manière d'assurer efficacement la présence constante des mineurs dans les travaux, du lundi au samedi, exigée par le statut[38], et d'interdire plus aisément l'accès des travaux aux intrus (Gille 1969, pp. 288-289 ; Braunstein 2003, p. 152). Elle était aussi une manière de pratiquer une surveillance des travailleurs tout en favorisant l'esprit communautaire.

La clause réglementaire concernant la nécessité de construire une cabane au sommet d'un puits pour manifester sa mise en activité se retrouve, mais avec une variante, dans les statuts communaux de Bormio (province de Sondrio en Lombardie) dont les chapitres miniers (219-222) appartiennent à leur rédaction primitive achevée à la fin du XIIIe siècle (Arnoux 2001, p. 218). Les articles 220 et 221 réglementant l'accès aux richesses minières stipulent que les droits de l'exploitant sur le site de sa mine ne sont pas protégés au-delà d'un an et un jour, si la mine ne fait pas formellement l'objet d'une exploitation active, démontrée par l'installation d'un boisage[39] (Arnoux 2001, p. 221). Ici, le règlement impose, non pas la

---

[35] *«* […] *et steterit per unum mensem et tres dies postquam dictum hedificium et abbocamentum fecerit in dicto loco seu fieri fecerit, quod in ipso non laboraverit seu fecerit laborari, ex tunc privetur omni iure a se acquisito et habito ratione vel occasione aliqua in predictis. »* ; *« Et si haberet domum supra se, non perdat ius minori spatio decem annorum et trium dierum, si ut dictum est non estiterit laborata ;* […] *»*, BONAINI (F.), Statuto delle miniere d'argento et di rame della città di Massa, *Archivio Storico Italiano, appendice*, t. VIII, Firenze, 1850, I, p. 637 ; XI, p. 644 (cette référence sera dorénavant indiquée de la sorte : Statut de Massa, I, p. 637 ; XI, p. 644) ; voir aussi BAUDI DI VESME (C.), *Dell'industria delle miniere nel territorio di Villa di Chiesa (Iglesias) in Sardigna nei primi tempi della dominazione aragonese*, Torino, 1870, p. 95.

[36] Statut de Massa, L, p. 666, *De domibus faciendis super foveis.*

[37] BAUDI DI VESME (C.), *Dell'industria delle miniere…*, *ibid.*

[38] Statut de Massa, V, p. 639.

[39] Article 220 : *« Item statutum est quod quelibet persona de Burmio que habet vel inveniret seu voluerit habere et possidere os ferrere vel ferraram teneatur fodere, si fosum non esset, bocchas illius ferere usque ad tres pasos, scilicet ad passum seni suptus terram, et illam armare cum lignis vel cum cogno ferreo, salvo si ante inveniret vena ad minus trium passum seu inventa fuerit vena illa ferea sic armata cum lignis vel cum cogno fereo, et si ita non esset et non fuerit actum et factum, non possit fereria teneri per propria, et ultra annum unum sit nula et publice pro non facta et quelibet persona de Burmio possit postea ingredi illam ferreram post unum annum et diem unum sine contradictione alicuius et aliter non valeat nec teneatur presa aliqua facere alicuius persone in toto territorio Burmii. »* (transcrit et éd. *in* Arnoux 2001).

construction d'une cabane, mais la mise en place de boisages, qui peuvent se réduire à des équipements sommitaux (treuil ou plancher de protection) dans le cas d'une exploitation naissante. À la Villa di Chiesa, les mineurs disposent de quinze jours pour boiser *« boctino, cantina et dorgomena »*[40]. Le *Breve* précise qu'il est interdit de fermer, de détruire ou de déboiser une mine sans l'accord des entrepreneurs associés, les *« parsonavili »*, qui sont les seuls à pouvoir ordonner le déboisement des ouvrages, *« sdifficiare »*, qui est par ailleurs totalement prohibé[41]. Il est prévu dans le statut vénitien de 1488 (paragraphe 8), reprenant en grande partie les dispositions de la loi minière de Schwaz de 1449, que l'interruption pendant un mois de l'exploitation d'une galerie *« armada, investida et fabricada de legnami »* sans raison de force majeure, comme des éboulements ou des inondations, conduit au retrait de l'exploitation à l'entrepreneur (Braunstein 1965, p. 564). Ici, les boisages justifient la nécessité de poursuivre une exploitation.

À Allevard, où il existait une totale liberté d'exploitation, on retrouve exactement la même disposition dans le règlement de 1395[42] : un gisement découvert devient la propriété de son découvreur à condition qu'il garnisse la fosse dans les deux jours et selon des modèles de charpente bien précis[43] et qu'il n'abandonne pas les travaux pendant plus d'un an et un jour[44] (Hesse 1973, pp. 263-263bis). Mise en œuvre pour la protection, l'assistance, ou la consolidation, l'installation d'ouvrages en bois est une manière de prouver que le puits a bien été mis en exploitation et que les exploitants ont réussi à rassembler les capitaux nécessaires pour lancer l'entreprise. Le recours au bois est évidemment nécessaire et sa mise en œuvre doit représenter un coût non négligeable.

Dans la copie turque du règlement immémorial de la mine de Novo Brdo (Pristina, Kosovo) datée du 25 avril 1494, il est stipulé qu'un puits abandonné pendant un an et six semaine revient à la personne qui le remet en valeur. Elle dispose d'un délai de trois semaines

---

[40] Breve sarde, 113b, pp. 7-22 : *« Ordiniamo, che ciascuno boctino, cantina et dorgomena, possa che fie dificiata, et ciascuno canale che fie a coverta uno passo, et lo boctino sia socto passo uno lo meno, siano difesi per li suoi parsovavili giorni XV* […] *».*

[41] Breve sarde, 119a, pp. 24-29 : *« Ordiniamo, che nessuna persona debbia sbocarre overo sdifficiare fosse unde quelli che la sdificiasse fusse personavile, s'elli non fusse con volontà delli parsonavile* […] *».*

[42] LÉON (P.), Un document médiéval…, pp. 235-240.

[43] LÉON (P.), Un document médiéval…, pp. 235-237.

[44] *« Item que si aucun, le premier jour qu'il voudra garnir la fosse, ne peut aud premier jour garnir lad. fosse, icelui aura et doit avoir l'espace d'un autre jour, suivant immédiatement et non ferié, dans lequel jour immediatement suivant, il la rendra garnie, autrement alors en avant peut et pourra etre garnie par autre que ce soit, selon les meurs et coutumes predittes. Nul droit reservé à celui qui aura meprisé garnir lad. Fosse comme dessus »*, LÉON (P.), Un document médiéval…, p. 236 (Hesse 1973, p. 123bis, p. 129).

pour annoncer publiquement son intention de reprise. Or, si l'ancien possesseur se présente durant ce délai de trois semaines avec le montant des frais nécessaires pour la construction en bois de l'ouverture du puits (appelée *« hempalıq »*), il peut recouvrir la moitié de ses parts[45]. Cette disposition du règlement minier de Novo Brdo se retrouve dans le « règlement saxon »[46] enregistré par écrit à la fin du règne de Bayezid II (fin XVe siècle)[47]. Elle démontre une nouvelle fois l'importance non seulement technique, mais aussi symbolique, des constructions en bois qui couvrent le puits et met en avant leur coût qui paraît représenter une part importante de l'investissement réalisé par le possesseur d'un puits avant d'espérer pouvoir retirer des bénéfices. De plus, elle indique que les équipements mis en place dans la zone sommitale d'un puits appartiennent au possesseur du puits. Le règlement de Novo Brdo enregistré en 1494, précise que le « fermier » ou sous-concessionnaire d'un puits n'a pas le droit à l'expiration de son contrat de prétendre au treuil, aux constructions installées à la bouche du puits, ni même à tous les autres équipements de la mine, même si ces aménagements ont été réalisés par lui[48]. Ils demeurent au propriétaire. La mise à disposition par le propriétaire au sous-concessionnaire des forêts situées sur la terre où se trouve la mine serait une explication à cette disposition du règlement. À Massa, le nouveau propriétaire d'une part de mine devient le possesseur de tous les aménagements et les boisages déjà en place[49].

Les dispositions des deux règlements miniers serbo-ottomans et du règlement de Massa rappellent l'article 10 des anciennes coutumes écrites en languedocien, collationnées dans la charte de la baronnie d'Hierle, rédigée à Ganges en février 1227 (Bailly-Maître 1989, pp. 61-71). Il précise que « le bailli a le droit de donner tout puits que ses propriétaires auraient dépouillé ou fait dépouiller de treuil, potence et aisines, et dont ils auraient retiré les outils ». Contrairement à Massa, cette clause indique que les équipements en bois d'un puits appartiennent à son ancien possesseur qui a le droit et le devoir de récupérer son bien après

[45] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, pp. 246-247, n°22, § 13.

[46] Le roi serbe Uros, fait appeler au début de son règne (1243-1276) des colons saxons pour faire exploiter ses mines (Gille 1969, p. 283).

[47] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, p. 258, n°24, § 3.

[48] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, p. 101 et *cf.* texte n°20, § 36, p. 252 : « Si on donne un puits à ferme (lemcha) [en établissant] un acte (zapis), les zapisnik n'emporteront rien de ce qu'ils trouvent [à leur arrivée] dans le puits, ni de ce qu'ils apportent ou qu'ils aménagent, à l'expiration de l'acte (zapis) ».

[49] Statut de Massa, XVII, p. 648 : *« Et si aliquis vendiderit aliquam suam partem alicuis fovee alicuis (sic) persone secundum modum supradictum, intelligatur in dicta parte et venditione dicte pars ac si essent specificata bungnum fovee cum omni eo quod dicta pars habet, et continet interius et extra foveam, dummodo sit divisum. ».*

avoir abandonné une exploitation, soit pour le vendre ou le réutiliser à des fins minières ou non. Il appartient au nouveau possesseur d'équiper lui-même son puits avec ses propres moyens. Ici, indépendamment de la question de l'accès aux boisements pour la mine, le travail réalisé par un propriétaire pour la confection de ses équipements et de ses boisages est reconnu.

Cet article des coutumes d'Hierle mérite une remarque d'ordre technique. En effet, il suggère que les puits peuvent être équipés de deux systèmes de treuillage distincts : le treuil, constitué d'un châssis surmonté d'un tambour enroulé d'une corde et activé par une ou deux manivelles, et la potence, pièce de charpente constituée d'un poteau, au bout duquel est fixée une poulie de levage, et d'une traverse en équerre. Le premier système plus élaboré permet de remonter et de descendre deux seaux simultanément tandis que le second ne permet que de remonter ou descendre un seul seau à la fois.

Les ouvrages en bois étaient par ailleurs un moyen de garantir le bon fonctionnement et la pérennité de l'exploitation. Le couvrement de l'embouchure d'un puits permettait de protéger les travaux et les ouvriers de l'invasion des eaux de pluie et de ruissellement et protégeait le matériel de treuillage et/ou les outils utilisés pour l'extraction et la circulation des matériaux. L'étaiement des galeries, des puits et des chantiers avec des « bois et des planches »[50], garantissait la sécurité des ouvriers menacés par les éboulements des remblais ou de la roche fragilisée par les vides, l'humidité et les eaux d'infiltration. Les frais de boisage (abattage des arbres, débardage, travail du bois et pose) incombaient à l'exploitant qu'il ait été concessionnaire ou propriétaire, mais dans certains cas particuliers ils pouvaient incomber à d'autres. Par exemple, à Novo Brdo, le coût du boisage d'un « puits sans fond » incombait au possesseur de l'ouvrage traversé par le puits[51]. De la même manière, le règlement de la mine de Kratovo (début 1390) stipule que le possesseur de la galerie ou de l'ouvrage traversé par le puits sans fond devient le possesseur du puits. Mais, en contrepartie, il doit rembourser à l'ancien possesseur les dépenses faites pour le bois[52]. En effet, un puits sans fond n'est d'aucune utilité pour la personne qui l'a percé (ouvrage de recherche), par contre, il peut servir à desservir ou à aérer les travaux qu'ils traversent. Dans ce cas, il est

[50] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, p. 234, n°20, § 3 (liste des dépenses réalisées pour le creusement d'un puits à Novo Brdo en 1488).

[51] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, p. 247, n°22, § 16.

[52] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, p. 182, n°2, § 2.

normal que les frais de boisage incombent à la personne qui bénéficie du puits et non pas à celle qui a réalisé l'ouvrage à perte.

L'ensemble des textes réglementaires italiens médiévaux et serbo-ottomans de la fin du Moyen Âge et de la Renaissance met clairement en évidence la nécessité d'établir une structure à l'embouchure des travaux pour manifester le départ d'une exploitation, et de boiser les travaux souterrains pour attester l'activité d'extraction. Si ces clauses ne sont pas respectées, la mine ou la fosse est retirée à son exploitant. Les dépenses réalisées pour les constructions en dur de surface (cabane du puits) et souterraines (boisages et étayages) sont lourdes. Elles sont dissociées des autres dépenses engendrées par l'extraction. Elles constituent manifestement une part importante des investissements privés et/ou publics engagés dans une exploitation minière. Cette hypothèse est confirmée par la plupart de comptes d'exploitation vosgiens de la fin du Moyen Âge et les comptes de la mine de Pampailly en Lyonnais[53] (milieu XVe s.) où le bois apparaît comme un matériau coûteux qui grève une grande partie des dépenses liées à l'activité minière (Cabourdin 1969, n. 31, 101-103 ; Bohly 1990, p. 238, n. 30). Ces remarques posent le problème des droits d'usage de la forêt pour la mine, mais aussi celui du recours ou non à des ouvriers spécialisés. En effet, indépendamment de l'achat du matériau de base, qui peut être mis à disposition gratuitement, ou moyennant une redevance par le propriétaire de la terre où se trouve la mine, le prix des boisages et des équipements en bois peut enfler avec le coût du travail du bois à proprement parler. Ce coût serait d'autant plus élevé si l'exploitant fait appel à des ouvriers spécialisés dont la qualité et l'efficacité du travail conditionnent la bonne marche et la pérennité d'une l'exploitation.

[53] À Pampailly, l'instabilité de la roche imposait l'installation de boisage. Au cours de l'année 1455, les dépenses pour les poteaux, les planches et autres bois destinés à équiper la mine se sont élevées à plus de 100 livres (Benoît 1997, p. 36).

II.1.2. Des ouvriers spécialisés ?

Dans les textes serbo-croates, tous les corps de métiers participant à la chaîne opératoire minière sont scrupuleusement mentionnés. Par exemple, l'ouvrier chargé de l'assèchement des fosses porte le nom de *« vodar »*, de *voda* qui signifie « eau ». Cependant, on ne retrouve pas la trace d'ouvriers boiseurs ou de charpentiers chargés de la préparation et de l'assemblage des bois pour le boisage et l'étayage. Or, la même charge pouvant impliquer à la fois des attributions d'ordre technique ou juridique, la charpenterie de mine pouvait incomber à l'« urbarar », le chef mineur, ou encore, et de façon plus probable, au « hutman », le chef de puits[54]. Ce dernier était en effet chargé de l'organisation du travail des mineurs et de leur équipement. Il surveillait le déroulement des travaux et s'occupait des réparations impliquant nécessairement le confortement et l'étayage des ouvrages menacés par des éboulements, la gestion des remblais et de l'exhaure. L'Urbarar ou le hutman avaient forcément sous leur responsabilité et leur direction une équipe d'ouvriers charpentiers préposés à la préparation des bois. Le règlement des mines de Novo Brdo daté de 1488, stipule avec précision le salaire des ouvriers chargés des travaux souterrains (exhaure, abattage, transport, portage, treuillage etc.), et indique aussi celui des « ouvriers de la surface », clairement différenciés de ceux qui sont assignés à la minéralurgie et à la métallurgie. N. Beldiceanu voit ici la mention probable des ouvriers charpentiers s'occupant de l'équarrissage, du sciage des bois et des tailles pour les assemblages[55]. Dans ce cas, ils apparaissent plus comme des techniciens que des spécialistes.

Contrairement à la législation serbo-ottomane, la législation bohémienne apporte des renseignements précis sur le corps de métier spécialisé dans le boisage et l'étayage des fosses : les *carpentarii*, charpentiers. En effet, les *Jus Regale Montanorum* du royaume de Bohême, rédigées vers 1300 par un juriste d'Orvieto, leurs accordent un article particulier dans lequel est précisé en quoi consistent leur travail et leurs devoirs. D'abord, ils ont la lourde tâche d'écarter le danger dans les travaux qui sont menacés par les chutes de pierres, en l'occurrence, les remblais, et les chutes des parois rocheuses :

---

[54] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, pp. 109-111 ; *cf.* le « Rapport concernant le règlement de la mine de Belasica » rédigé en 1488, § 4, p. 199.

[55] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, p. 120 ; *cf.* le « Règlement concernant le creusage dans la mine de Novo Brdo » rédigé en 1488, § 3, p. 234.

> « *Quorum officium est, de periculo, quod ex casu lapidum, cistarum* […] ».

De plus, ils doivent faire preuve de génie et de sagacité pour « comprimer » la montagne et retenir la roche et les remblais avec des ouvrages de soutien robustes, *«robustus firmando sustentaculis »*, partout où cela est nécessaire. Enfin, la loi leur incombe la protection des hommes, de leur vie et des intérêts des investisseurs en leur interdisant notamment de dissimuler par maladresse ou par malice le métal nouvellement découvert. Pour cela, ils doivent travailler en coopération avec l'*urbarar*[56], chef mineur chargé de l'inspection des travaux et géomètre, qui sait déterminer où se trouvent les endroits riches en minerai et qui sait repérer les zones où le filon est épuisé. Tous les mécontents au sujet de leur travail doivent rapporter leurs doléances au « maître de la montagne » par le biais de l'*urbarar*. Ainsi, le travail des charpentiers était surveillé et contrôlé de près par les représentants de l'administration royale, spécialiste de la gîtologie et de la loi minière, qui avaient le devoir de ne laisser aucune place à la négligence des ouvriers. Les compétences, le savoir-faire et même l'ingéniosité dont devaient faire preuve les *carpentariis* n'excluent pourtant pas que les mêmes hommes soient indifféremment mineurs et paysans.

À Allevard, le règlement de 1395 indique que chaque « habitant de la ville d'Allevard » peut ouvrir une fosse, mais en respectant un protocole particulier de boisage ou « garnison », propre à l'usage :

> « […] garnir la fosse, et estandre en une chacune garnison ou garniture, qu'il se soit mis en une Lieure (châssis), en laquelle il y a six pans ; et on prend deux pointaux de la longueur chacun de quatre pieds ; et que la Jouaille (chapeau), c'est à savoir le ciel du braye, ait deux pieds et demi en coude, et la sollane (sole), soit de la longueur de deux pieds, excepté que si elle etoit par les rochers, entre lesquels ne peut être mise la Lieure, sera garni intem pour garnir lad. fosse d'un tirant de quatre coingts dessus avec un écharasson (pièce verticale) de sept pieds. »[57]

---

[56] La charge de l'urbarar de la législation de Bohême ne diffère pas beaucoup de celle de l'urbarar de la législation serbo-ottomane. Ils accordaient, tous deux, au nom de la couronne, le droit d'exploitation des mines, ils étaient chargés d'empêcher les rixes entre les mineurs, de faire régner le bon ordre dans la mine, de défendre les intérêts de la couronne en faisant appliquer le droit minier. L'urbarar de Bohême, contrairement l'urbarar serbo-ottoman, était chargé de veiller à l'approvisionnement de tous les matériaux et les denrées nécessaires à l'exploitation. L'urbarar serbo-ottoman avait, quant à lui, un rôle de géomètre et il était chargé du notariat des mines (*cf.* BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, pp. 107-108 ; et concernant la charge de l'urbarar de Bohême *cf.* ZYCHA (A.), *Das böhmische Bergrecht…*, pp. 48-56).

[57] LÉON (P.), Un document médiéval…, pp. 235-236.

Décrivant avec précision la manière de faire un châssis et de poser des étais, cette disposition du règlement montre que chaque habitant d'Allevard qui entreprend d'ouvrir une mine, doit être capable d'étayer et de conforter les ouvrages suivant l'usage. Ici, le mineur qui boise une mine n'est pas un artisan spécialisé, mais un technicien qui applique des directives. Par contre, dans la pratique, la confection de ces garnitures, leur efficacité, leur solidité et leur longévité, doivent relever d'un savoir-faire qui n'est mis qu'indirectement en valeur dans les articles destinés à réglementer l'organisation des travaux dont l'objectif est de répondre à un niveau de production et de rendement défini par l'autorité et les investisseurs (Braunstein 1990, p. 330).

Dans les statuts établis par Jean Dauvet pour l'exploitation des mines de Pampailly dans le Lyonnais en 1455, on observe la même surveillance des travaux de charpenterie de mine opérés ici par des mineurs appelés *« chappuys »* et *« appoyeurs »* de mine. Tous les soirs, un rapport des travaux réalisés dans la journée doit être dressé à l'attention du gouverneur[58]. L. Maggiori voit à travers les noms *chappuys* et *appoyeurs*, deux corps de métiers distincts : celui de charpentier, spécialisé dans l'équarissage des bois et la construction de certains équipements, et celui d'étayeur, spécialisé dans la mise en place des cadres et des soutènements (Maggiori 2001, p. 41). Pour notre part, il paraît plus juste de penser que le charpentier, spécialisé dans le trait et les assemblages, était aussi étayeur, mais qu'il pouvait être assisté de simples ouvriers poseurs ou manœuvres[59]. À ce titre, Pierre Granier chargé de la comptabilité du personnel de la mine de Pampailly et de Joux, dressée au milieu du XVe siècle, associe très souvent les mots *chappuy* et *appoyeur* pour préciser le métier de la personne employée :

> « A Vuelagand …ngar, alemant, chapuys de montaigne, pour ses gaiges, sallaire et despens de 6 moys entiers qu'il a euvré et besogné esdictes mynes pour chappuys et appoyeur de montaigne, aux gaiges de 70 livres… », « A Geaorges Jourdain, chappuys et appoieur de montaigne, affermé pour ung an […] »[60] etc.

---

[58] « [5°] *Item*, … et aussi comment ilz ordonnent les charpentiers, apoyeurs de mentaigne ; s'ilz // retiennent et cintrent bien et deuement les voiages, puiz et chambres des dicts mines, et que de tout ce qui sera fait, ouvré et besongné dedens les montaignes le jour, ilz en facent le rapport devers le soir audit gouverneur. », A.N. KK 329, « Journal du Procureur Dauvet », f°12 v° ; DAUVET (J.), *Les affaires de Jacques Cœur : journal du procureur Dauvet, procès-verbaux de séquestre et d'adjudication*, Paris, II, 1953, p. 347.

[59] En 1455, sur les huit maîtres mineurs employés, six sont qualifiés de *chapuis et appoyeur* (Benoît 1997, p. 37).

[60] A.N., KK 329, f°62 v° ; DAUVET (J.), *Les affaires de Jacques Cœur…*, *ibid.*. (*cf.* aussi les transcriptions dans Maggiori 2001, pp. 237-239).

Le nombre d'ouvriers boiseurs nécessaires pour équiper une chambre, une galerie ou puits, est certainement variable en fonction de l'importance du gisement et de la difficulté des travaux à opérer. Dans la description d'une exploitation argentifère « modèle »[61], réalisée par Pierre *Girardi*, maître des mines de Navarre, au milieu du XIVe siècle, dans une mine étayée par un fusteur, c'est-à-dire un charpentier, le minerai est abattu par quatre mineurs qui disposent de quatre manœuvres pour apporter les sacs jusqu'au treuil actionné par deux ouvriers. Après les maîtres affineurs qui reçoivent 18 sous par semaine, les mineurs et les « fusteurs » sont les mieux payés. Ils perçoivent respectivement de façon hebdomadaire 10 à 12 sous (Verna 1996, pp. 213-214). Les plus modestes salaires sont attribués aux simples manœuvres chargés du portage, du concassage et du tri (5 à 6 sous). Le montant de ces salaires prouve l'importance du travail des charpentiers de mine dont la qualité et l'efficacité sont valorisées par des gages tout aussi importants que ceux des « ouvriers de Martel ». La comptabilité du personnel des mines de Pampailly et de Joux, va dans ce sens. Elle indique que les *« chappuys »* perçoivent des *« gaiges »* proches de ceux des « ouvriers de martel »[62], voire bien plus élevés lorsque le charpentier cumule la fonction de *« maistres de montaigne »* (Benoît 1997, p. 37).

Cette constatation prouve que le métier de charpentier de mine nécessitait non seulement une bonne maîtrise des techniques de façonnage et débitage des bois, mais aussi une parfaite connaissance de la mine. Elle va ici dans le sens d'un métier spécialisé. Pourtant, dans certains cas, comme à Allevard, la charpenterie de mine relève d'ouvriers non spécialisés, surveillés, conseillés et contrôlés, par le maître des montagnes ou par un autre représentant de l'autorité.

[61] LEROY (B.), Théorie monétaire et extraction minière en Navarre vers 1340, *Revue de Numismatique*, 1972, pp. 115-116.

[62] A.N. KK 329, Registre des comptes de Pierre Granier (février 1455-février 1456), f°62 v° à f°64 ; DAUVET (J.), *Les affaires de Jacques Cœur…, ibid.*

II.1.3. Outillage et équipements

L'ensemble des textes réglementaires médiévaux est peu précis concernant l'outillage et les équipements en bois dont se servent les mineurs. Les informations se résument souvent à la mention du coût des matériaux nécessaires à la fabrication des outils et de l'équipement (bois, cuir, corde, feutre etc.) et plus rarement au coût des objets eux-mêmes. Par exemple, à Allevard, l'enquête de 1284 explique que pour calculer le montant de l'antivage, on retire du produit total extrait la part correspondant aux frais d'exploitation qui inclut les sacs à remonter le minerai, *« sacci ad extrahendum »*. Le terme *saccus* suggère plutôt l'utilisation de sac en toile grossière que de la vannerie ou du cuir.

Il faut attendre la fin du Moyen Âge pour bénéficier de renseignements plus détaillés, mais qui demeurent très vagues sur les précisions techniques propres au matériel mentionné. Les comptes d'exploitation des mines du lyonnais donnent un catalogue assez complet de l'outillage et des équipements en bois utilisés pour les différents postes de travail. À Pampailly, l'efficacité de l'exhaure, assurée en grande partie par écoulement gravitaire grâce au creusement de la galerie du Vernay, était aussi conditionnée par la création d'aménagements pour collecter les eaux provenant des travaux alentours et les canaliser vers les puits. Les comptes dénombrent de nombreuses gouttières en pin creusées directement dans le tronc d'un arbre appelées aussi *« eschenaux »*. À la reprise de l'exploitation, au moment où la galerie d'exhaure n'avait pas encore été creusée, les gouttières représentaient une part importante des dépenses en bois (Benoît 1997, pp. 41-42). Les produits abattus étaient récupérés à l'aide d'une houe dans des récipients en bois et en vannerie nommés *« basnes »*. Leur contenu était versé à la base des treuils dans une *« seilhe »*, ou seau, ou dans le *« barral »*. La taille et la forme de ces récipients ne sont pas précisées, mais leurs prix indiquent que le *barral* possédait une capacité bien plus importante et qu'il était renforcé par une armature métallique. La *seilhe* et le *barral* étaient indifféremment utilisés pour le transport de l'eau et des matériaux. Un ouvrier, le *bannier*, était spécialisé dans leur fabrication et leur entretien (Benoît 1997, pp. 37-38).

Pour finir, proposant des projets de reprise des mines du Hartz, inondées et dangereuses depuis 1360, une série de contrats établis par des ingénieurs associés à des hommes d'affaires durant la première moitié du XVe siècle mentionnent la possibilité de recours à des machines

innovantes : chaîne sans fin et grande roue pour l'épuisement de l'eau (Braunstein 2003, p. 47). Les textes ne disent pas si ce projet a abouti. Les règlements et les autres textes à vocation réglementaire médiévaux n'évoquent jamais l'usage de machines complexes en bois, notamment pour l'exhaure. Il faut se référer alors aux traités miniers de la Renaissance exclus volontairement de notre réflexion pour les mêmes raisons expliquées.

Il convient maintenant de se demander comment les mineurs s'approvisionnent-ils en bois ? Est-il prélevé dans des forêts auxquelles est rattachée physiquement une concession minière ou dans des espaces précisément délimités, voués à la mine ? Cette problématique abordée *supra* depuis l'angle de vue du bois de feu, est maintenant traitée en regard de la production du bois de construction et d'équipement.

II.1.4. Droits d'usage de la forêt pour les boisages et les équipements miniers

De façon générale, les textes sont relativement imprécis concernant les modalités d'exploitation des bois pour la mine (étayage, équipements), alors qu'à partir du XIIIe siècle et surtout au XIVe siècle, la réglementation des droits d'usage forestiers, sans jamais directement concerner l'activité d'extraction, se développe. Suivant certains auteurs, elle va de pair avec la prise de conscience des autorités publiques d'une nécessaire politique à long terme de gestion des forêts faisant entorse au principe de liberté qui régissait l'exploitation des ressources minières et forestières dans l'ensemble des Alpes (Duby 1962 ; Braunstein 2003, p. 181). Or, nous l'avons déjà démontré, ce « principe de liberté » est à nuancer, notamment dans les régions vouées à l'industrie minière, puisqu'il peut cacher une réalité plus complexe basée sur la gestion raisonnée de biens communs par les communautés et les artisans. Qu'en est-il pour bois de charpenterie de mine ?

L'antivage

L'enquête ouverte en 1284 à Allevard est un des rares textes à apporter des lueurs concernant les droits d'usage de la forêt pour l'étayage et le boisage des fosses. Elle

mentionne une taxe due au seigneur éminent, et dans ce cas précis au dauphin, nommée « antivage »[63]. Tout d'abord, d'après certains auteurs[64], le nom de cette taxe est le nom même porté par les boisements qui étayaient les puits et les galeries de mine et dont les frais incombent, comme par ailleurs, au propriétaire de la mine ou possesseur de la mine ou plutôt du « puits » en tant que concession (Sclafert 1926a, p. 185 ; 1926b, pp. 262-264 ; Braunstein 1996, p. 47 ; 2003, p. 185). Pour notre part, tel qu'il est employé dans le règlement 1395, ce terme désigne aussi une mine ou une portion de mine boisée, constituant une concession.

Cette redevance était proportionnelle à la production. Toutes les dépenses qui avaient été nécessaires à l'extraction, incluant les fournitures (chandelles, aiguisage des outils et sacs) et le salaire des ouvriers, étaient précisément calculées. Une quantité de minerai équivalant au montant de ces frais généraux était prélevée par l'exploitant débiteur et le reste de la production était divisé en quatre parts égales. Les trois quarts étaient distribués « au mineur », ou plutôt au possesseur de la galerie ou « exploitant », qui à son tour partageait le bénéfice avec ses associés (ou pariers), et le dernier quart était prélevé par le seigneur (Sclafert 1926b, p. 263). Comme en rappel au libre droit d'exploitation d'une mine ou d'une portion de mine qui a fait l'objet de boisage, en respectant l'usage, c'est précisément ce dernier quart qui portait le nom d'antivage. En retour de ce prélèvement, le seigneur doit garantir à l'exploitant tout le bois nécessaire à l'étayage des travaux. Les mineurs peuvent choisir n'importe quel bois à l'exception des arbres portant des fruits ou qui fructifient :

> « […] *pro quo Antivagio, dominus, qui illud accipit, debet eis minatoribus manutenere nemus ad muniendum foveam, ubicumque nemus valeat reperire, salvis arboribus fructiferis.* » (Sclafert 1926b, p. 262 ; transcription reprise dans Du Cange 1954, p. 304).

De cette manière, le seigneur fait valoir son droit éminent sur la mine tout en garantissant un droit d'usage des forêts aux mineurs. Cette taxe pouvait en partie défrayer le seigneur des ponctions de bois réalisées dans les forêts de son domaine (notamment les bois noirs), mais surtout elle lui permettait de participer aux bénéfices de l'entreprise. Le dauphin exige sa perception sur tous les territoires où s'exerce sa souveraineté. On est donc en droit de supposer qu'il pouvait en être de même pour les mines de la Haute-Durance, au moins à partir de cette date. Au XVe siècle, et dès avant, d'autres seigneurs ont cherché à en revendiquer la

[63] LÉON (P.), Un document médiéval…, p. 231.

[64] CHABRAND (E.), *Histoire de la métallurgie du fer et de l'acier en Dauphiné et en Savoie*, collection « Bibliothèque scientifique du Dauphiné », Grenoble, 1898, p. 22.

perception sur les terres delphinales et sur leurs propres terres, mais le dauphin, en vertu de son droit régalien, s'y est opposé, mais pas toujours avec succès (Sclafert 1926b, pp. 268-269 ; Braunstein 2003, p. 185).

La question de l'antivage est fort intéressante car elle reflète le lien étroit qui existe entre l'extraction minière et l'usage des bois, qui relèvent tous deux de la gestion collective de biens communs. Le dauphin se comporte ici en prédateur en revendiquant une forte redevance sous couvert d'un droit d'accès illimité aux forêts déjà acquis en principe par les mineurs en vertu des droits d'usage. Il faut rappeler que le mandement d'Allevard, acheté à Guigues de la Rochette, est une possession delphinale seulement depuis une vingtaine d'année (1263) (Letonnelier 1957, p. 140). Mais, sans que l'on puisse donner de date précise, le montant de l'antivage chute d'un quart à un vingtième des bénéfices. Cet état de fait est enregistré dans la reconnaissance de 1315 passée entre le dauphin et les nobles représentants de l'université d'Allevard[65]. Ce nouveau montant de l'antivage correspond exactement au montant de la taxe perçue par le dauphin à l'Argentière en 1250 sur la production métallique. Il faut en déduire que le montant de l'antivage, tel qu'il a été fixé par écrit dans l'enquête de 1284, est une formalisation de l'administration delphinale visant à augmenter et valoriser la part seigneuriale perçue sur les bénéfices miniers. Mais, ayant l'habitude d'exploiter les forêts passées dans le domaine du seigneur, les mineurs n'auraient pas accepté une telle transaction. En 1315, l'antivage devient une « simple » reconnaissance du droit seigneurial, d'essence régalienne, sur la production minière (Belhoste 1981, p. 44).

Il n'est pas maladroit de comparer le montant de la taxe perçue par le dauphin à l'Argentière en 1250, où l'on produit des métaux précieux, avec celui de l'antivage perçu à Allevard, au moins à partir de 1315, où l'on produit du fer. En effet, tous ces métaux sont considérés au même titre pour la reconnaissance du droit régalien sur les mines, du moins dans les territoires d'Empire (Hesse 1975, p. 9). La variabilité des taux des taxes perçues sur l'activité minière par le seigneur éminent est due à l'histoire locale, aux conditions de l'exploitation, à sa rentabilité, aux besoins du seigneur, et aux rapports de force noués entre les communautés, les mineurs et les seigneurs.

L'antivage est devenu un droit seigneurial, mais son lien originel avec l'octroi du droit d'usage presque illimité des bois pour la mine n'aurait pas été complètement perdu. En effet, au début du XVIe siècle, la communauté d'Allevard affirmait détenir ce droit sur les terres qui

[65] A.D.I. B 3918, extraits transcrits *in* Sclafert 1926b.

lui appartenaient : « […] la communauté du dit mandement d'Allevard, prand et perçoit le dict droict d'antivage sur les peys et pièces de bois commungs pourveu que ausdictz fondz […] » (Sclafert 1926b, p. 269). L'antivage serait perçu par la communauté d'Allevard en contrepartie de prélèvements opérés dans les communaux. En vertu de son droit de propriété, il est revendiqué par la communauté qui gère de façon autonome ses propres ressources.

Les documents de la région industrielle d'Allevard pointent l'attachement opiniâtre des communautés montagnardes à leur droit immuable d'appropriation des ressources naturelles ; non seulement les pâturages, les eaux et les forêts, mais aussi les minerais « au nom d'une très ancienne responsabilité collective face à un milieu naturel âpre ou hostile » (Braunstein 2003, p. 187). Ce combat a amené cinquante communes rurales du Briançonnais à racheter au dauphin en 1343 tous les droits du sol devenant seules maîtresses de la gestion des eaux, des pâturages et des forêts[66]. Cette autonomie des communautés briançonnaises a conduit les habitants du Monétier à faire abroger dans leur territoire la concession passée en 1446 par Louis XI à Hugues Baile d'un droit de recherche et d'exploitation des ressources minières qui était étendu aux châtellenies de Cézanne, Exilles et Briançon. En effet, le concessionnaire a dirigé ses recherches dans la vallée de la Guisane où il n'a pas tardé à extraire du minerai de fer. Or, la communauté a fait valoir ses droits acquis en 1343 et a revendiqué la découverte des gisements situés au-dessous des pâturages communaux. De la sorte, elle obtint en 1447 le droit de reprendre l'albergement des mines, aux conditions qui avaient été faites à Hugues Baile (Sclafert 1926a, pp. 130 et suiv., pp. 617-619 ; Braunstein 2003, p. 188). Les sources conservées ne disent pas si l'activité a été rentable.

Des privilèges miniers pour garantir l'approvisionnement en bois

Les règlements serbo-ottomans ne précisent pas si les mineurs bénéficiaient ou non d'un droit d'usage particulier, gratuit et illimité, ou codifié, dans les bois communaux, privés et royaux. De plus, pour ce cas, nous ne savons pas si les mineurs prélevaient eux-mêmes les bois dans les forêts situées aux abords plus ou moins directs des mines ou s'ils avaient recours

[66] RIBOIS (M. de), *La grande charte des libertés briançonnaises, 29 mai 1343*, trad. et résumé de RIBOIS (M. de), Éd. Ophrys, 1962, p. 10.

à des marchands de bois et/ou à des bûcherons exploitant des forêts réservées ou non à l'industrie minière.

Le corpus d'Ardesio qui contient les plus anciens textes auxquels nous avons pu avoir recours, révèle que la concession d'une mine ou de plusieurs mines est toujours associée à des droits d'usage sur d'autres ressources essentielles au fonctionnement de l'activité minière. Lorsqu'en 1077, *Otta*, veuve d'Albert de *Martinengo*, vend à *Landolfo* de Milan, *presbyter et camerarius abitator in civitate Bergamo*, les mines de la vallée d'Ardesio, c'est avec *omni utilitate earum*[67]. Cette formule qui se retrouve dans de nombreux actes plus tardifs[68] suppose un droit d'usage des bois, des eaux et des chemins. À la Villa di Chiesa, tous les habitants possèdent des droits immémoriaux sur les *« montagne, boschi, valle et acque* […], *salti et confine »* de la commune[69]. Les mineurs, eux, bénéficient de privilèges particuliers puisqu'ils ont le droit de couper le bois destiné au boisage et à l'étayage des fosses, mais aussi le bois de chauffe, dans les « bois » et les *« salti »* royaux. Les bois réservés à l'extraction sont protégés par une disposition du statut qui y interdit le charbonnage[70]. De la même manière, il est interdit d'y acheter le bois dans l'intention de le revendre[71]. À Ardesio, l'évêque a spécialement réservé un bois pour l'extraction de l'argent. Ce fait est établi dans la transaction passée le 31 octobre 1179 avec le représentant de la commune et des hommes de la vallée d'Ardesio où sont rappelés tous les droits d'usage des habitants de la vallée[72]. À Iglau en

---

[67] BARACHETTI (G.) (a cura di), Possidimenti del vescovo di Bergamo nella valle di Ardesio, Documenti dei secc. XI-XV, *Bergomum*, (fasc. I-III), anno LXXIII, Bergame, 1980, p. 3, 31 décembre 1077.

[68] À titre d'exemple : acte daté de 1345 concernant les mines d'argent et de fer lombardes de la Valtorta appartenant à l'archevêque de Milan : *«* […] *cum omnibus utilitatibus aque et buschi et pascui… » «* […] *et cum omni ussu et utilitate aquae et buschi et pascui… »* (Bognetti 1926, pp. 281-308).

[69] *Breve* sarde, 114a, 5-32 ; 134b, 38-42.

[70] MARCHESE (E.), Nota sopra alcuni vocaboli contenuti nel Breve di Villa di Chiesa, *Monumenta Historiae Patriae*, T. XVII, *Codex Diplomaticus Ecclesiensis, Augustae Taurinorum*, 1877, libro II, art. XVIII.

[71] MARCHESE (E.), Nota sopra alcuni vocaboli…, libro II, art. LXXI.

[72] BARACHETTI (G.), Possidimenti del vescovo di Bergamo…, VI, 31 octobre 1179, *«* […] *totum comune et forestum de Ardesio et vallis, ita ut ipsum comune de Ardesio et vallis habeant ex inde virtutem et potestatem vendendi et donandi, vel aliter alienandi cuicumque voluerint, nisi sit civis, et facere de ipso comuni et foresto quidquid ei utile fuerit, sine omni qui supra domni Guale ipsi suorumque succesorum et Oberti contradictione, salvo iure quod habet episcopatus in montibus per alpegare per consueta tempora, silicet in monte Soccho et in Votala et in Piagro et in valle de Ascereto, excepto busco Campilii, quod servari debet at venam argenti, ad laborem vero ferri incidi non debet nisi ex concordia domini episcopi qui nunc est vel pro tempore fuerit et vicinorum de Ardesio et vallis ; ad alios vero suos usus uti debet predictum comune de Ardesio et vallis et divisum de ipso busco, sicut consuevit. ».*

Moravie, un jugement de 1349, basé sur le code minier d'Iglau[73], établit que le seigneur doit donner aux *Montani*, le bois nécessaire pour conforter « *foveis et stollonibus* »[74].

Dans les districts de Vicence et de Belluno en Vénétie au XVe siècle, les premières concessions minières accordées à des Allemands, arrivés avec leurs équipes, leurs techniques, et leur code du travail, sont accompagnées de droits d'usage sur les forêts[75], sur les champs et les eaux, qui seraient une signature de la législation germanique[76] (Braunstein 1965, p. 552). Les concessionnaires peuvent exploiter librement les bois communaux pour le boisement de la mine, la construction et l'aménagement des aires de travail et des ateliers, mais dans le cas où ils seraient affermés, ils doivent verser une taxe. De surcroît, les mineurs peuvent faire paître des troupeaux, capter et dévier les sources et les cours d'eau et construire les voies d'accès nécessaires pour le fonctionnement de la mine à la seule condition qu'ils ne portent préjudice à personne. On retrouve à peu près les mêmes dispositions dans les *Jus Regale Montanorum*[77]. De la même manière, le statut minier de 1488 (article 31) prévoie l'utilisation des zones boisées par les concessionnaires ou par des tiers, et fixe l'étendue des coupes de bois de façon à assurer à la mine et aux ateliers métallurgiques leur approvisionnement en combustible et en bois d'étayage tout en limitant les effets de la spéculation (Braunstein 1965, pp. 564-565).

La revue documentaire à laquelle nous venons de nous livrer souligne l'attachement des seigneurs et des princes à leurs prérogatives banales et régaliennes sur les ressources minières – sources indéniables de revenus et de prestige – et leur souci d'assurer les rendements et la

---

[73] ZYCHA (A.), *Das böhmische Bergrecht…*, pp. 1-39.

[74] TOMASCHEK, *Das alte Bergrecht von Iglau und seine bergrechtlichen Schöffensprüche*, Innsbruck, 1897, 83, pp. 45-46, *« Utrum montani apud prefatum dominum ligna pro cultura montium debeant suis denariis comparare an non, super quo respondemus, quod non, qui omnia ligna, de quibus indigent in foveis et stollonibus subtus terram indigent seu indiguerint et ad cauwas, ipse dominus tenebitur eis ministrare.»* ; ZYCHA (A.), *Das böhmische Bergrecht…*, 333, n°26 (3).

[75] Voir à titre d'exemple Braunstein 1965, pp. 592 et suiv., « Regestes et documents concernant la mine d'Auronzo et les entreprises de Pasqualino », n°2 et document II (privilège minier accordé à Giovanni Pasqualigo le 12 octobre 1467 : « […] *Item possit idem s. Joannis Pasqualigo edifacari facere domos tam pro habitatione sua et laboratorum quam carbonibus et fusinis prope aquas ac flumina et canalia in territoriis nostris in locis eis aptis et comodis ad libitum suum pro exercicio et opere suo ; possit etiam incidere et accipere ligna pro pontibus et domibus et fusinis construendis et tenendis ac pro carbonibus et usu et necessitatibus suis de nemoribus nostris et comunium ; possit etiam facere pontes et stratas juxta eius et laboratorum necessitates ;* […] ».

[76] Les privilèges miniers de Schwaz accordent une totale liberté pour l'approvisionnement en bois de la mine, *cf.* WORMS (S.), *Schwazer Bergbau im 15. Jahrhundert*, Vienne, 1904. En 1460, l'empereur Sigismond a promulgué un code du bois dans l'intérêt des mineurs, *cf.* WORMS (S.), *Schwazer…*, document n°11.

[77] *Cf.* ZYCHA (A.), *Das böhmische Bergrecht…*, *Jus Regale Montanorum*, livre II, chap. 3, § 1 (un exemple parmi d'autres).

pérennité de l'entreprise minière par la promulgation de règlements et l'octroi de droits et de privilèges. L'accès libre aux boisements communs, royaux ou seigneuriaux, pour équiper et conforter les ouvrages miniers fait partie des principaux privilèges accordés aux mineurs. Tous les princes et les seigneurs ont veillé à garantir cet approvisionnement et cela depuis au moins le XIe siècle, période d'épanouissement de l'activité minière dans tout l'Occident. Quelques documents indiquent l'existence de quartiers spécialisés pour l'approvisionnement de la mine où les droits des communautés et des autres artisans du feu sont réglementés. Contrairement au bois de feu pour l'abattage, le bois destiné à garnir et étayer les fosses fait plus spécifiquement l'objet de privilèges accordés par les seigneurs ou les princes aux mineurs. Cette constatation pose le problème d'une différenciation possible des modalités de gestion forestière et des chaînes opératoires techniques pour la production du combustible et du bois de construction.

- . -

La documentation rassemblée ne passe pas sous silence la question du bois, mais laisse le plus souvent dans l'obscurité les aspects techniques liés à son abattage, son façonnage ou encore à sa mise en œuvre. Ce type de sources exclut la mention d'informations pratiques comme le choix des essences, la période d'abattage des bois ou leur hygrométrie avant la pose en souterrain. Rien ne permet de caractériser sa chaîne opératoire technique, depuis son approvisionnement en forêt jusqu'à sa pose. La variabilité des modes et des techniques de boisage élaborées et utilisées par les ouvriers boiseurs, spécialistes ou non, dont la maîtrise est fondamentale dans les mines profondes sujettes à de nombreux dangers, est comme figée dans une série de prescriptions. Il s'agit principalement d'assurer le bon déroulement des travaux souterrains en stipulant la tâche de chacun et en prévenant les dangers et les malfaçons par une réglementation parfois rigoureuse du travail des charpentiers.

Notre problématique nous porte vers la documentation figurée qui traduit de façon artistique des scènes de genre avec leur répertoire d'outils, de personnages et de gestes. Elle mérite néanmoins un regard critique et des précautions pour ne pas établir de liens directs entre la vision du peintre, du graveur ou de l'enlumineur, guidée par son projet artistique et son imagination, et la réalité du travail. En effet, il n'est pas certain que tous les artistes aient pris la peine de se familiariser avec le souterrain. Pourtant, la connaissance de ce milieu,

difficile d'accès dans tous les sens du terme, nécessite un minimum de fréquentations, d'habitudes, et une familiarisation avec la gîtologie pour comprendre les modalités du travail.

II.2. LE BOIS, SON TRAVAIL ET SA MISE EN ŒUVRE DANS L'ICONOGRAPHIE MINIÈRE DE LA FIN DU MOYEN ÂGE ET DE LA RENAISSANCE (1470-1550)

Ce chapitre n'a pas pour objectif d'être parfaitement exhaustif car l'énumération et la description détaillées de toutes les images minières datées de cette période seraient trop longues et laborieuses. La collation de toutes les images minières n'étant pas encore parfaitement réalisée, particulièrement pour la phase chronologique choisie pour ce chapitre, cette étude pourrait presque constituer un travail de recherche en lui-même. La comparaison du riche corpus iconographique d'Europe centrale de la fin du Moyen Âge et de la Renaissance avec la documentation écrite serait d'ailleurs certainement très enrichissante. Ici, à partir d'une palette d'exemples représentatifs de la production artistique réalisée avant le *De re Metallica* de G. Agricola (1556), nous nous sommes contentée d'analyser les images les mieux documentées pour caractériser les usages du bois, sa mise en œuvre et sa place dans la mine, et quand cela est possible la posture et le geste de l'artisan.

La limite chronologique imposée à ce chapitre a été choisie de façon à ne pas assimiler la phase de recherches, d'expérimentations et d'innovations technologiques, caractéristique de la fin de la Renaissance dans la « province minière germanique », avec la longue phase de mûrissement médiévale. Elle est en partie traduite par l'iconographie de la fin du Moyen Âge et des premiers temps de la Renaissance par la représentation de techniques en vigueur et établies, plutôt que de machineries innovantes (Bailly-Maître, Benoît 1998, p. 19). À ce titre, de nombreux dispositifs d'aérage décrits dans le *De re Metallica* n'ont encore jamais été attestés par les recherches archéologiques conduites dans les mines vosgiennes exploitées au moment de la rédaction du traité et de son édition. Les mineurs ont eu recours de façon presque générale à la technique du « faux-plafond » qui n'a jamais été décrite par G. Agricola (Maggiori 2001, pp. 13-14).

II.2.1. Équipements, objets et étayage

Le document le plus régulièrement utilisée pour mettre une image sur le monde minier médiéval est la grande miniature du graduel ultraquiste de Kutna-Hora, peint par maître Mathis vers 1490 (Braunstein 2003, 486-488 ; Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994), qui a déjà été souvent commenté dans la littérature minière contemporaine (Husa *et al.* 1967 (ill. 141) ; Heilfurth 1981, p. 127 ; Benoît 1982 ; Wilsdorf 1987, p. 174 ; Ancel 1990a) (*cf.* fig. n°14, p. 730). Cette œuvre a été réalisée presque deux cents ans après la promulgation des *Jus Regale Montanorum* qui font preuve d'une organisation rationnelle de l'espace et du travail. Or, cela ne paraît pas exactement le cas dans la mine représentée par maître Mathis où dominent les ouvrages exigus, labyrinthiques et une architecture frustre (Ancel 1990a). Cela permet de signaler un décalage probable entre la rationalité des sources réglementaires et la réalité plus complexe du terrain, intimement liée à la géologie du gîte.

L'écorché des profondeurs de la terre qui occupe le tiers inférieur de la miniature est dominé par la masse rocheuse, nue, percée de trous, où s'affaire au total un peu moins d'une quarantaine d'ouvriers. On y reconnaît les simples manœuvres chargés du treuillage, du traînage et du portage des matériaux extraits transportés dans des auges, des sacs et de grands cuveaux (en osier ?). Les ouvriers de martel sont au nombre de sept, six d'entre eux travaillent à la pointerolle et un seul utilise une masse et des coins. L'artiste n'a apparemment pas choisi de mettre l'accent sur la sécurité et le boisage. De même, il n'a pas représenté de charpentier au travail alors que son rôle paraît primordial pour le bon fonctionnement d'une exploitation dans les *Jus Regale Montanorum.* Mais, il n'est pas totalement exclu que le gîte qui a nourri son inspiration était exploité dans des roches dures et saines ne nécessitant pas ou peu l'installation de boisage. Dans ce cas précis, il est assez étonnant de ne pas trouver représentés des feux d'abattage[78]. En effet, la technique d'abattage par percussion posée est souvent associée à l'abattage par le feu dans les roches dures à cette période (Ancel, Py 2008).

[78] Concernant l'abattage par le feu dans l'iconographie minière, voir la partie IV, pp. 1045 et suiv.

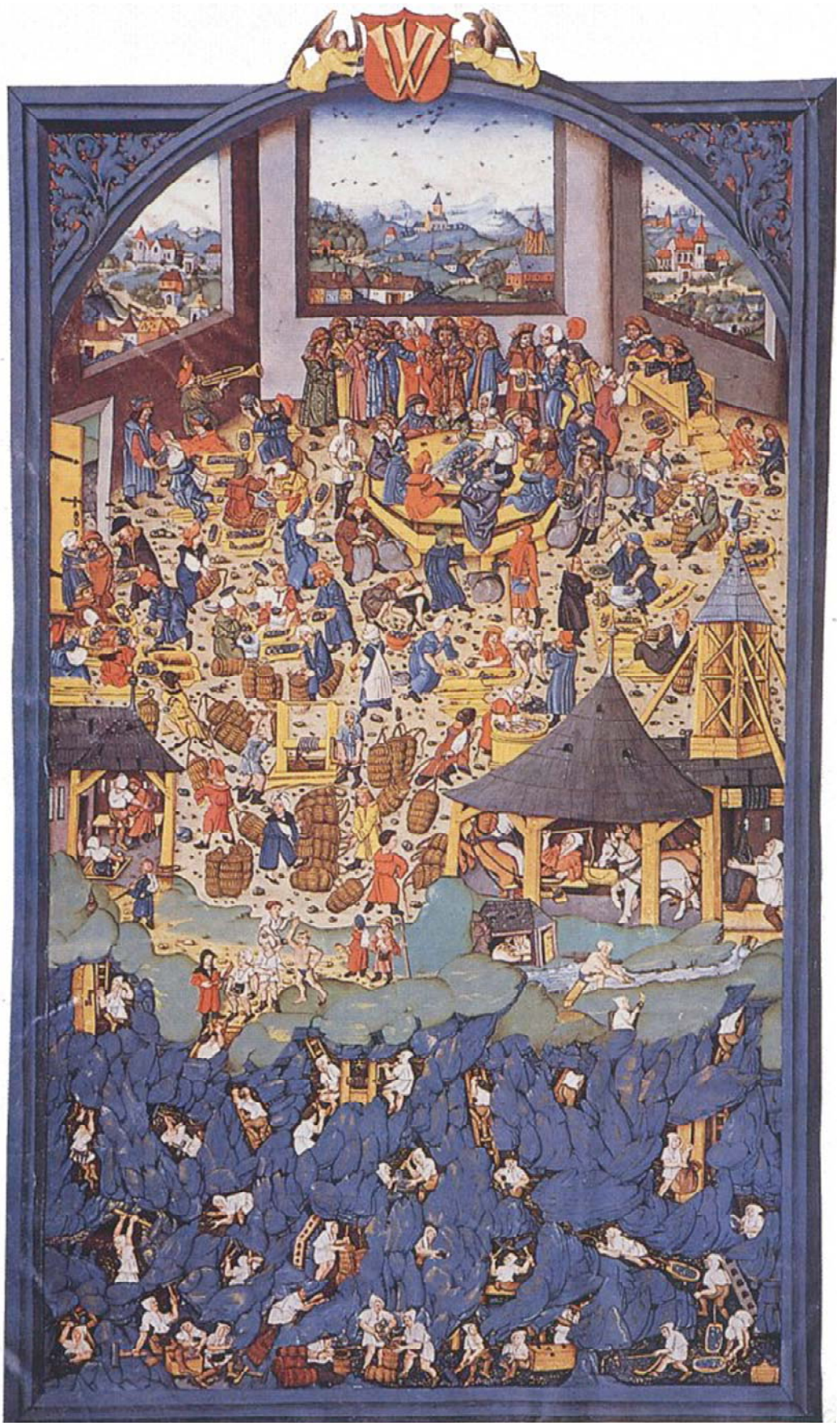


Fig. n°14 : Scènes minières peintes par maître Mathis sur la page de garde du graduel de Kutna-Hora, 1490 (conservé au musée national de Vienne).

Les mineurs progressent depuis des puits ouverts au jour et accèdent par des foncées et des cheminements obliques et horizontaux à de petits chantiers qui épousent la forme du filon attaqué. Situé en bas en partant de la droite, seul le deuxième chantier, où travaillent un groupe de trois mineurs, est étayé par des poteaux installés verticalement pour soutenir le plafond et des étais transversaux destinés à renforcer deux parois d'une zone minéralisée curée sub-verticale. Toutes les cavités sont aménagées avec des équipements en bois qui servent à la circulation des hommes et des matériaux : échelles à barreaux et monoxyles, planche pour s'asseoir, treuils actionnés manuellement ou par un manège à chevaux, glissière (?). On peut noter que les équipements d'accès vertical sont de deux types : échelles à barreaux et bois monoxyles entaillés appelés dans le langage minier germanique « *Kletterbaüme* ». Le *Kletterbaum* est généralement réalisé à partir d'une grume ébranchée, pas toujours écorcée, et plus rarement à partir d'une grume équarrie. Des entailles en forme de V, dont l'une des branches est plus courte et perpendiculaire au « fil du bois », sont pratiquées sur le même côté dans la longueur de la grume, à intervalles réguliers, de façon à servir de point d'appui pour les pieds. Le *Kletterbaum* est installé incliné contre la paroi rocheuse. La partie aboutée est encastrée solidement dans le sol. Sa position peut être maintenue solidement avec l'installation de coins en bois (Maggiori 2001, p. 62). Les trois *Kletterbaüme* dessinés par maître Mathis présentent une forme intermédiaire entre l'échelle à barreaux et le *Kletterbaum* « classique » confectionné à partir d'une seule pièce de bois. Sa morphologie se rapproche, au moins dans un cas, de celle d'un épais plateau dans lequel ont été évidées des entailles en demi-cercle ou en triangles avec les angles arrondis. Un exemplaire archéologique très proche des dessins de maître Mathis a été retrouvé dans les mines de Kutna-Hora. Il signale un souci de l'artiste de représenter avec justesse certains aspects techniques des équipements mis en œuvre dans la mine. Cette forme intermédiaire entre l'échelle et le *Kletterbaum* présente trois avantages : elle permet à l'ouvrier de coincer ses pieds plus fermement dans la marche et de trouver une meilleure stabilité – les entailles de certains *Kletterbaüme* permettent d'insérer seulement la pointe du pied – et elle nécessite une exécution simple, contrairement à l'échelle, tout en étant moins fragile. Les modèles d'échelles représentés par maître Mathis paraissent des assemblages par tenon et mortaise de montants équarris et de barreaux car elles n'ont pas de ligatures apparentes.

Des objets et des outils en bois accompagnent le mineur dans son travail : auges, coffres, manches d'outils, cuveau (?). Les auges servent à ramasser le minerai et les déblais sur le front de taille à l'aide d'une houe pour les transporter jusque vers la base d'un puits et

les déverser dans des plus grands contenants qui sont ici des cuveaux et des sacs évacués par treuillage. Elles ont la forme typique des auges représentées dans l'iconographie minière germanique de la Renaissance : pièce en bois quadrangulaire à ovalaire, oblongue, arrondie à ses quatre côtés, creusée sur une face pour former une cuvette de même forme, et légèrement bombée du côté de la face traînée à terre pour faciliter le glissage.

Les cuveaux paraissent réalisés en osier[79] et non pas en bois. Cette interprétation est confirmée par la représentation de scènes minières peintes par maître Valentin Noha dans l'antiphonaire enluminé de Kutna-Hora, moins célèbre que le graduel, et pourtant daté de 1471[80] (fig. n°16, p. 733). Un mineur remplit de minerai des sortes de grands cuveaux en osier. Les brins tressés, bien visibles, sont aménagés de façon horizontale tandis que dans le graduel, ils le sont de façon verticale, ce qui pourrait prêter à confusion. Le minerai d'abord stocké dans le cuveau est transporté par la suite grâce à des brouettes dans des aires de stockage couvertes par des abris en bois. L'usage de cet outil ergonomique pour le transport des matériaux paraît ici réservé à la surface. On le trouve aussi représenté dans la célèbre gravure sur bois de la première page du tout premier livre connu sur l'art des mines, le « Bergbüchlein » d'Ulrich Rulein von Kalbe[81] édité en 1505. Dans les scènes minières du retable de Sainte-Anne d'Annaberg (Saxe) (*cf.* fig. n°15, p. 732) peint par un artiste saxon réputé, Hans Hesse, daté de 1521, un brouetteur sort d'une galerie et déverse

Fig. n°15 : Retable de l'église Sainte-Anne d'Annaberge, 1521 (reproduction d'après Braunstein 2003, v°couverture). À gauche, panneau central du retable, à droite, détail de la voie de roulage du panneau de gauche.

[79] Un des vitraux de la cathédrale de Fribourg (1350) montre un panier en osier tracté par une corde guidée par un mineur le long d'un puits cuvelé de planches (Bailly-Maître 2002, p. 111, fig. 72).

[80] http://cantica.kh.cz/grad/antifonar_en.htm

[81] http://fonds-ancien.ensmp.fr/Ouvrages_rem/Bergbuchlein/livre/Pages_livre/page_berg_01.html

son chargement à l'extrémité d'une halde (Heilfurth 1981, p. 38 ; Ancel 1990a, pp. 23-24 ; Braunstein 2003, v° couverture). Dans ce cas, le transport par brouettes est manifestement associé au roulage : on peut voir un mineur pénétrer dans une galerie avec un chariot qu'il tire avec une corde. L'usage de la brouette en souterrain a pu se faire dans les gîtes qui se prêtaient à la création de longues galeries d'exploitation horizontales.

Fig. n°16 : Scènes minières peintes par maître Valentin, page de titre de l'antiphonaire de Kutna-Hora, 1490 (conservé à la Bibliothèque Nationale de Prague).

Fig. n°17 : Ouvriers de martel au travail, détail de la page de titre enluminée de l'antiphonaire de Kutna-Hora.

À l'extrémité droite de la page de garde du graduel de Kutna-Hora, on peut apercevoir une sorte de cuveau en bois ou un tonneau dont les douelles et le cerclage sont bien visibles. Dans la deuxième cavité située en bas à droite, on note qu'un mineur est occupé à remplir une caisse en bois avec du minerai qui pourrait s'apparenter à un chariot appelé aussi « chien de mine » dans les traités de la fin de la Renaissance. Or, on ne trouve pourtant pas représentée de voie de roulage alors que son usage est parfaitement maîtrisé à cette époque (Ancel 1990a, p. 22). Il se pourrait que l'artiste ait cherché à faire valoir la volonté des exploitants à privilégier l'accès direct au filon, au détriment d'une recherche élaborée dans l'organisation spatiale des galeries et des puits, ou tout simplement que la géométrie du gîte qui l'a inspiré ne se prêtait pas à un cheminement horizontal important ne nécessitant pas la création de voie de roulage (Ancel 1990a, p. 22). La première illustration connue d'une voie de roulage date de 1513. Elle se trouve représentée en arrière-plan du tableau de l'église de Roznava en Slovaquie, représentant la Vierge et l'Enfant Jésus avec sainte Anne (*cf.* fig. n°22, p. 740). Elle débouche à ciel ouvert d'une galerie étroite et boisée (Heilfurth 1981, p. 203 ; Ancel 1990a, p. 22). La caisse ouverte représentée dans les travaux souterrains du graduel de Kutna-Hora sert au transport du minerai : un mineur est en train d'y entreposer des blocs. Son déplacement devait être malaisé. Mais, elle pouvait être transportée par traînage, depuis le lieu

d'extraction jusqu'au puits le plus proche. On ne peut malheureusement pas vérifier si elle est équipée de patins, nécessaires pour assurer le glissage.

II.2.2. Les aménagements de surface et de sub-surface

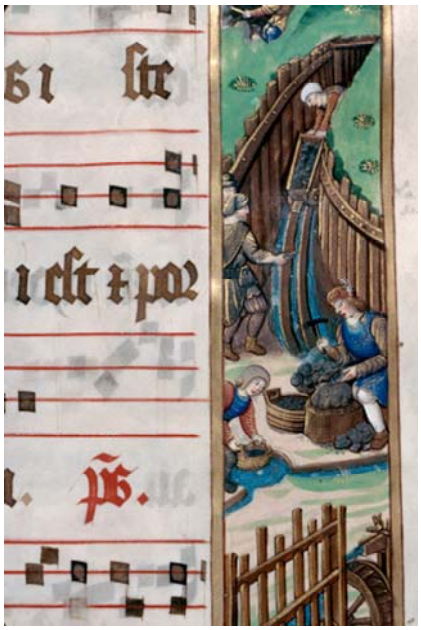


Fig. n°18 : Détail du porche boisé représenté en bas à gauche de la page aux scènes minières du Graduel de Saint-Dié.

Le graduel enluminé du chapitre de l'Insigne Église collégiale[82] de Saint-Dié (Vosges), dont la réalisation est datée de 1514, contient une page décorée de scènes minières (f°338r) où est représenté un des plus célèbres porches boisés de l'iconographie de la Renaissance qui prolonge une galerie étroite et basse, entièrement garnie de bois et équipée d'une voie de roulage (fig. n°18, p. 735). Juste sur le carreau de la mine, un mineur concasse du minerai contenu dans un baquet en bois muni d'anses.

Les parois du porche sont maintenues par une série de poteaux verticaux – apparemment des demi-billes ou des dosses épaisses prélevées dans un jeune tronc plutôt que des planches – de longueur irrégulière. Un montant horizontal, cloué ou chevillé dans chaque poteau, court sur toute la longueur du porche à la hauteur du montant transversal (ou chapeau) du cadre de la galerie, pour assurer leur cohésion et leur mise en tension.

Fig. n°19 : Détail du porche boisé représenté en haut à droite de la page aux scènes minières du Graduel de Saint-Dié, 1514, conservé à la bibliothèque municipale de Saint-Dié (ms 74).

Le même porche est représenté en bas à gauche du folio (fig. n°19, p. 735). L'entrée de la galerie, mieux visible, est pourvue d'un cadre en bois. Le dessin des pièces suggère un assemblage des montants par tenon et mortaise ; les mortaises étant

[82] Le graduel entièrement numérisé est accessible librement sur le site arkhenum : www.arkhenum.fr/bm_saint_die (*cf.* f°338r pour les scènes minières).

aménagées aux deux extrémités du montant transversal et les tenons taillés à l'extrémité des deux montants verticaux. Par contre, il est impossible de déterminer la forme de la mortaise et du tenon. Ces images sont en contradiction avec la représentation « classique » des cadres de soutènement dans l'iconographie des trois premières décades du XVIe siècle où les montants et le chapeau sont généralement assemblés par la technique de l'entaille simple et de la double entaille. Cet assemblage est visible dans deux entrées de mine du retable de l'église Sainte-Anne d'Annaberg, où elles sont cuvelées avec des planches de dosses (*cf.* fig. n°15, p. 732), et dans l'entrée de la Rouge Myne de Sainct Nicolas représentée dans le recueil de dessins d'Heinrich Groff (1530)

Juste à gauche du deuxième porche boisé du graduel de Saint-Dié, en bas dans l'angle gauche du folio, des mineurs manœuvrent un treuil à bras pour évacuer de l'eau contenue dans un cuveau en bois cerclé de fer (ou de bois ?) (fig. n°19, p. 735). Juste plus haut, au-dessus d'une scène d'abattage dont la peinture est mal conservée, on aperçoit la bouche à ciel ouvert d'un puits entièrement boisé, garni à son sommet d'un treuil à bras. Le dessin en perspective présente des imperfections : la section du puits paraît hexagonale alors qu'elle est normalement quadrangulaire (*cf.* fig. n°20, p. 736). Le cuvelage est une succession de cadres empilés les uns sur les autres. Les montants ressemblent à des rondins assemblés avec le système de la « gueule de loup » qui consiste à tailler un creux arrondi ou en V dans la partie aboutée d'une pièce non équarrie où vient s'emboîter une pièce perpendiculaire de même section (Maggiori 2001, pp. 39-40). Ce système d'assemblage est caractéristique de la fabrication des cadres de soutènement.

Fig. n°20 : Détail du puits cuvelé représenté dans la marge gauche de la page aux scènes minières du Graduel de Saint-Dié.

Cette représentation rappelle celle des quatre bouches de puits boisés de la page de titre de l'antiphonaire de Kutna-Hora, qui ne sont pourtant pas équipées de treuil, mais où le peintre a commis une faute de perspective, manifestement de façon délibérée, pour que le lecteur puisse entrevoir l'intérieur de l'ouvrage (*cf.* fig., n°16, p. 733). L'une d'entre elles est abritée sous une cabane en bois contre laquelle est adossée une petite annexe pour le stockage du minerai. L'absence de treuil sert à déduire que les boisages sont des ouvrages de soutènement et non des plateaux de glissières. La technique utilisée paraît proche de celle du graduel de Saint-Dié, mais il est difficile de dire avec certitude si les sections des bois sont circulaires ou quadrangulaires comme l'image pourrait le laisser croire.

Le dispositif de treuillage manuel est vraisemblablement standardisé dans toute l'Europe centrale. Il est constitué d'un cylindre en bois, appelé tambour, disposé horizontalement sur des montants en bois constituant le châssis, garni de manivelles fixées à chacune de ses extrémités et enroulé d'une corde (ou d'une chaîne) assurant simultanément la descente et la remontée de deux cuveaux ou sacs (Maggiori 2001, p. 67). Deux ouvriers appelés « tourneurs » sont affectés à chaque fois au maniement du tambour. Sa mobilité est assurée par une tige en fer, logée au centre de la pièce dans l'axe longitudinal et fichée dans chaque montant grâce à des trous ou des encoches. Les manivelles sont fixées à chacune des extrémités de cet axe de chaque côté du tambour. Dans le graduel de Saint-Dié, les treuils de ce type « universel » servent indifféremment à l'extraction des matériaux et à l'exhaure. Un manœuvre assistant les ouvriers préposés au treuillage se charge de vider un cuveau plein d'eau dans une galerie qui cumule manifestement la fonction de circulation (voie de roulage) et d'exhaure (fig. n°19, p. 735). Dans le paysage minier qui illustre le *« Der Sächsisches Bergwerk »*, réalisé par un anonyme en 1530, un treuil de même type, dont l'architecture est fortement simplifiée (absence de tambour réduit à l'axe de rotation), semble équiper ce qui pourrait être un puits à eau (Ancel 1990a, p. 24).

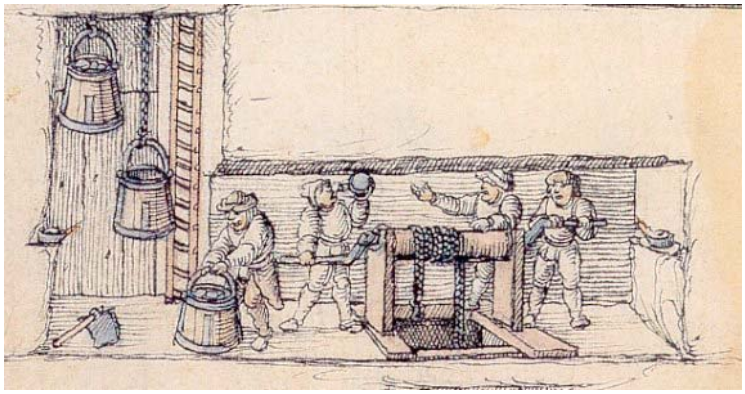


Fig. n° 21: Puits et treuil, détail de la planche consacrée au travail souterrain dans le recueil de dessins d'Heinrich Groff, 1530 (conservé à la Bibliothèque de l'École nationale supérieure des Beaux-Arts de Paris). Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992.

Dans les dessins conservés de la Rouge Myne, l'espace vertical des puits n'est pas compartimenté avec des cloisons en bois ; le train d'échelle n'est pas séparé du dispositif de treuillage (fig. n°21, p. 737). Par contre, la spécialisation des espaces de travail est marquée par la fermeture du compartiment de l'échelle par une trappe alors que celui des cuveaux est ouvert.

Les dessins ne présentent pas de dispositifs d'exhaure et d'aérage. Leur absence a été attribuée à la disparition des folios pliants qui étaient disposés de part et d'autre de la planche conservée, mais rien ne permet de l'affirmer (Brugerolles *et al.* 1992). Il est tout aussi probable que l'artiste se soit documenté sur une portion de la mine où ces équipements n'étaient pas nécessaires. En effet, un tel réseau de galeries superposées reliées par plusieurs

puits facilite la circulation de l'air. De même, la présence d'une galerie d'écoulement sous-jacente ou de faibles infiltrations d'eau évacuées par écoulement gravitaire, peuvent expliquer l'absence de pompes (Ancel 1990a, pp. 25-26). Les dispositifs d'exhaure élaborés (norias, roues à augets et à chaînes et godets, pompes diverses) apparaissent véritablement dans l'iconographie de la fin de la Renaissance, alors que la plupart sont connus dès l'Antiquité[83], avec les premiers traités miniers et tout particulièrement le *De re Metallica* de Georgius Agricola (sixième livre) et le *Schwazer Bergbuch* ou « Livre des Mines de Schwaz » destiné à présenter à l'empereur Ferdinand Ier ses mines du Tyrol comme un pôle d'innovation technique. L'exhaure, dont la performance conditionnait jusqu'à l'existence même de l'entreprise, en était un domaine privilégié. Ces précieux documents pour l'histoire et l'archéologie des mines, tous deux datés de 1556, ont été abondamment commentés dans la littérature minière contemporaine[84]. La plupart des équipements présentés n'ont pas encore été retrouvés dans les mines.

Dans le graduel de Kutna-Hora, les puits débouchent en surface directement dans les aires de préparation mécanique (fig. n°14, p. 730). Les équipements sommitaux sont plus au moins élaborés. On trouve une simple foncée surmontée d'une petite cabane accolée à un rocher, un puits équipé d'un treuil sommital actionné par un manège à chevaux et surmonté par un clocheton en bois, un autre puits surmonté d'un treuil à ciel ouvert ou encore un puits apparemment cuvelé (un cadre est visible) qui débouche directement dans une habitation et/ou un atelier. Ce dernier paraît préposé à l'aérage car un peu plus bas sous terre, un mineur actionne à l'aide d'une manivelle un tambour de ventilation (Ancel 1990a, p. 22). Les ouvrages d'aérage représentés dans la page de titre de l'antiphonaire de Kutna-Hora sont des « tours à vent » appelées aussi « pièges à vent » (Grandemange 1992, n. 21, p. 409). Il s'agit de quatre grands panneaux en bois fixés en croix sur toute leur longueur autour d'un poteau fiché sur un socle installé à l'entrée à ciel ouvert de deux puits (fig. n°16, p. 733). Le même dispositif de ventilation est représenté à deux reprises en arrière plan des scènes minières du

---

[83] Un dispositif de roues en bois ou roues élévatoires à augets, mues par un homme, daté du IIe siècle de notre ère, a été découvert dans les mines d'or daces de Rosia Montana à 30 m de profondeur (Roumanie) (Cauuet 2008, pp. 63 et 67).

[84] AGRICOLA (G.), *De Re Metallica*, Translated from the first latin edition of 1556 with Biographical Introduction, Annotations and Appendices upon the Development of Mining…, by HOOVER (H. C.), HOOVER (L. H.), New-York, 1950 ; voir aussi l'éd. française du texte d'Agricola : AGRICOLA (G.), *De Re Metallica.* Trad. de l'éd. originale latine de 1556 par FRANCE-LANORD (A.), Thionville, 1987, et l'éd. commentée de B. Angel (Angel 1989). Concernant le « Schwazer Bergbuch », *cf.* l'éd. de WINKELMANN (H.), ***Schwazerbergbuch***, 1556, *in* : EGG (E.) éd. : *Schwazerbergbuch*, *Codex Vindobonensis* 10.852, Essen, Glückauf, 1988.

retable de l'église Sainte-Anne d'Annaberg (fig n°15, p. 732). Leur fonction était de capter le vent avec les panneaux pour le canaliser plus facilement jusque dans la mine.

La diversité des aménagements de surface du graduel de Kutna-Hora, contrairement à l'antiphonaire de la même ville, suggère que l'artiste ait cherché à montrer la variété architecturale des bâtiments construits au-dessus des puits pouvant varier en fonction de leur office, de la productivité, de la profondeur du chantier exploité, de la richesse de l'exploitant et de celle du filon exploité, etc. Cette palette d'aménagements sommitaux de puits se retrouve dans le retable d'Annaberg : puits à ciel ouvert équipé d'une simple échelle, d'un treuil à bras couvert ou non d'une cabane en bois ou en pierres, d'une salle à manège conique, ou surmonté de tours à vents. Mais, cette figuration présente une originalité : tous les équipements sommitaux de puits sont bâtis sur une halde aplanie formant une multitude d'estrades tronconiques.

Le tableau de l'église de Roznava montre, au sommet de la montagne située en arrière plan au-dessus de la tête couronnée de la Vierge, un des plus anciens bâtiments coniques destinés à abriter un manège à chevaux de l'iconographie minière (*cf.* fig. n°22, p. 740). Cette représentation montre une particularité intéressante : le bâtiment est en cours de construction. On peut reconnaître un charpentier, outillé d'une hache, en train de préparer des bois entreposés sur le sol. La mauvaise qualité de la reproduction utilisée pour cette étude[85] ne nous permet pas d'identifier clairement sa tâche. Son geste : bras levés derrière la tête, tenant fermement le manche de la hache penchée à l'arrière pour trouver de l'élan, suppose un travail de refend ou de coupe plutôt que de blanchissage. Pour cette opération, le charpentier se tient en général courbé au-dessus de la pièce à tailler (fig. n°22, p. 740).

[85] Nous n'en avons pas trouvé de meilleure.

Fig. n°22 : Tableau de l'église de Roznava Slovaquie(1513). Reproduction tirée de Heilfurth 1981, p. 203.

II.2.3. Le travail du bois

Fig. n°23 : Détail de la scène de bûcheronnage représentée sur la page aux scènes minières du Graduel de Saint-Dié.

Le folio enluminé d'un décor minier du graduel de Saint-Dié présente une scène de bûcheronnage en forêt où sont préparés les bois destinés à l'équipement des mines (fig. n°23, p. 741). Outillé d'une hache, un ouvrier se charge de l'abattage d'un arbre au fût long et parfaitement rectiligne. Il ouvre une large entaille oblique à environ un mètre de la base empattée du tronc. Le second ouvrier, maintenant son outil de la même façon que le charpentier du tableau de Roznava, découpe en tronçons, une grume posée horizontalement sur un billot. Les morceaux découpés entassés à ses pieds sont des rondins de taille métrique et apparemment calibrés. On peut imaginer que ces courts tronçons sont destinés à fabriquer des *étançons.

Cette image s'insère clairement dans la chaîne opératoire technique minière. L'exploitation de la forêt apparaît pour une des premières fois dans l'iconographie minière comme une activité connexe de l'exploitation du minerai.

Il faut attendre 1530 pour voir pour la première fois traitée avec une relative précision les différents maillons de la chaîne opératoire technique du bois, de la forêt à la mine, dans le célèbre recueil des vingt-cinq dessins à la plume de la « Rouge Myne de Sainct Nicolas » réalisés par Heinrich Groff, peintre de Saint-Dié. Cette « bande dessinée » de la Renaissance illustre avec un véritable souci didactique une journée de travail des différents corps de métiers qui s'activent autour et dans la Rouge Myne de Saint-Nicolas à La Croix en 1529 (Ancel 1990a, pp. 24-26 ; Brugerolles *et al.* 1992). Au moment de la réalisation de ces dessins, la production minière de La Croix atteint une tonne cinq d'argent-métal et, de toutes les mines, celle de Saint-Nicolas était la plus importante (Brugerolles *et al.* 1992, p. 58).

Heinrich Groff ouvre son recueil commandité par le receveur des mines de La Croix pour le duc Antoine de Lorraine, par la description de la surface avec la présentation du village de La Croix et du siège du justicier où font serment les « compaignons ». Le premier

corps de métier traité par l'artiste est celui des charpentiers et le premier thème abordé est celui de la préparation des bois pour le boisage et l'étayage des travaux (fig. n°24, p. 742).

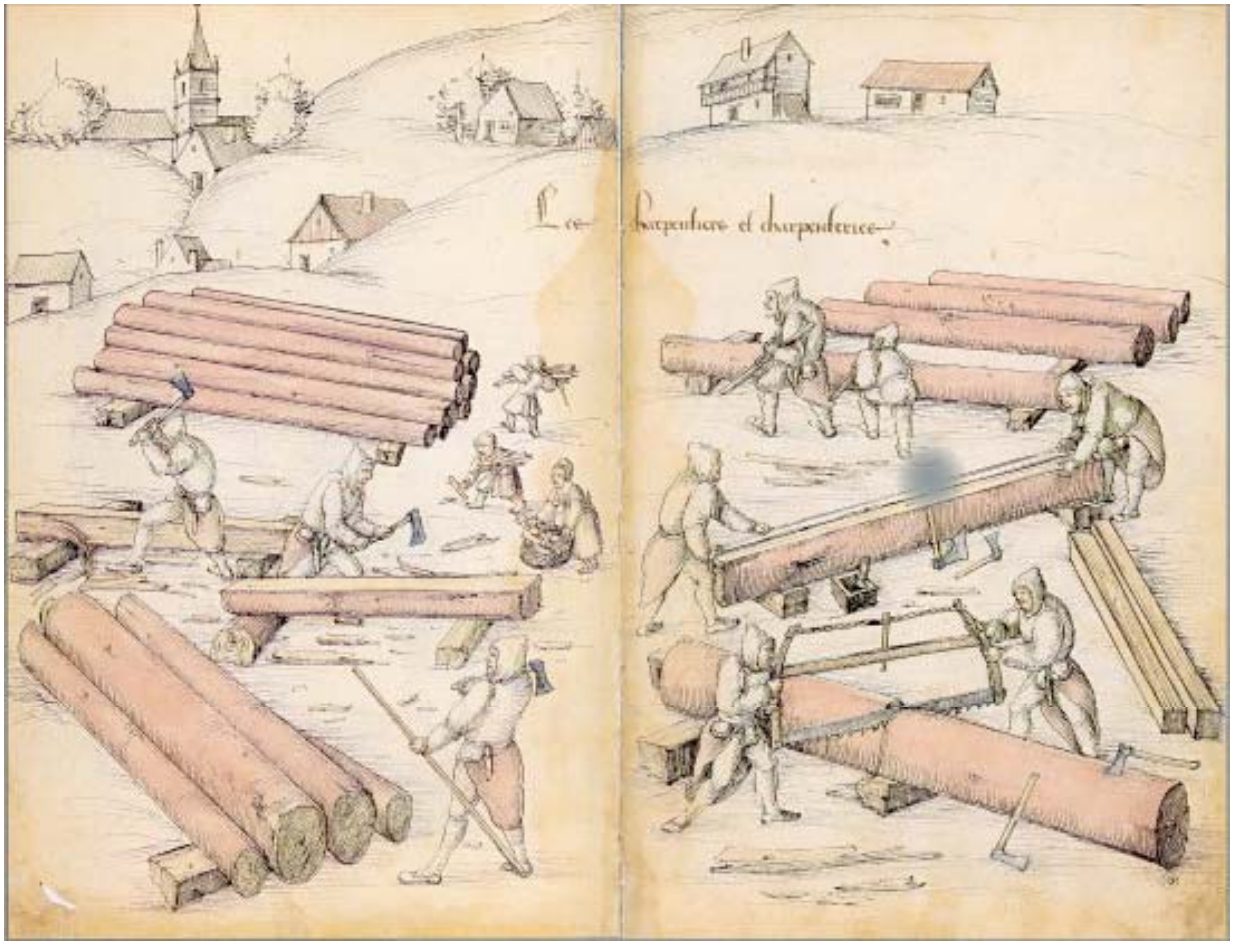


Fig. n°24 : « Les charpentiers et charpenteries », recueil de dessins d'Heinrich Groff, 1530. Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992.

Dans l'ordre de classement choisi par Heinrich Groff, un premier dessin illustre une équipe de charpentiers qui s'activent sur une aire de travail à ciel ouvert appelée aussi « chantier »[86] située aux abords directs du village de la Croix dont on peut apercevoir le clocher. De belles grumes, plutôt de fort diamètre, proprement préparées par les bûcherons sont entreposées en tas sur des carrelets massifs (demi-rondins ou quartiers) pour éviter leur contact avec le sol. Elles sont débarrassées de leurs branches (ébranchées), de leurs empattements et de leur tête effilée (éhoupées). Dans la moitié gauche, deux ouvriers équarrissent chacun à la hache une grume posée sur deux carrelets. Trois jeunes enfants

[86] Ce terme est aussi utilisé pour désigner les carrelets sur lesquels sont entreposés les bois pour éviter leur contact avec le sol.

récupèrent dans leurs bras et un panier à bois de feu, l'écorce et les déchets de taille pour les emporter au village. Rien n'était gaspillé. Dans la moitié droite, deux mineurs tronçonnent (ébillonnent) avec une grande scie à cadre une grosse grume (non écorcée ?) aux longueurs souhaitées. Cet outil est spécifiquement adapté au sciage en travers et non au sciage de long. Il se caractérise par l'emplacement de sa lame, logée sur un des chants du cadre dans le prolongement du châssis. Les deux champs perpendiculaires à la lame sont reliés à leur extrémité par une corde servant à mettre en tension la lame à l'aide d'un court manche en bois attaché au centre. La pointe de son extrémité mobile s'emboîtait dans le cadre transversal après la mise en tension de la corde.

Leurs haches sont posées près d'eux. L'une est plantée dans la grume. Juste côté, à gauche, on peut remarquer une petite boîte qui pourrait contenir des pigments colorés ou de la cendre pour enduire un cordeau utilisé pour le traçage des traits de dressage. Sur la même moitié du dessin, deux mineurs mesurent une bille partiellement équarrie avec une toise à ruban. Ils s'occupent apparemment de tailler des poutres dont deux modèles parfaitement exécutés sont entreposés juste à côté d'eux. Une des deux haches posées contre la grume en cours de mesure est une doloire (épaule de mouton). Cet outil sert exclusivement au travail de refend dans le sens du fil du bois et permet de faire des aplats polis. Cette information pourrait indiquer que les poutres et les poteaux étaient débités à la doloire et non pas à la scie de long (ou niargue). L'usage d'un tel outil n'aurait d'ailleurs certainement pas été omis par Heinrich Groff soucieux de détailler l'outillage utilisé par chaque corps de métier. Pour aller dans ce sens, on ne trouve pas représentée sur le chantier de dosse (ou planche de dosse) plus facilement obtenue avec la niargue, mais des débris de bois courts et peu épais plutôt caractéristiques des opérations de blanchissage et d'équarrissage réalisées à la doloire ou la hache à équarrir. L'utilisation de tels outils pour le dressage des pièces de long, qui paraît aujourd'hui aberrante, relève d'un niveau élevé de savoir-faire des charpentiers de mine alliant force et précision. L'usage de la scie et plus particulièrement de la scie de long à bras connaît incontestablement son « âge d'or » de la Renaissance au siècle des lumières. Les dessins d'Heinrich Groff suggèrent une persistance du débit de long à la hache pour le bois de mine. En effet, scier voulait dire enlever du fil au bois et réduire sa résistance ; chose qui n'était pas souhaitable en contexte minier où la finesse du dressage et l'esthétique de la pièce faisaient volontiers place à la robustesse. La technique de façonnage des bois de mine présentée par Heinrich Groff relève plus de l'équarrissage – rendre un bois rond carré – que du sciage de long.

Enfin, toujours sur la même moitié du dessin, un ouvrier et un apprenti (?) outillés de toises courtes se préparent à prendre des mesures sur une grume isolée du tas. Le chantier est surveillé par un chef mineur qui se tient debout, en bas à droite de la moitié de gauche de la planche, avec une toise rigide d'environ deux mètres dans la main gauche – mesure de longueur officiellement en usage à cette époque – et dans la main droite, le manche d'une hache dont la lame est posée sur l'épaule. Sa présence suggère clairement son implication directe dans la préparation des étançons destinés au confortement et à l'étayage des ouvrages miniers. Le chef mineur, le « houttman », qui est en quelque sorte un « contremaître », coordonne tous les corps de métier en relation avec l'extraction. Il est notamment spécialisé dans la sécurité dont dépendent la qualité et l'avancement des travaux souterrains. Pour le défilé des travailleurs et des matériaux qui entrent le matin « en la montaigne », les houttmans ferment la marche, juste derrière le convoi de bois mené par des ouvriers charpentiers travaillant sous leur responsabilité (*cf.* fig. n°27, p. 747).

La hache, qu'ils portent toujours avec eux, peut servir à tout moment pour intervenir sur un assemblage d'étançons. La forme de son tranchant, ouverte et évasée, est caractéristique de la hache du charpentier (Velter *et al.* 2003, p. 134). Par extension, la hache est surtout devenue le symbole de leur statut professionnel et social. Dans les dessins d'Heinrich Groff, les houttmans se différencient non seulement par leur taille et la qualité de leurs vêtements, mais aussi par le port de la hache ; manche tenu fermement dans la main droite, le bras plié et la partie basse et non tranchante de la lame métallique posée sur l'épaule.

Heinrich Groff a fait le choix de ne pas représenter le travail d'abattage en forêt. Or, la planche qui illustre la fabrication du charbon de bois peut servir de double emploi, du moins en partie (*cf.* fig. n°25, p. 745). En effet, sa moitié gauche est consacrée à une scène de bûcheronnage. Un ouvrier, outillé d'une hache, abat un arbre (un résineux) en ouvrant une large entaille oblique au-dessus des empattements. Son geste, les deux bras balancés à gauche de son visage et perpendiculairement à son corps, les deux mains tenant fermement la base du manche de l'outil, est très réaliste. Un second ouvrier refend dans la longueur des rondins à l'aide du même outil. Le maillet et les deux coins en fer (ou en bois ?) posés à ses côtés suggèrent leur utilisation pour refendre les rondins les plus massifs et les plus noueux. L'amas de grumes entassées en vrac en premier plan, indique l'utilisation de bois de second ordre pour le charbonnage : les billes, de calibre moyen, sont grossièrement ébranchées et leurs extrémités présentent des arrachements. L'abattage n'est manifestement pas traité avec le même soin que pour le bois de construction. Il faut noter que les arbres sur pied ont été

Fig. n°25 : Scène de bûcheronnage dans la planche intitulée « Les charbonniers », recueil de dessins d'Heinrich Groff. Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992.

ébranchés au préalable sur la moitié de leur longueur. Cette précaution permettait de ne pas endommager les ramures les plus grosses (branches maîtresses) lors de la chute de l'arbre, ces dernières étant particulièrement appréciées pour le charbonnage. Mais, en voulant conserver des branches entières, le bûcheron prenait le risque de fissurer le tronc lors de sa chute.

La présence d'un houttman qui surveille les travaux de charbonnage et de bûcheronnage atteste encore une fois sa place cruciale dans toute la chaîne opératoire technique du bois de construction et de feu, de la forêt à la mine.

Le débardage des grumes et à leur livraison sur le chantier des charpentiers, « La manière d'amener le boys », est représenté sur une autre planche (*cf.* fig. n°26, p. 746). Le bois ayant toujours été considéré comme un matériau noble, il est placé dans le recueil de dessins avant la livraison de tous les autres matériaux nécessaires à l'exploitation (suif, charbons de bois et fer). Chaque bille est arrimée, grâce à un puissant crochet en fer fiché à l'une de ses extrémités, à un robuste chariot à deux roues tiré par deux paires de bœufs. Un des deux convois représentés est guidé par une femme à cheval. Les billes aménagées en tas sur deux paires de carrelets massifs sont apparemment triées en fonction de leur calibre. Les manœuvres qui déchargent les convois et déplacent les grumes sont outillés de simples perches en bois faisant œuvre de tourne-bille. Les dessins d'Heinrich Groff suggèrent que les grumes entassées lors de la livraison étaient directement façonnées par les charpentiers ; ce qui suggère une des caractéristiques techniques essentielles du bois de mine, opposée au principe de travail du bois de construction pour le bâtiment : l'absence de temps de séchage.

En effet, l'eau contenue naturellement dans le bois vert engendre des déformations importantes des pièces débitées lorsque leur teneur en humidité baisse. Or, les bois verts installés dans la mine vont perdre très peu d'eau (eau d'imprégnation) puisque l'air y est généralement saturé en humidité. Ils atteignent donc rapidement un état d'équilibre hygroscopique avec l'air ambiant. La saturation en eau des fibres crée une mise en tension des pièces calées ou assemblées. Ainsi, les bois assurent dans les plus brefs délais leur rôle mécanique qui est de résister aux efforts de flambement exercés par la roche.

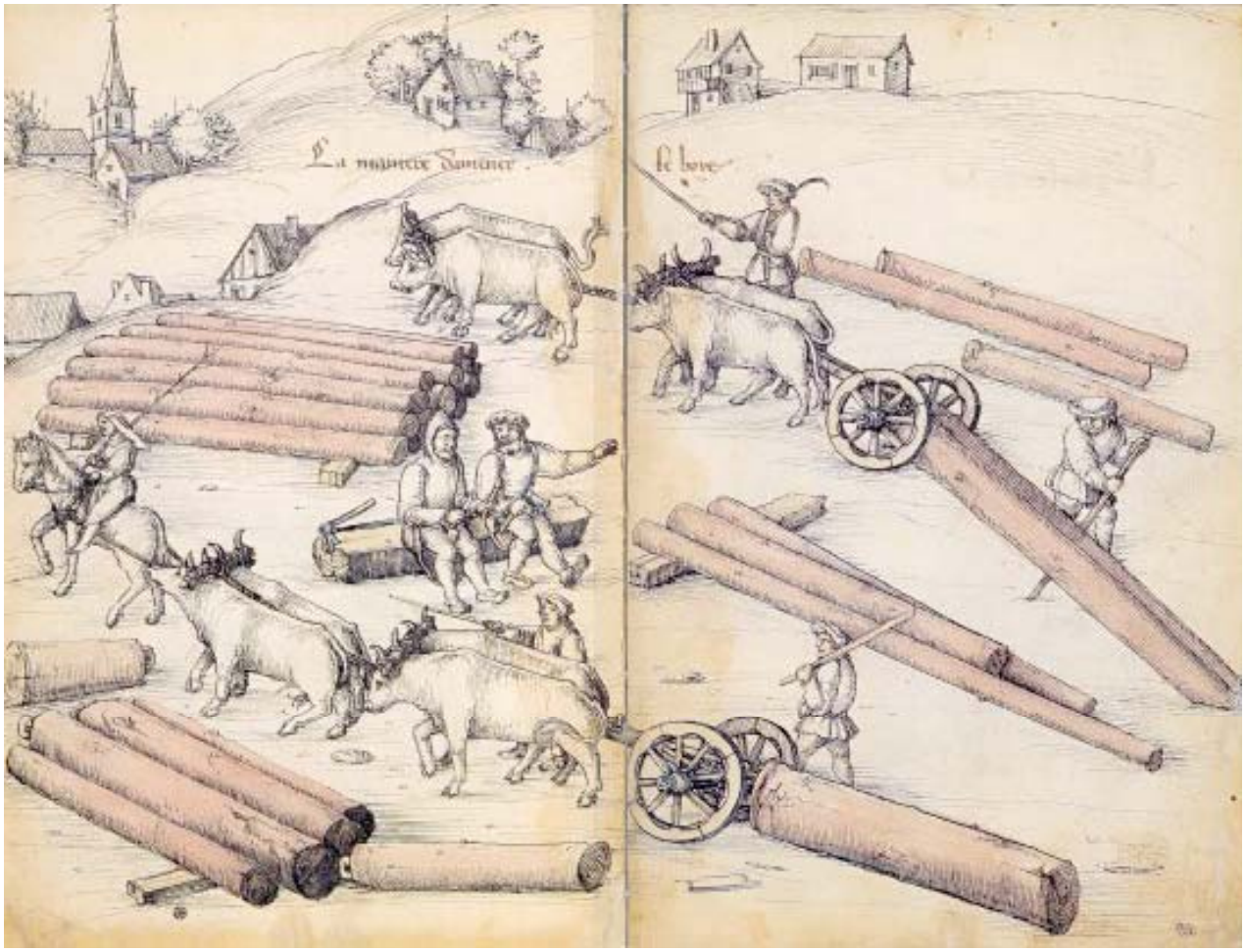


Fig. n°26 : «La manière d'amener le boys », dessin du recueil de dessins d'Heinrich Groff, 1530. Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992.

Au centre du dessin, le chef mineur et un ouvrier, installés assis sur un tronc refendu posé horizontalement sur le sol, enregistrent l'arrivage des bois avec une simple latte et un couteau. Ce système de comptabilité, qui est pour la première fois représenté dans l'iconographie, consiste à faire une encoche transversale dans la latte de bois, la « taille », pour chaque unité livrée. Lorsque l'opération de comptabilité est terminée, la latte est fendue

en deux dans le sens de la longueur. Le fournisseur récupère la « souche » comme preuve de créance tandis que le client conserve l'autre partie appelée l'« échantillon » (Brugerolles *et al.* 1992, pp. 70-71). Le même système de comptage est utilisé pour enregistrer la livraison de tous les autres matériaux nécessaires à l'exploitation : suif, charbon de bois, fer.

Fig. n°27 : «Les ouvriers menant le boys en la montaigne », dessin du recueil de dessins d'Heinrich Gross, 1530. Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992.

Les bois entrant sous terre sur des petits chariots équipés de crochets métalliques latéraux sont de deux types : poutres parfaitement taillées et tronçons de billes (fig n°27, p. 747). La fabrique des étançons et des pièces de calage, la taille des assemblages, ont donc lieu sous terre. Cette phase du travail n'est malheureusement pas représentée sur les deux volets conservés du dessin de la Rouge Myne où l'on ne trouve d'ailleurs pas de « houttman » parmi les trente-trois mineurs dessinés. Par contre, on peut observer dans le chantier en cours d'exploitation la manière dont ils ont été mis en œuvre : les tronçons de troncs servent à faire de solides piliers chapeautés par d'épais madriers ou des planchettes placées horizontalement afin d'assurer un contact en force entre les montants et le toit de la salle d'exploitation (fig.

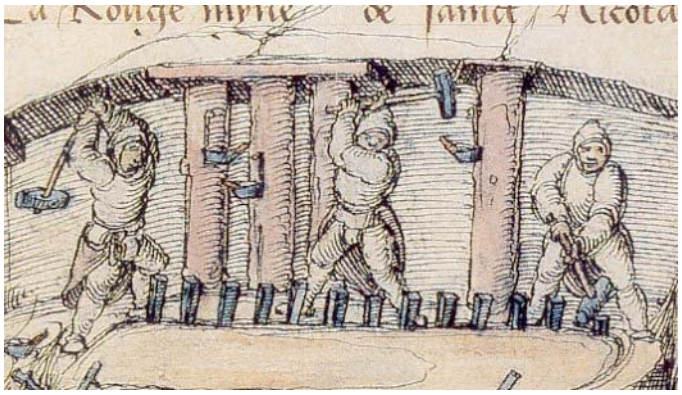


Fig. n°28 : Détail des ouvrages de soutènement dans la mine de Saint-Nicolas, tiré du recueil de dessins d'Heinrich Groff, Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992.

n°28, p. 748). Le plafond du chantier n'étant pas parfaitement plat, il est probable que des cales en bois soient chassées entre le chapeau et le plafond. Des lampes à suif sont accrochées à l'aide de crochets sur certains poteaux. Les galeries sont entièrement boisées comme le montrent les dessins de l'entrée de la mine et sont équipées de voies de roulage. Les cadres présentent des assemblages à mi-bois (entailles simples et doubles). Tous les puits sont entièrement cuvelés avec de belles planches et chapeautés de treuils à bras du même type que tous ceux qui ont été représentés en souterrain comme en surface dans les images précédemment décrites[87], à l'exception des décors enluminés de l'antiphonaire de Kutna-Hora.

- . -

Les sources iconographiques permettent de visualiser la place capitale du bois sur le carreau et dans la mine. Il est partout présent. On comprend mieux son poids conséquent sur le coût des investissements engagés par l'exploitant, et la nécessité de garantir son approvisionnement par les autorités publiques pour assurer la réussite de l'entreprise.

Riches en renseignements sur l'outillage, l'équipement en bois et en matériaux périssables, l'aménagement des aires de surface, des bouches de puits, des carreaux et des galeries de circulation dans les mines à la fin du Moyen Âge, les sources iconographiques apportent un lot d'informations assez maigres et imprécises concernant les techniques d'étayage et de confortement en souterrain. Exceptionnel pour ses scènes de charpenterie (débitage et façonnage), de bûcheronnage et de débardage, le recueil de dessins d'Heinrich Groff occulte (peut-être accidentellement puisqu'il manque une page au recueil) la phase de pose, de réajustement et d'assemblage des pièces de bois sous terre.

[87] Graduel de Kutna-Hora (1490), Tableau de la Vierge et l'Enfant Jésus avec sainte Anne de l'église de Roznava (1513), Graduel de Saint-Dié (1514) et retable de l'église d'Annaberg (1521).

Il convient maintenant de confronter ces images, qui ont le mérite de valoriser la place de l'exploitation des forêts et du travail du bois dans la chaîne opératoire technique minière, avec la réalité du terrain grâce à l'archéologie.

II.3. APERÇU DE LA DOCUMENTATION ARCHÉOLOGIQUE MÉDIÉVALE SUR LE BOIS MINIER

En France et de façon plus large en Europe, les études archéologiques concernant les modes de boisage et de soutènement et le matériel et les équipements en bois dans les mines médiévales, sont ponctuelles et isolées. Il s'agit en général d'études de cas dans le cadre d'approches monographiques et plus rarement d'études de synthèse réalisées à partir de quelques sites de référence (Bailly-Maître 1989 ; 1997 ; Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994). Il faut bien souvent ouvrir la fourchette chronologique depuis l'Antiquité jusqu'à l'époque moderne pour trouver des informations plus riches concernant les boisages de mine (Ancel 1985 ; 2008c ; Ancel, Fluck 1987 ; 1988, pp. 92-93 ; Cauuet 2001 ; 2008 ; Fluck, Ancel 1984, p. 78 ; Pierre *et al.* 2008). Ils concernent la plupart du temps des ouvrages verticaux : chantiers, puits (Ancel, Fluck 1989, p. 29 ; Ancel 1990c). À ce jour, aucune étude d'ensemble sur les boisages et les équipements en bois de la mine médiévale n'a été réalisée bien qu'une première synthèse pour le Midi de la France ait été ébauchée par M.-Ch. Bailly-Maître (Bailly-Maître 2002). En 2001, L. Maggiori, dans le cadre d'un D.E.A. encadré par Ph. Leveau intitulé « Les incidences techniques de l'utilisation des boisages et des équipements en bois sur l'architecture des réseaux miniers (de l'Antiquité jusqu'au XVIe siècle) », a synthétisé les données des rares travaux publiés sur les bois de mines. Cette étude pointe notamment les lacunes de la documentation archéologique, particulièrement médiévale (Maggiori 2001). Pour ces raisons, nous avons ressenti la nécessité de rassembler la documentation avec, lorsque cela est nécessaire, des incises temporelles destinées à mieux cerner la place des ouvrages médiévaux dans l'évolution générale des techniques de charpenterie minière.

II.3.1. Les galeries et leurs équipements

Alors que la voie de roulage est une composante majeure de l'équipement d'une galerie dans l'iconographie, les travaux fouillés ou simplement explorés jusqu'à présent, antérieurs au milieu du XVe siècle, n'en ont jamais livré de vestige. La première voie de roulage attestée archéologiquement a été découverte à Pampailly par l'équipe de P. Benoît, sous un niveau de roulage daté du XVIIIe siècle. Sa datation du milieu du XVe siècle est confirmée par la dendrochronologie. À cette époque, la régularité du tracé de la galerie du Vernay, avec une pente ne dépassant jamais 1 %, a permis, avec l'intervention d'un maître mineur allemand, Claus Smermant, de créer dans des conditions optimales une voie de roulage dont l'élaboration est attestée dans les comptes miniers. Les caractéristiques des vestiges découverts sont proches de celles des voies de roulage du XVIIIe siècle, à la seule différence que les deux planches parallèles appelées aussi « limandes » sont reliées aux traverses par des chevilles en bois et non par des clous[88] (Benoît 1997, pp. 42-44). Le travail du charpentier est donc plus minutieux et soigné. Au moment de sa création en Lyonnais, cette voie de roulage était perçue comme une innovation technologique révolutionnaire (Benoît 1985 ; 1988). La double fonction de la galerie de Vernay – roulage et exhaure – fait écho aux enluminures du graduel de Saint-Dié où les deux galeries figurées équipées de voie de roulage servent aussi à l'écoulement de l'eau. Toujours à Pampailly, les recherches archéologiques ont mis au jour les vestiges d'autres aménagements de galeries fondamentaux pour la survie de l'entreprise : les faux-plafonds en bois, jamais illustrés dans l'iconographie de la fin du Moyen Âge et de la Renaissance. Au faîte de la galerie, entre 1,20 et 1,40 m de hauteur, des traverses « épontées » étaient fichées dans les parois des galeries grâce à des petites encoches taillées dans la roche appelées « réservations ». Elles supportaient des planches dont les jointures étaient simplement calfeutrées à l'argile (Benoît 1997, p. 48). La galerie équipée d'un faux-plancher est reliée à quelques mètres de son entrée par un puits au jour. Canalisé par les faux-plafonds,

[88] À Saint-Pierre-sur-l'Hâte, dans le District de Sainte-Marie-aux-Mines, les galeries du XVIe siècle décrites par Guillaume Prechter dans son rapport de 1602, étaient aménagées avec des voies de roulage. Elles étaient constituées de «rails », *gestänge*, en hêtre, longs de deux toises et larges d'un demi-pied. Ils étaient placés en deux rangées sur d'épaisses planches et fixés avec des chevilles en bois. Dans une rigole latérale, l'eau s'écoulait à travers toute la montagne. Ces informations ont été confirmées par l'archéologie, mais aucune rigole d'évacuation de l'eau n'a été retrouvée (Fluck, Ancel 1984, pp. 62-64).

un courant d'air engendré par la différence de température entre la mine et l'extérieur se crée, et permet un renouvellement de l'air à l'intérieur de la mine. Utilisés presque systématiquement pour l'aérage dans les grandes mines de l'époque moderne, ils permettaient l'amenée d'air frais jusque dans les chantiers profonds qui n'étaient pas reliés à un puits d'aérage[89]. De tels aménagements n'ont jamais été découverts jusqu'à ce jour dans les mines médiévales où la circulation de l'air était le plus souvent assurée par des galeries et des puits (Bailly-Maître 2002, p. 113).

Au Moyen Âge, la rectitude du tracé de certaines galeries et la régularité de leur sol pouvait néanmoins autoriser le brouettage qui a été reconnu sur le site de Petra Alba grâce à la présence d'une ornière continue dans l'axe d'un travers-bancs (Bailly-Maître 1989, p. 66 ; 2002, p. 100). Mais, toutes les découvertes réalisées jusqu'à ce jour révèlent indéniablement une préférence pour le traînage comme cela est parfaitement illustré par le graduel de Kutna Hora. Le recours à cette technique à l'époque médiévale s'explique pour certains sites par le choix des stratégies d'exploitation adoptées par les mineurs. Quand cela était possible, ils ont directement attaqué la puissance du gisement depuis les affleurements sans devoir percer des travers-bancs. Les voies de circulation étaient alors aménagées dans les remblais. Par contre, exploités entre les XIIe et XIVe siècles, l'ensemble des sites cévenols montrent systématiquement des travers-bancs pour accéder aux zones minéralisés (Bailly-Maître 1997). Les matériaux étaient transportés dans des traîneaux en bois munis de patins dont ils ne restent la plupart du temps que les empreintes dans le sol des galeries les mieux conservées[90]. Le traînage était aussi réalisé avec d'autres contenants comme des sacs en cuir ou en textile grossier, des auges ou des paniers, tirés par des cordes, dont l'archéologie n'a révélé que de très rares vestiges.

[89] Concernant l'aérage dans les mines de la Renaissance grâce à la technique du faux-plafond, *cf.* Florsch 1995, pp. 5-18 et Grandemange 1988.

[90] Il faut ajouter aux traces de traînage découvertes dans les mines du Fournel celles des galeries de Saint-Philippe, proches de la mine de Brandes (Maggiori 2001, p. 97). Ce système paraît avoir été adopté dès l'Antiquité puisque des traces de patins ont été caractérisées dans la mine antique de Banka au Pays basque (Bailly-Maître 2002, p. 98).

Fig. n°29 : Voie de traînage de Brandes (Bailly-Maître 2008, p. 50, fig. 2).

Les fouilles du site minier de Brandes-en-Oisans[91] coordonnées par M.-Ch. Bailly-Maître, ont donné lieu à la découverte, dans les deux galeries inférieures du réseau exploité sous le rocher Saint-Nicolas, de voies de traînage boisées qui préfigurent la voie de roulage adoptée au milieu du XVe siècle dans la mine de Pampailly, et probablement quelques décennies auparavant dans les mines allemandes et vosgiennes[92]. Les voies de traînage de Brandes sont constituées de rondins placés perpendiculairement à l'axe de la galerie et régulièrement espacés de 30 cm (*cf.* fig. n°29, p. 752). Ils sont fichés dans le sol et maintenus aux extrémités par des entailles pratiquées dans la roche. Une des deux voies de traînage a été conservée sur 38 m de longueur. Les aplatissements présents sur les faces supérieures des rondins espacés de 25 cm sont les stigmates du passage répété des traîneaux équipés de patins dont aucun vestige n'a encore été retrouvé. Cette voie de traînage devait améliorer les rendements en facilitant la circulation horizontale des matériaux extraits jusqu'aux affleurements, dont certaines zones particulièrement instables nécessitaient des aménagements (Bailly-Maître 2008, p. 47). L'usage de traîneaux dans les mines est une tentative d'adaptation souterraine de la technique du « schlittage », utilisée pour le débardage en forêts dans les secteurs de montagne. Le schlittage a perduré dans les Vosges jusqu'au siècle dernier. Il était pratiqué dans des terrains en pente. Le bûcheron se plaçait à l'avant du traîneau pour freiner sa descente. Dans la mine, le traîneau était plus probablement poussé depuis l'arrière ou attelé à un homme ou à un animal. Sans connaître leur forme exacte, il est difficile d'être plus précis. Cette technique aurait perduré à la Renaissance comme les illustrations du *De re Metallica* tendraient à le prouver[93]. Or, le traîneau représenté

[91] La campagne de fouilles de 1993 a permis la mise en jour d'une première voie de traînage dans la Galerie du Porche (Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994, n. 61, pp. 72-73).

[92] La plus ancienne voie de roulage connue actuellement dans les Vosges, datée par la dendrochronologie de 1478-1479, a été découverte sur le site de Donnerloch à Steinbach (Haut-Rhin) (Bohly 2008, p. 95).

[93] AGRICOLA (G.), *De Re Metallica*, …., HOOVER (H. C.), HOOVER (L. H.), Livre VI, gravure 17.

dans ce traité est utilisé pour le transport du minerai en surface et il est attelé à des chiens. Donc, rien ne permet de déduire leur usage sous terre. Par contre, le traînage est attesté dans les mines de houille jusqu'au XIXe siècle où il se pratiquait couramment. Il a même été utilisé dans les années 1920 dans la mine de haute montagne du Chardonnet (Ancel 2008b, pp. 239-240).

À Brandes, le filon localisé par les mineurs à l'amont des affleurements dans un terrain difficile et instable constitué d'une épaisse strate d'argile grise morainique, a été exploité en souterrain grâce à la mise en place de couloirs boisés couverts, autorisant un travail en sous-œuvre dans la puissance de l'argile. Les fouilles ont exhumé les vestiges de deux couloirs dont celui qui joignait les accès aux chantiers a livré des aménagements en bois bien conservés (Bailly-Maître 1994, pp. 60-61, n. 61). Ils ont été datés par la dendrochronologie des premières années du XIIIe siècle (Bailly-Maître 2008, p. 49). La hauteur du plafond ne dépassant pas le mètre indique que cet aménagement remplissait davantage une fonction de protection plutôt que de circulation. L'armature du couloir était constituée de cadres en bois confectionnés avec deux rondins ou demi-rondins, parfois doublés, posés verticalement, face arrondie tournée vers l'intérieur. L'extrémité des pièces est plate et son pourtour est chanfreiné de façon à ce qu'elles se maintiennent logées dans les réservations taillées à bonne dimension dans le sol rocheux. Les pièces fichées dans le sol argileux étaient calées par de simples pierres. Ces étais étaient chapeautés par des montants transversaux, grossièrement équarris sur la face supérieure. L'assemblage était réalisé par tenons et mortaises. Ce type d'assemblage se caractérise habituellement par l'immobilisation latérale du tenon dans la mortaise. Son ajustage permet d'obtenir une grande résistance à la traction et d'amenuiser le gauchissement des bois (Maggiori 2001, p. 32). L'assemblage des cadres de Brandes est particulier. Les mortaises taillées dans les chapeaux, à la bisaiguë ou au ciseau, ont une forme quadrangulaire, tandis que les tenons taillés à la hachette sont cylindriques. Il y avait donc un jeu dans la mortaise. Or, c'étaient les poussées exercées par la roche, contre l'ensemble calé en force, qui permettaient la tenue de l'assemblage. D'après L. Maggiori, le choix de forme des tenons et des mortaises de Brandes répond à des conditions exiguës de montage et au besoin de dresser les pièces en force. Le montant encastré de biais pouvait avec le jeu laissé dans la mortaise être plus facilement redressé en force, à coup de masse (ou de marlin), jusqu'à obtenir l'aplomb du cadre (Maggiori 2001, p. 32). Pour assurer encore une meilleure solidité à l'ensemble, les mortaises n'étaient pas taillées aux extrémités des montants transversaux, mais à 6 cm environ (Bailly-Maître 2008, p. 51). Quoi qu'il en soit, un tenon

cylindrique inséré dans une mortaise rectangulaire assure une élasticité à l'assemblage prévenant les effets de gauchissement. Ce moyen de prévention pouvait être particulièrement appréciable pour les ouvrages situés à proximité des ouvertures et exposés au dessèchement. Or, l'usage d'un tenon droit est tout aussi adapté car il permet d'obtenir une grande résistance et d'amenuiser le gauchissement.

Le couloir était garni et couvert de petites planches disposées de cadre en cadre de façon à légèrement se chevaucher pour éviter la confection de nouveaux assemblages et assurer une meilleure résistance au plafond. Les planches tirées de billes débitées sur mailles en rayon présentent une section triangulaire (Bailly-Maître 2008, p. 52). L'assemblage de tenons ronds dans des mortaises carrées était déjà utilisé par les Gaulois dans la mine de La Fagassière exploitée entre les IIIe et Ier siècles avant notre ère. Le dispositif de consolidation qui équipait la partie nord du chantier DEP3 était constitué de « *poussards » avec des tenons cylindriques logés dans des mortaises carrées et traversantes ajourées dans les montants (Cauuet 1997 ; Cauuet 2000, pp. 139-140). Dans ce cas, il est très possible que le tenon traversant ait été immobilisé par une cheville ou une goupille. Cet assemblage très ancien a constitué l'élément de base de toutes les ossatures de bâtiments construites sur des poutres d'ancrage. En effet, le tenon traversant immobilisé transmet les efforts de traction et réduit le bras de flexion du montant dans lequel il s'engage (Gerner 1995, p. 55).

II.3.2. Puits et treuils

À Brandes, une autre série de bois bien conservés provient d'un puits boisé aménagé à l'extrémité du chantier situé dans le prolongement du couloir boisé décrit plus haut. Sa bouche de forme quadrangulaire était équipée d'un cadre parallélépipédique de deux mètres de côté disposé horizontalement. Les bois et les assemblages présentent les mêmes caractéristiques que dans le couloir boisé. Dans deux des montants parallèles du cadre, deux poutres verticales ont été fixées dans des mortaises traversantes ajustées à leur section. L'assemblage était consolidé avec des cales en bois et non pas par une cheville. Ces pièces servaient à recevoir l'axe longitudinal d'un tambour de treuil. Ces aménagements étaient apparemment couverts d'un abri dont il ne reste que les vestiges de quatre poteaux verticaux fichés autour du cadre. Plus qu'au soutènement qui est assuré en profondeur par des cadres en bois alternés avec des assises de pierres au niveau de la paroi sud, ce cadre aurait servi à la

fixation du treuil. La paroi nord était garnie d'un cuvelage de planches verticales sur lequel venaient frotter les contenants treuillés (Bailly-Maître 2008, p. 52 ; *cf.* fig. n°30, p. 755). La paroi correspondant à la partie d'un chantier retaillé de façon à donner une forme quadrangulaire au puits était protégée par une grille en bois fichée contre des poutres de façon à éviter la chute des stériles dans le puits (Bailly-Maître 2002, p. 102). Le Mélèze et/ou Épicéa et le Sapin ont été indifféremment utilisés pour la confection des cadres et des planches tandis que le Mélèze et/ou Épicéa était largement préféré pour l'équipement du porche (deux tiers des pièces) (Bailly-Maître 2008, p. 54). Les données publiées ne donnent pas les proportions exactes de chaque taxon dans chaque ouvrage, avec leur répartition spatiale, mais il semblerait que les qualités de résistance à la putrescibilité du Mélèze n'aient pas empêché le recours au Sapin, bois moins dense, mais plus facile à travailler. Une étude précise des disponibilités forestières aux abords du site et de leur mode d'exploitation pour d'autres activités au XIIIe siècle permettrait de répondre de façon pertinente à cette question.

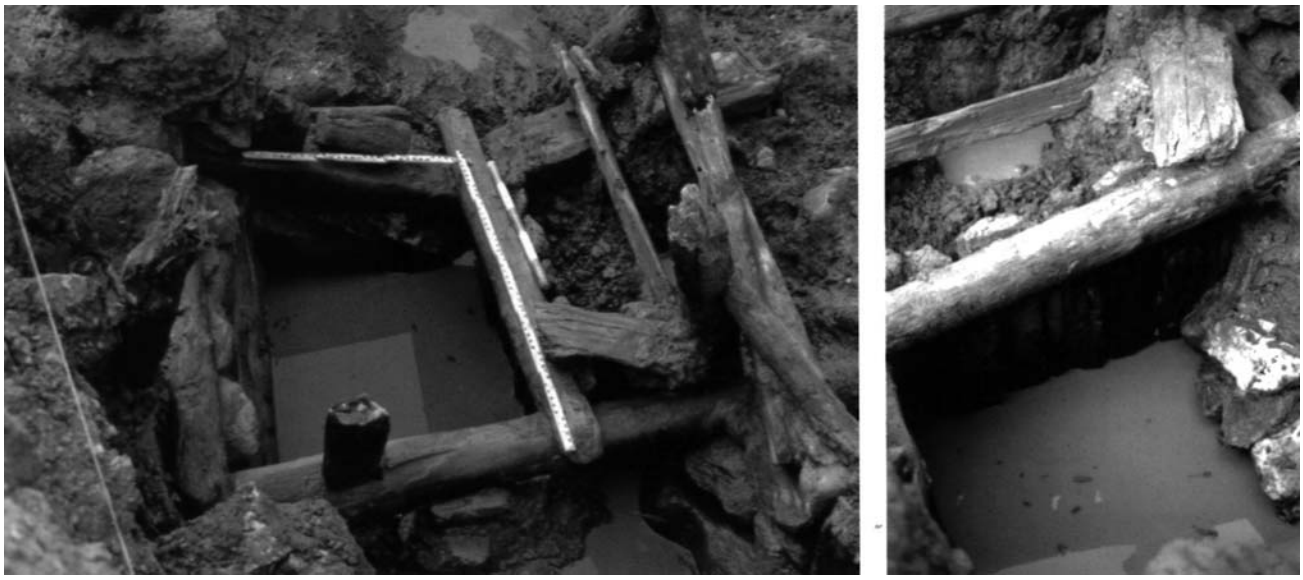


Fig. n°30 : Vues de la tête de puits de Brandes (Bailly-Maître 2008, p. 52, fig. n° 6 et 7).

Le district minier d'Hierle, doté dès 1228 d'un code minier déjà mentionné plus haut, a fait l'objet de plusieurs campagnes de prospections et de fouilles archéologiques dirigées par M.-Ch. Bailly-Maître. Une soixantaine de sites et d'indices de sites datés des XIIe-XIVe siècles ont été inventoriés dans un rayon de 5 km autour du bourg de Saint-Laurent-le-Minier (Gard) (Bailly-Maître 1989 et 1997 ; Perazza 2008, pp. 41-45). Les nombreux puits explorés présentent souvent des réservations dans les parois rocheuses avec des fragments résiduels de

poutre indiquant l'emplacement d'un châssis de treuil ou d'autres équipements (Bailly-Maître 1997, p. 230 ; 2003, p. 110). Parmi eux, le puits du Naduel[94] (P2 Le Naduel RD 10) mesurant environ 25 m de profondeur fait œuvre d'exception car il a conservé une partie de ses équipements et de ses aménagements en bois (Bailly-Maître 1997). Les analyses radiocarbones effectuées sur les pièces exhumées et les fourchettes chronologiques obtenues avec le matériel céramique découvert dans la salle de manutention souterraine aménagée au sommet du puits placent la mise en place de ces équipements à la fin du XIIIe-début du XIVe siècles. La salle de manutention est en connexion avec un réseau de galeries. Les équipements du treuil qui n'ont pas été conservés *in situ* étaient installés sur un châssis en bois attesté par des réservations et un fragment de poutre encore en place. Au niveau de ses sept premiers mètres de profondeur, le puits de section carrée (1,60 x 1,60 m) s'enfonce verticalement. Deux de ses parois verticales encochées[95] suffisaient à faciliter la circulation verticale (escalade et désescalade) des mineurs qui n'étaient théoriquement pas chargés (Bailly-Maître 1997, p. 230). À cette profondeur, le puits présente une légère rupture de pente et s'enfonce encore de 17 m. À mi-chemin, la paroi rocheuse forme un ressaut avec une faible inclinaison (15°) créant un espace de transition où les charges portées à dos d'hommes provenant du fond de la mine étaient transférées dans des cuveaux remontés par treuillage. La rupture de pente située à 7 m de profondeur était aménagée par un treuil mobile maintenu par une armature en bois (Bailly-Maître 1997, p. 231, fig. 13). Il était constitué d'une pièce cylindrique faisant office de tambour fixée dans deux traverses transversales épontées sur une seule de leurs extrémités et calées en force avec des coins en bois sur l'autre. La fixation était manifestement assurée par un axe métallique, attestée par le trou percé dans le sens longitudinal du tambour. L'ensemble était maintenu dans son logement par des cales, coins et raidisseur. Les profondes saignées liées au passage de la corde qui marquent le tambour indiquent une absence de rotation. La défaillance de ce système de treuillage pourtant proche de ceux qui sont représentés dans l'iconographie de la fin du Moyen Âge est liée au contact des extrémités du tambour avec les traverses. Elle signale une erreur dans la prise des mesures avant la préparation des pièces ou un mauvais ajustement de l'assemblage lors de sa pose. Malgré cela, les mineurs n'ont pas pris le temps de rectifier sa construction et se sont

[94] Réseau le valat du Naduel (Bailly-Maître 2003, p. 98, fig. 1).

[95] Aménagements déjà connus par A. Daubrée : DAUBRÉE (A.), Aperçu historique sur l'exploitation des mines métalliques dans la Gaule, notice supplémentaire, *Revue archéologique*, Nouvelle série, Janvier à juin 1881, n°41, Paris, 1881, p. 216.

contentés de forcer le passage de la corde. Lors de l'abandon du puits, ce treuil défaillant a été laissé *in situ* tandis que le treuil sommital a probablement été récupéré conformément au code minier en vigueur. La conservation de dispositif de treuillage complet est rare que ce soit dans les mines antiques, médiévales ou modernes. Indépendamment de la réglementation et contrairement aux étais de soutènement, le treuil pouvait être facilement délogé de son contexte. Il pouvait être récupéré pour être remployé en contexte minier ou autre. La rareté de la documentation archéologique et l'homogénéité de la documentation iconographique indiquerait une certaine standardisation de ce matériel dès le Moyen Âge. Or, il faut rester prudent car il est très probable qu'il ait existé une plus vaste typologie de treuil liée à la diversité de leur implantation dans la mine, à leur fonction (exhaure, transports des matériaux ou les deux) et au recours ou non à un axe métallique ajoutant de l'efficacité à l'appareillage, mais étant d'un coût plus élevé qu'un treuil entièrement fabriqué en bois.

Retrouvés dans la portion légèrement inclinée du puits qui s'enfonce sous le treuil mobile jusqu'au ressaut, les vestiges de cadres attestent l'aménagement de glissières pour faciliter le passage des contenants treuillés. Le maintien naturel de la roche permettait de s'affranchir de tout système d'étayage. Les cadres étaient constitués de deux *longrines épontées sur les côtés des parois transversales et de deux traverses disposées perpendiculairement contre les parois. Les pièces conservées ne présentent pas de traces d'assemblage. Elles étaient simplement calées contre les parois légèrement entaillées. Les panneaux des glissières étaient constitués de larges planches jointes sur champ et fixées sur les cadres à l'aide de cales et de chevilles en bois. Les seaux ou les sacs étaient guidés par des battues installées de part et d'autre des panneaux. Ils glissaient sur les planches tirés par une corde qui passait autour du tambour du treuil mobile et remontaient à la verticale jusqu'au sommet du puits grâce au treuil (Bailly-Maître 1997, p. 231). Les parois inclinées du puits étaient probablement équipées d'échelle à barreaux ou de *Kletterbaüme*. Cette organisation simple reflète malgré tout une volonté de rationalisation des espaces de travail pour améliorer le rendement du transport vertical qui était bien maîtrisé en dépit de l'existence du tambour défaillant qui servait de guide plus que d'élément de treuillage. Elle préfigure l'organisation et l'équipement des puits de la Renaissance, tels qu'ils apparaissent dans le recueil d'Heinrich Groff.

La fouille de la mine médiévale du Donnerloch à Seinbach dans le Haut-Rhin a révélé les vestiges en place de trois puits boisés datés du XIIIe siècle (Bohly 2008, pp. 89-99). Dans deux cas, les boisages consistent en une succession de cadres rectangulaires de 1,8 x 0,9 m,

constitués de poutres de chêne grossièrement équarries de 12 à 15 cm de diamètre, assemblées par tenons et mortaises. Les cadres reposent à peu près tous les mètres sur deux poutres parallèles, disposées contre les côtés les moins larges du puits et dont les extrémités sont encastrées dans des réservations. Ces cadres destinés à maintenir les parois du puits ont servi à l'installation d'un cuvelage fait de poteaux et de planches jointes sur champ. Ici, contrairement à Brandes, les tenons épousent la forme de la mortaise. Ils y étaient logés à la masse (ou au marlin) depuis l'extrémité de la pièce mortaisée grâce à une ouverture de la cavité du côté de la coupe transversale. Donc, ici, c'est la forme de la mortaise qui permettait l'assemblage des pièces en force. La solidité et la finition de l'ensemble traduisent un souci de mise en sécurité du puits dont le fonctionnement était menacé par la chute des parois. Un autre puits présentait des équipements plus légers constitués de poutres de faible section assemblées par des chevilles offrant beaucoup moins de résistance que l'assemblage par tenons et mortaises. L'espace de manutention dans la zone sommitale était aménagé avec un plancher de fines planchettes pour régulariser le sol. Le choix de cette structure légère paraît lié à de meilleures conditions rocheuses. Or, dans ce cas, les mineurs n'auraient-ils pas pu s'affranchir de l'étayage ? Est-ce que ces cadres pouvaient revêtir une autre fonction ? Seule la fouille complète du puits permettrait de répondre avec précision à ces questions. Les équipements de treuillage pouvant équiper ces puits n'ont pas été retrouvés, mais leur présence est suggérée par un tambour de treuil en situation de réemploi dans le chantier remblayé. Il s'agit d'un rondin régulier légèrement blanchi, entaillé à environ 30 cm des extrémités de façon à former un cylindre de plus faible diamètre qui était logé dans les encoches des montants du châssis. Le tenon taillé à l'extrémité de la pièce présente une forme de palette pouvant s'emboîter dans la mortaise traversante du manche d'une manivelle (Bohly 2008, p. 98). Cette conception simple du tambour permet l'économie d'un axe métallique et d'une opération de forage, mais sa manutention devait être plus délicate et laborieuse. Les assemblages des différentes pièces du dispositif devaient être parfaitement réalisés (absence de jeu). Ce système équipait encore certains puits du siècle dernier comme cet exemple de treuil photographié dans la mine d'or de Rosia Montana en

Fig. n°31 : Treuil en bois dans la mine de Rosia Montana en Roumanie au début du XXe siècle, (tiré de Slotta et al. 2001).

Roumanie presque conforme à l'exemple de restitution proposée pour le treuil de la mine médiévale de Donnerloch (*cf.* fig. n°31, p. 758 et Bohly 2008).

Ces exemples de puits boisés ne présentent pas véritablement de compartimentation verticale (cadres supérieurs bi- ou tripartites), typique de la spécialisation et de rationalisation des aires de travail aux XVe et XVIe siècles (Ancel, Fluck 1988 ; Ancel 1990c ; 1992b). Or, elle a été attestée à la tête du puits P15 à Saint-Laurent-le-Minier daté du XIIIe siècle équipé apparemment d'un double compartimentage pour la remontée des cuveaux et la circulation des ouvriers, et dans la mine gallo-romaine des Anglais à Massiac (Cantal) (Tixier 1978 ; Bailly-Maître 2003, p. 110). Malgré la rareté de tels aménagements dans toutes les mines médiévales étudiées jusqu'à ce jour, rien ne permet dorénavant d'exclure leur recours dans les puits équipés de treuil dont l'étude demeure encore trop partielle. D'ailleurs, le puits Le Naduel RD 10 à Saint-Laurent-le-Minier préfigure une véritable rationalisation des espaces disponibles, intimement liée au contexte rocheux et à la profondeur des travaux, pour une meilleure gestion et rentabilité du travail (Bailly-Maître 1997).

II.3.3. Chantiers

Soutènement

L'extraction du filon crée un trou fragilisant l'intégrité de la masse rocheuse et pouvant engendrer des éboulements. Le recours au soutènement[96] prévient ce danger tout en autorisant la poursuite de l'extraction dans les trois directions. Les mines d'or gauloises du Limousin ont livré de nombreux systèmes d'étaiement élaborés qui n'ont rien à envier aux soutènements en bois des mines de la fin du Moyen Âge et du début de la Renaissance dont la seule illustration connue est celle de la Rouge Myne de Sainct Nicolas.

[96] Le soutènement dans les chambres d'exploitation pouvait être parfaitement géré, nous l'avons dit plus haut, par des piliers de minerai laissés en place ou des murs en pierre sèche. Cette technique qui permet l'économie d'un coût non négligeable en bois a été adoptée depuis des périodes très hautes dans de nombreuses mines comme au Laurion : ARDAILLON (É), *Les mines du Laurion.…*, pp. 54-55.

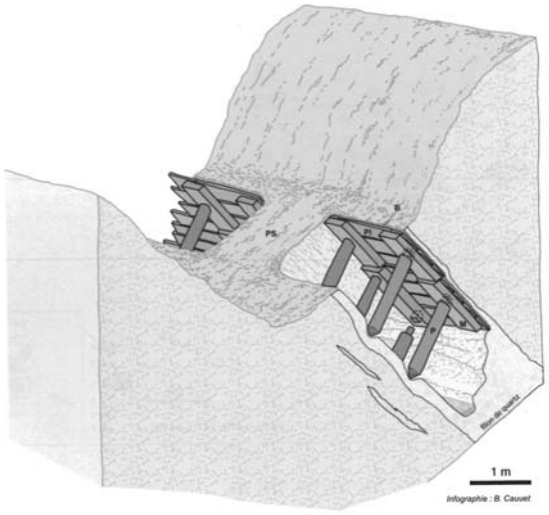


Fig. n°32 : Reconstitution du système de boisage complexe mis en place dans les chantiers inclinés des Fouilloux (tiré de Cauuet 2008, p. 58).

Le site gaulois des Fouilloux (Jumilhac, Dordogne) a livré dans une série de chantiers inclinés des étaiements réalisés avec des poteaux massifs dont l'inclinaison suivait le pendage du filon. Ils étaient d'un côté encastrés en force dans la roche entaillée et de l'autre, côté surplombant, fixés par un tenon logé dans des chapeaux transversaux mortaisés qui retenaient une couverture longitudinale de planchettes, calfeutrée par des fibres végétales (fougères, feuilles, brindilles) (Cauuet 2000, p. 140 ; Cauuet 2008, pp. 58-60). Le même type de structure a été observé dans la partie nord du chantier vertical DEP3 de La Fagassière (Cauuet 1997 ; 2008, p. 59 ; fig. n°32, p. 760). Certains chantiers verticaux étaient étayés sur toute leur profondeur avec des étais transversaux épontés d'un côté et bloqués de l'autre côté par une ou deux planchettes calées en force entre l'étai et la roche (Cauuet 2008, p. 59). Ce système identique à celui de la Rouge myne, mais aménagé horizontalement, a été observé dans la partie sud du chantier gaulois de La Fagassière (DEP3) (Cauuet 2000, p. 139). Ce site a également livré un système d'étayage constitué de cadres agencés verticalement. Les montants assemblés par tenons et mortaises maintenaient un coffrage de planches comprimé contre la paroi par les poussards (étais transversaux) (Cauuet 2008, p. 60). L'étayage dense observé dans ces chantiers avait un double emploi puisqu'il permettait la circulation verticale et horizontale des mineurs qui n'avaient pas besoin d'échelle. Cette notion de « double emploi » d'un système d'étayage est primordiale puisqu'elle prédomine dans les mines médiévales étudiées où le renforcement des parois des chantiers était en partie assuré par les remblais associés ou non à des boisages. À Fangeas, la roche étant massive, seule une série d'étais transversaux calés en force assuraient le confortement de la fosse.

L'extraction d'un filon vertical ou subvertical implique à un moment donné la construction de plate-forme de travail. Lorsque le filon est attaqué du bas vers le haut, les stériles stockés au pied des mineurs pouvaient servir de plancher, économisant de la sorte le bois pour la plate-forme et pour l'étayage des parois. Dans ces conditions, on peut supposer l'utilisation d'un petit plancher en bois mobile placé à proximité du front de taille qui faciliterait le tri et la récupération du minerai riche pour l'évacuer vers l'extérieur. De tels

aménagements n'ont encore jamais été découverts dans les remblais. Dans certains cas, l'exploitation d'un chantier remblayé consiste à traverser la puissance du filon avec une galerie boisée (ou non si la roche est dure) et de poursuivre l'extraction au niveau de son plafond aménagé de façon à supporter de grandes quantités de déblais, créant une fausse-galerie. À Brandes, un petit chantier du secteur de l'Écluse, exploité de la sorte, a conservé cette plate-forme de stockage formant aussi le plafond d'une fausse galerie avec de simples traverses épontées inclinées de façon à suivre le pendage du filon (Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994, n. 1, pp. 60-61).

Dans la mine de Donnerloch, déjà mentionnée plus haut, une section de galerie datée de la fin du XIIIe siècle destinée à relier le chantier avec le jour au niveau du thalweg s'apparente aux fausses-galeries médiévales car elle a été entièrement ouvragée dans les remblais (Bohly 2008, p. 95). L'étaiement consiste en une série de cadres, espacés environ d'un mètre et constitués de deux montants verticaux et d'une traverse, assemblés par tenons et mortaises. Ce mode d'assemblage a également été utilisé dans les cadres de puits de la même mine. Les montants, deux poutres de chêne de 10 cm de côté, reposent sur des semelles en bois entièrement enfoncées dans le sol de la galerie. Leur hauteur atteint 1,70 m tout au plus et leur largeur ne dépasse pas 45 cm. Des planches et des pieux arrangés autour des cadres constituent le coffrage.

Dans la même mine, une galerie de reprise datée du milieu du XVe siècle, traverse l'exploitation dans toute sa longueur. Une section fouillée sur 12 m de longueur a été aménagée dans les remblais. Son boisage réalisé en sapin est aussi composé de cadres agencés à peu près tous les mètres. Or, les montants et les traverses sont de simples rondins « bruts » parfois légèrement blanchis, assemblés par une entablure d'angle. Les montants sont posés sur de gros galets provenant de la rivière pour éviter leur enfoncement dans les remblais. Des planches et des quartiers glissés entre les cadres et la paroi de remblais ont servi de coffrage. Leurs extrémités postérieures étaient taillées en larges biseaux de façon à traverser plus aisément la masse de remblais dont la pression assurait la cohésion et la stabilité de l'ensemble de la structure.

La comparaison de ces deux derniers exemples tirés du même site, mais d'ouvrages exploités à plus d'un siècle et demi d'écart, est particulièrement intéressante. Elle met en évidence un changement de parti pris technique à la fin du Moyen Âge : les pièces de bois d'abord proprement équarries ne sont plus que légèrement blanchies, le sapin remplace le chêne et les assemblages par entaillure et entablure, détrônent le tenon et la mortaise.

Toujours dans la mine de Donnerloch, le centre du chantier remblayé a livré une série de poutres ouvragées en situation de réemploi pour l'étayage. Une d'entre elles, représentative de l'ensemble, a été étudiée plus précisément et a fait l'objet d'un dessin publié (Bohly 2008, p. 97). Elle conserve malgré des arrachements à ses deux extrémités une longueur de 2,61 m. Une de ses faces est creusée d'une longue rainure dont la profondeur est variable et forme des sortes de paliers successifs. Elle se termine à une extrémité par une cupule de forme arrondie qui serait le résultat d'une usure par frottements réalisés par une pièce mobile dont la fonction n'est pas évidente. À mi-longueur, elle est perforée de part et d'autre par des gros trous de chevilles correspondant à la fixation d'une poutre perpendiculaire. D'autres trous de chevilles sont forés à l'une des extrémités de la poutre et dans la rainure attestant l'emplacement d'autres éléments. Pour notre part, cette rainure indique que cette pièce de bois était destinée à recevoir des planches d'une paroi. Ce mode d'assemblage, attesté dès la protohistoire (Pillonel 2007, p. 147), est encore utilisé pour la charpenterie rurale du monde alpin notamment. Des structures en bois relativement complexes équipaient donc le chantier avant que les pièces détachées les plus solides soient remployées pour l'étayage. L'étude partielle de ce corpus du bois ne donne pas de conclusions plus précises. On peut juste souligner l'usage de bois de remploi pour l'étayage des fosses pouvant compliquer la datation des différentes phases d'aménagement d'un chantier.

Plancher de stockage et de circulation

L'iconographie des XVe-XVIe siècles n'évoque jamais la question du stockage des déblais dans les chantiers, ni même celle de la circulation et des espaces de travail aériens, aménagés dans les grandes salles verticales ou subverticales. Seule l'archéologie a permis d'aborder de manière frontale ces problèmes, et offre des éléments de comparaison avec Fangeas.

Fig. n°33 : Plancher Brandes (Bailly-Maître 2008, p. 53, fig. 9).

Le secteur de l'Écluse à Brandes abrite un grand chantier subvertical haut d'une vingtaine de mètres, long d'une dizaine de mètres et large de 1,20 m, compartimenté en trois salles, quatre planchers encore en place dont l'emplacement de certains étais a pu être restitué grâce aux réservations dans la roche[97] (*cf.* fig. n°33, p. 763). Certaines d'entre elles ont une morphologie particulière. Sur un des côtés, le rebord de la réservation est aplati de façon à y faire glisser plus aisément la pièce de bois en force (Bailly-Maître 2002, p. 107). Espacés de 0,60 à un mètre, les étais transversaux sont de simples rondins épontés sur leurs extrémités et apparemment écorcés. Mais l'absence d'écorce, pouvant facilement disparaître suivant les conditions de conservation, ne signifie pas forcément l'utilisation de pièces écorcées. Les bois longitudinaux, des branches et des troncs refendus ou non dans la longueur, dont la longueur n'est jamais supérieure à 1,20 m, étaient alignés côte à côte. Les pièces n'étant pas toujours rectilignes, les jours étaient bouchés par des lauzes de façon à assurer une meilleure circulation (Bailly-Maître 2002, p. 107). À Fangeas, les pierres posées par endroits sur le plancher ont plus une fonction de calage. La largeur des planches disposées sur les étais offraient une aisance suffisante pour la circulation.

Contrairement à l'exemple de Fangeas, les planchers de Brandes supportaient de grandes quantités de stériles. Leur conservation a permis de reconstituer la dynamique opératoire de l'exploitation du chantier et la datation dendrochronologique des bois permet de suivre, année par année, de 1212 à 1226, la progression du chantier (Bailly-Maître 2002, p. 109). Comme à Fangeas, les mineurs ont manifestement attaqué le filon horizontalement. À un moment donné, pour poursuivre l'extraction simultanément en longueur et en profondeur, ils ont aménagé une plate-forme de service qui par la suite a servi au stockage d'une partie des

[97] De tels aménagements moins bien conservés existaient dans les mines cévenoles. Leur emplacement a pu être restitué grâce aux encoches de poutres taillées dans la roche. Leur structure, composée de petits branchages disposés de façon longitudinale sur les poutres transversales, paraît néanmoins plus légère (Bailly-Maître 2002, p. 109).

stériles. Au moins un des quatre planchers qui est fortement incliné ne pourrait avoir servi qu'au stockage des stériles. Mais, les mineurs peuvent cheminer le long de la paroi, au niveau de l'angle le plus ouvert, comme l'analyse stratigraphique l'a démontré à Fangeas. L'inclinaison du plancher ne constitue donc pas un handicap pour la circulation. Les planchers de stockage ne présentent *a priori* pas de différence majeure avec les planchers de circulation puisque leur usage est toujours double : la majorité des structures conservées avaient une première vocation de circulation, comme un échafaudage, avant de servir au stockage des déblais. À ce moment, ils pouvaient éventuellement être renforcés. À Brandes, la solidité des ancrages des étais transversaux calés en force indiquerait une anticipation des mineurs. À Fangeas, les réparations du plancher suggèrerait au contraire une mauvaise évaluation de sa capacité de stockage. Or, étant donné sa proximité avec la surface, il est plus probable que les faiblesses du plancher soient plutôt dues à un abandon de la mine pendant une durée trop longue. Le démontage des planchers de Brandes a permis de retrouver à l'interface des bois et des parois rocheuses des mousses végétales formant une sorte de calfatage[98] comparable à celui qui avait été observé dans les mines d'or du Limousin (Bailly-Maître 2008, p. 53). Ces végétaux médullaires permettaient une compression optimale de l'étai contre la paroi en évitant de laisser des vides. Rien de tel n'a été observée à Fangeas. Les mousses végétales retrouvées dans le comblement de la fosse du Grand Puits ont servi à calfeutrer les jours du plancher qui couvrait le Grand Puits.

Un plancher comparable à celui de Fangeas et à ceux de Brandes, daté de 1190-1280, a été retrouvé dans la mine contemporaine de Largentière en Ardèche (Bailly-Maître 2002, p. 109). Mais, les bois étaient très mal conservés. Seules les réservations restituent *pro parte* leur forme originelle.

Le site gaulois de La Fagassière (Château Chervix, Haute-Vienne) a livré des plates-formes de travail proches de celles de Brandes dans la partie sud du chantier DEP3 (Cauuet 1997). Elles étaient constituées d'étais transversaux, de jeunes fûts de chêne ou de hêtre de 15 à 20 cm de diamètre régulièrement espacés, épontés ou calés en force contre les parois à l'aide de cales en bois. Ces aménagements quadrillaient l'espace de façon à créer plusieurs étages. Leur couverture était constituée de planches à cheval sur plusieurs poteaux et les jours étaient bouchés par des branchages refendus ou non dans leur longueur. Contrairement à Brandes,

[98] La mousse végétale retrouvée dans le fond et sur les parois du puits de la mine de Campolungo datée de l'Âge du fer a été interprétée comme un matériau de calages et de calfeutrage des boisages d'un plancher de remblaiement (Ancel *et al.* 1998, p. 167).

ces aménagements de structure plus légère (poteaux transversaux de faible diamètre) n'ont pas servi au stockage des stériles, mais ont facilité leur évacuation et leur stockage dans la partie nord du chantier riche en remblais.

II.3.4. Équipements d'accès et outillage

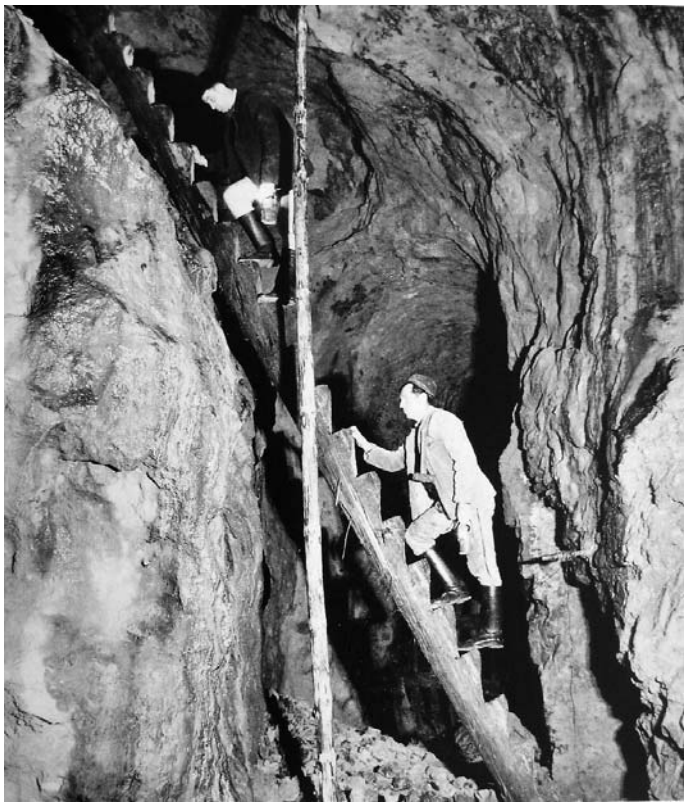


Fig. n°34 : Kletterbaum équipant un chantier dans la mine moderne de Rosia-Montana en Roumanie (tiré de Slotta et al. 2001).

Comme déjà dans la mine antique, la mine médiévale voit coexister deux équipements de circulation verticale : l'échelle à barreaux et l'échelle monoxyle (*Kletterbaum*) comme cela est illustré dans le graduel de Kutna-Hora (*cf. supra*, p. 730). Dans l'iconographie, l'échelle à barreaux équipe traditionnellement les puits. Elle sert à la circulation verticale des mineurs et plus rarement au transport des matériaux à dos d'homme qui était assuré par treuillage. Contrairement au *Kletterbaum* qui est utilisé à peu près comme une échelle de meunier, l'échelle à barreaux est plus adaptée pour les hautes portées verticales. Le modèle intermédiaire découvert à Kutna-Hora peut être utilisé de façon plus redressé que le *Kletterbaum* classique, grâce à ses encoches traversantes. Les mines antiques ibériques du District de Cartagena-Mazarron situé dans le sud-est de l'Espagne, ont livré de grands *Kletterbaüme* pouvant mesurer jusqu'à deux mètres de longueur (Domergue 1990, p. 432, n. 35). Malheureusement, ils n'ont pas été retrouvés en place. On peut néanmoins restituer la position d'un grand *Kletterbaum* contre une paroi rocheuse grâce à l'ethnographie (*cf.* fig. n°34, p. 765). La nécessité de placer le *Kletterbaum* incliné, de façon à ce que l'appui des pieds soit presque perpendiculaire à la jambe pliée du mineur, pour qu'il puisse se tenir

debout, impose des emplacements relativement spacieux. Cet équipement est donc idéal pour circuler dans les grands chantiers, mais paraît trop encombrant pour circuler dans des puits étroits ou compartimentés. Son usage traditionnel est bien illustré dans la mine médiévale du Fournel où deux *Kletterbaüme* installés, côte à côte dans un chantier des Vieux Travaux, servaient à équiper un petit ressaut de 2 m de hauteur entre deux niveaux de galeries (Ancel 2008c, p. 76).

Le puits boisé du secteur de l'Écluse à Brandes était équipé d'une échelle à barreaux, haute de 3,80 m et large de 50 cm[99] (Bailly-Maître 2002, pp. 102-103). Les barreaux dont neuf sur douze ont été conservés, sont assemblés aux montants, de jeunes troncs proprement équarris sur leurs quatre faces, par tenons traversants et mortaises. L'assemblage était consolidé par des chevilles en bois qui traversent de part en part la face parementée des montants. Sur les neuf barreaux conservés, sept présentent une forme oblongue et un profil de chapeau de gendarme renversé (ou ventre de poisson). Ce type de barreaux non rectilignes a perduré à travers les siècles puisqu'il a été retrouvé dans les mines modernes de Ulmer Zech (District de Sainte-Marie-aux-Mines) (2ème 1/2 du XVIIe s.), et du Fournel (XVIIIe siècle). Leur utilisation demeure problématique. La solidité des barreaux étant principalement assurée par la qualité de l'assemblage, leur profil bombé n'améliorait guère leur résistance. D'après, L. Maggiori cette forme serait liée au mode d'assemblage (Maggiori 2001, p. 65). Cette hypothèse n'est pas vraiment convaincante dans le cas d'un montage des pièces en surface, mais peut s'avérer pertinente dans le cas où les éléments seraient assemblés dans des travaux exiguës sous terre. Cela implique que certaines échelles aient pu être démontables.

L'iconographie et les textes du XVe siècle suggèrent l'utilisation d'une large variété de contenants en bois et en autres matériaux périssables (cuir, osier, tissu), nécessaires à l'évacuation des déblais, du minerai et de l'eau. Leur typologie est directement liée à leur mode de transport : traînage, portage à dos d'homme, treuillage. Encore une fois, les recherches archéologiques conduites dans les mines espagnoles antiques ont livré un riche matériel, plutôt rare et peu ou mal étudié dans les mines médiévales[100] : basnes en spart,

[99] Le puits boisé de la mine de Donnerloch mentionnée plus haut était probablement équipé d'échelles à barreaux attestées par des fragments brisés de barreaux découverts dans le dépotoir (Bohly 2008, p. 97).

[100] Les mineurs protohistoriques utilisaient déjà du matériel en bois, voir par exemple Craddock 1993, p. 320.

couffins en cuir[101], divers seaux en bois (Domergue 1990, pp. 351-352, n. 35 ; Bailly-Maître 2002, p. 110). On sous-estime sûrement le recours à la vannerie et à la sparterie. Faisant partie des plus anciennes techniques d'assemblage, la vannerie consiste à fabriquer divers objets à partir de longues tiges ligneuses ou de lanières de *liber* (sous-écorce) tressées. En Europe, les brins traditionnellement utilisés proviennent de plusieurs espèces de saules – ils prennent alors le nom d'osier, utilisé par extension de langage pour qualifier les objets en vannerie – comme l'osier brun (*Salix triandra*) ou le saule des vanniers (*Salix viminalis*) (Chabal, Feugère 2005, p. 141). Les paniers ou d'autres objets peuvent être montés ou renforcés avec des éclisses de bois, montants, lattes ou fonds, réalisées avec une large palette d'espèces. L'usage de ces renforts est très probable pour la vannerie de mine dont la solidité était mise à rude épreuve. La sparterie consiste à fabriquer des contenants, cordes, ficelles, nattes et tapis avec des matériaux herbacés (tiges et feuilles). Lorsque la fibre végétale tressée est issue du rouissage et du teillage de tiges, d'écorces ou de feuilles, la limite entre la sparterie et le tissu devient flou (Chabal, Feugère 2005, p. 143).

Les études anthropologiques réalisées sur les dépouilles des mineurs de Brandes ont révélé des atteintes enthésopathiques liées au portage : altération de l'insertion ligamentaire ou du tendon (Bailly-Maître 2002, p. 111). Les vestiges des contenants portés à dos d'homme n'ont pas encore été retrouvés. Dans les réseaux souterrains, seules ont été retrouvées des douelles en bois présentant un *jable et une incision en haut de la pièce pour ligaturer le cuveau (Bailly-Maître 2002, p. 111).

Le corpus de bois exhumé dans la mine médiévale de Donnerloch, dont l'étude et la publication demeurent préliminaires, constitue une exception (Bohly 2008, pp. 96-99). La base du puits n°2 a fourni une série de deux cents fragments de bois accumulés dans un dépôt d'argiles noires interprété comme un dépotoir. Le démontage des cuvelages des puits boisés a livré une série de planchettes de rebut souvent en position de réemploi. L'observation de ces fragments de bois a permis de reconnaître une cinquantaine de planchettes en sapin provenant de seaux, cuveaux et baquets brisés, de formes et de tailles variables. L'essentiel de ce corpus est constitué de douelles. Elles présentent pour la plupart un jable situé à environ 3 cm de leur extrémité. Trois d'entre elles sont ajourées de trous pour insérer les préhensions. Seulement

[101] Les contenants utilisés dans les mines de l'Antiquité, exploitées dans les régions du Sud de l'Europe, étaient surtout confectionnés en cuir, en vannerie et en sparterie. Ces matériaux extrêmement fragiles n'ont pas toujours été conservés et leur reconstitution, notamment pour l'Antiquité grecque, est en grande partie basée sur l'iconographie et les sources écrites, ARDAILLON (É), *Les mines du Laurion.…*, n. 3 et 4, p. 23.

quelques fragments de pièces de fond et des baguettes d'assemblage complètent cet ensemble dont l'étude typologique permettrait d'en savoir plus sur la taille et la forme des différents contenants. Aux contenants, il faut ajouter quelques coins, un fragment d'auge, une série de manches d'outils brisés et des fragments de planches curvilignes percées de plusieurs trous dont l'usage est indéterminé. Pour cette série d'objets, nous ne disposons pas d'informations plus précises – mesures, formes, essences de bois, traces d'outils – à l'exception des manches dont la taille réduite laisse penser à des emmanchures de pointerolles (Bohly 2008, p. 97).

II.3.5. Les dispositifs d'exhaure

Les dispositifs d'exhaure en bois complexes décrits dans le *De re Metallica* d'Agricola (pompes aspirantes et roues à chaînes et godets) n'ont encore jamais été mis au jour dans les mines médiévales situées dans les limites de la France actuelle et même de façon plus large dans toute l'Europe médiévale. Les sites étudiés révèlent que l'exhaure était principalement gérée par le percement de galerie, avec une légère pente, sous le niveau des travaux exploités. Ce système était facilité par le relief dans les zones de montagnes, mais il est très probable qu'il ait été assisté par l'écopage manuel, notamment avant que les chantiers soient reliés au réseau d'exhaure. Le percement de telles galeries pouvait s'avérer délicat car il demandait une parfaite connaissance de la géologie du gisement. Les textes déjà mentionnés plus haut révèlent que bien souvent l'exploitant ou le possesseur de la mine devait avoir recours à des ouvriers spécialisés pour relancer l'exploitation dans les mines inondées (Braunstein 2003, pp. 179-180).

Les rares dispositifs de treuillage connus pouvaient servir à remonter des outres ou des cuveaux remplis d'eau. Mais, les découvertes réalisées à ce jour n'ont encore jamais mis en évidence des treuils spécialement aménagés pour évacuer l'eau. Malgré tout cette possibilité n'est pas à exclure compte tenu des lacunes de la documentation archéologique. Pour canaliser les eaux d'infiltration et de ruissellement depuis les chantiers jusque vers les galeries de drainage, les mineurs ont creusé des petits chenaux dans le sol des galeries (au centre ou le long d'une paroi) (Bailly-Maître 1997, p. 228). Ils pouvaient compléter ces aménagements par des goulottes ou des tuyaux en bois, dont l'usage est certifié par les textes à partir du XVe siècle, mais dont les vestiges demeurent trop rares pour ébaucher une typologie. Les mines

d'or des Fouilloux et de La Fagassière ont livré des goulottes en bois qui avaient la forme de longues tuiles canal. Elles étaient aménagées avec un léger chevauchement les unes sur les autres pour canaliser les eaux d'infiltration vers les galeries d'exhaure (Cauuet 1999, n. 48, p. 55 ; 2008, p. 59). À l'exception de ces aménagements, les découvertes archéologiques n'ont jamais révélé de machine d'exhaure complexe impliquant un savoir théorique et technique élaboré pour leur conception et de leur adaptation au milieu souterrain.

Les premières pompes à bras présentant des caractéristiques plus simples que les pompes d'Agricola ont été découvertes dans les Vosges et remontent à la fin du XVe et au début du XVIe siècle (Bohly *et al.* 1985). Leur conception procédait du principe d'aspiration de l'eau. Or, la mauvaise étanchéité du mécanisme, entre le piston et la chemise des tuyaux, les rendait « foulantes » (Maggiori 2001, pp. 93-94). Ces premiers modèles sont les témoins d'une phase de recherches et d'expérimentations confirmée par certains comptes d'exploitation qui soulignent leur coût important (Cabourdin 1969, n. 31, pp. 104-106). Ils expliquent en partie leur absence dans la mine médiévale, alors que des systèmes de pompes foulantes – inventés vers le IIIe siècle avant notre ère par le mécanicien Ctésibius – probablement plus efficaces, étaient appliqués au contexte minier durant l'Antiquité[102].

L. Maggiori suppose l'utilisation de la vis d'Archimède dans les mines médiévales puisqu'elle est attestée dans certaines mines gauloises et romaines. Or, il faut se résoudre à réfuter cette hypothèse car ce système d'appoint, nécessitant un montage en batterie pour être à peu près efficace, n'est pas du tout adapté à l'architecture de la plupart des réseaux médiévaux connus et aux importants problèmes d'exhaure qu'ont pu rencontrer certaines mines profondes. D'ailleurs, il n'a même jamais été repris dans les mines modernes et n'est jamais décrit ou mentionné dans les traités miniers de la Renaissance.

L'usage des roues hydrauliques dans les mines médiévales est mal connu, pour ne pas dire inconnu. Aucun exemplaire archéologique n'a été découvert à ce jour. Le système installé à Goslar vers 1360 dans un puits de 22 m serait constitué de norias à petites outres en cuir ou à récipients en fer fixés à une chaîne sans fin actionnée par une roue à augets simple (Fluck *et al.* 1996, p. 27). Mais aucun élément archéologique ne permet de valider cette hypothèse.

[102] Voir l'exemple des pompes foulantes de la Sierra de Cartagena et de Sotiel-Coronada avec éléments métalliques (Domergue 1990, pp. 457-460, n. 35). Ils existent des modèles en bois comme les pompes de Périgueux et de Metz (Sablayrolles, Lacour 1988, n. 130, pp. 142-144).

Les mineurs du Moyen Âge ont donc préféré résoudre le problème de l'exhaure par le biais du percement de galeries de drainage et de l'écopage manuel, solution qui repose intégralement sur l'efficacité du labeur humain et le savoir-faire de chefs mineurs. L'utilisation d'engins complexes ou volumineux, nécessitant un entretien permanent et surtout un investissement de base lourd, n'était pas appropriée au mode de gestion des ressources minières à cette époque, notamment aux Xe-XIIIe siècles. Durant cette période de véritable explosion de l'exploitation des mines d'argent, le pouvoir central était faible et l'industrie minière reposait en grande partie sur l'initiative privée[103], plus ou moins bien cadrée, protégée, valorisée et dynamisée par l'autorité publique dont l'implication financière demeurait maigre. À la fin du Moyen Âge et surtout à la Renaissance, l'apparition des machines d'exhaure est en relation directe avec une apogée des savoir-faire et le développement de la pensée humaniste, mais surtout avec l'architecture des réseaux miniers plus vastes et plus profonds, répondant à une volonté d'organisation rationnelle des espaces.

II.3.6. Le carreau de la mine

Fig. 35 : Enfants chargés d'opérations minéralurgiques (traitement des sables) sur le carreau de mines d'or de Rosia Montana (tiré de Slotta et al. 2001).

Le carreau de la mine peut faire l'objet d'aménagements divers pour stabiliser le terrain alentour, structurer une aire de travail (entretien de l'outillage, manutention, préparation mécanique), protéger les voies d'accès des intempéries ou encore offrir une aire domestique au mineur (fig. n°35, p. 770). Il est illustré dans la majorité de la documentation iconographique des XVe-XVIe siècles. Son aménagement avec des structures en bois ou en pierre couvertes fait l'objet d'articles spécifiques dans certains textes réglementaires médiévaux. Or, les fouilles archéologiques réalisées à ce jour sur les carreaux

[103] Concernant la Lombardie voir à ce sujet Menant 1987, p. 786.

de mines n'ont offert la plupart du temps que des indices ténus, particulièrement concernant les équipements et les structures en bois qui n'ont pas été conservés[104] (Bailly-Maître 2003).

Sur le site de Petra Alba (terre d'Hierle), la fouille de carreaux miniers a permis de découvrir au débouché d'un travers-bancs (TB1), les vestiges d'un porche d'entrée et, en avant de la galerie, dans l'espace compris entre le porche et le sommet d'une halde, une série d'aménagements dont un édifice sur poteaux (Bailly-Maître 2003, p. 107). Un espace situé en surplomb de la halde a été dégagé sur une surface, large de 3,50 à 4,50 mètres, grâce à l'aménagement du sol rocheux retaillé par endroits et remblayé à d'autres. Sa fouille minutieuse a révélé une série de quatorze trous de poteaux creusés pour la plupart directement dans le sol rocheux. Ils supportaient la couverture d'un atelier en appentis, manifestement à vocation minéralurgique, composé de deux fosses de lavage (extérieure et intérieure) dont l'une a été apparemment cuvelée par des planchettes, d'un petit foyer et d'une table de broyage (Bailly-Maître 2003, pp. 107-109). Une autre construction sur poteaux, séparée de la précédente par l'entrée de la galerie, a été mise en évidence à l'ouest du porche, mais elle peut correspondre à une extension du premier bâtiment. Les vestiges conservés ne permettent pas de caractériser précisément le mode de construction de ce (ou ces) bâtiment (s). La toiture qui n'a pas laissé de vestige identifiable pouvait se composer de matériaux périssables (branches, planches ?). La structure légère de ce bâtiment entièrement conçu en matériaux périssables rappelle les petits abris à vocation minéralurgique, construits sur les abords de la mine d'or de Rosia Montana en Roumanie encore au siècle dernier (*cf.* fig. n°35, p. 770). Ce type d'aménagement spartiate répond aux besoins immédiats des mineurs. Leur durée de vie est courte et ils peuvent facilement subir des réaménagements. Ainsi, l'édifice à poteaux du carreau du TB1, a été relayé par un édifice en pierres sèches reprenant le plan de la structure primitive. Il est agrandi et scindé en deux, avec une forge d'appoint qui reprend en partie les aménagements antérieurs, et une pièce à vocation plus difficile à déterminer, peut-être destinée au stockage des matériaux et au repos des mineurs. L'usage d'appoint de ces bâtiments sur poteaux, subissant des modifications de fonction, est en partie confirmé par l'existence probable d'ateliers sur le flanc de la colline et le long du chemin des mineurs où des structures en pierre sèche sont enfouies dans la végétation (Bailly-Maître 2003, p. 109).

[104] Pour les Vosges et la Forêt-Noire, P. Fluck et B. Ancel supposent que les ateliers médiévaux sur le carreau de la mine étaient bien souvent des « structures légères à toit rudimentaire, en bois, supporté par 4 ou 6 poteaux ». Ils citent la découverte d'une laverie médiévale dans le Haut-Altenberg à Sainte-Marie-aux-Mines marquée par un chapelet de vasques de décantation coniques creusées dans les haldes du Xe siècle et alimentées par un canal (Fluck, Ancel 1989, pp. 188-189).

- . -

Malgré le développement croissant des analyses dendrochronologiques[105], ce tableau brossé avec une volonté de synthèse met en évidence l'extrême rareté des études dendrologiques accordant une place de premier ordre à l'analyse des propriétés physiques des bois et des essences utilisées, aux traces d'outils ou encore aux modes de débit et de façonnage. On note des tentatives, mais qui demeurent trop liminaires, soit à cause du manque de données lié à des découvertes trop ponctuelles – rares sont les mines médiévales fouillées dans leur ensemble – soit à cause de l'absence de consensus des archéologues miniers au sujet de l'étude dendrologique et technique des bois de mine, et cela malgré des efforts récents (Bailly-Maître 2008 ; Bohly 2008). Pour argumenter notre propos, il suffit de constater le manque de convention concernant le dessin technique des pièces de bois (éléments de boisage ou outils) découvertes dans les mines médiévales et de façon plus large pour toutes les périodes (Bailly-Maître *et al.* 2008). À laquelle, on peut ajouter le défaut total d'étude et d'analyse des déchets de taille et des chutes qui peuvent donner des informations très précises sur les outils utilisés et le mode de débit et de façonnage (Sands 1997 ; Arnold 1999 ; Chabal, Feugère 2005 ; Pillonel 2007). Parallèlement à ces remarques, il faut reconnaître les problèmes intrinsèques à ce matériau nécessitant une étude rapide, bien souvent impossible, à cause des difficultés de conservation et des faibles capacités de stockage à long terme. Ils ont sans aucun doute joué sur la limite des études dendrologiques des bois de mines réalisées jusqu'à ce jour. Toutes ces considérations posent le problème du niveau de représentativité du matériel découvert, généralement dans les zones les plus accessibles et sécurisées, qui ne coïncide pas forcément avec l'ensemble d'un site dont l'exploitation a pu perdurer pendant plusieurs siècles et se développer à des niveaux de profondeur variables déterminant à chaque fois des problèmes techniques particuliers (Maggiori 2001, p. 10). Il faut ajouter à cette notion de durée celle de reprise. Il n'est pas rare qu'un site exploité au Moyen Âge ait fait l'objet de multiples reprises modernes, voire contemporaines, engendrant la destruction partielle ou totale des installations primitives. Dans les mines ouvertes par le feu, les couloirs boisés et tout autre système d'étaiement élaboré sont absents car la roche assure un équilibre naturel,

[105] Voir par exemple l'étude dendrochronologique des éléments de boisages des mines du Limousin (Cauuet 2000, pp. 134-135).

dispensant la plupart du temps la mise en place d'ouvrages de consolidation. Or, les ouvrages d'assistance sont nécessaires dès que les travaux s'enfoncent en profondeur. Ils constituent la majorité des équipements en bois découverts dans les travaux fouillés. Il faut constater que la plupart des techniques d'étayage et d'assemblage caractérisées dans les mines médiévales existaient déjà durant l'Antiquité et ont persisté durant presque toute la période moderne. Les données acquises dans le Centre-Ouest de la France et en Roumanie pour l'époque gallo-romaine, dans le sud de la France et les Alpes au Moyen Âge et dans le massif des Vosges au XVIe siècle montrent, en dépit de la diversité des systèmes étayés, une récurrence de modèles d'assemblages et des aménagements pour faciliter l'accès au minerai, excluant les particularismes régionaux. L'assemblage par tenons et mortaises paraît privilégié durant l'époque médiévale pour la confection des cadres de galeries ou de puits. L'assemblage à mi-bois paraît être une spécificité de la fin de l'époque médiévale et de la Renaissance. Les exemples étudiés à ce jour n'ont jamais permis d'identifier l'assemblage par queue d'aronde pourtant utilisé dans les mines antiques de Camaréza en Grèce[106].

Deux mots suffiraient à qualifier ces ouvrages en bois : rusticité et efficacité. Cette constatation soulève des questions cruciales : la charpenterie de mine est-elle toujours l'œuvre d'ouvriers spécialisés ? Le jugement de la qualité et de la résistance des roches à étayer relève-t-il d'un véritable savoir-faire ou des connaissances empiriques peuvent-elles suffire à répondre efficacement à ce problème ? Existaient-ils des mineurs charpentiers itinérants dès l'Antiquité ? La récurrence des choix techniques en contexte minier n'est-elle plutôt pas liée à la persistance de traditions dans le travail du bois ? En effet, les procédés techniques mis en évidence dans les mines depuis l'Antiquité ne relèvent-ils pas plus d'un savoir-faire « ancestral » ancré dans les habitudes ?

[106] ARDAILLON (É), *Les mines du Laurion…*, p. 56.

II.4. NOTE DE SYNTHÈSE SUR LES OUTILS DU TRAVAIL DU BOIS

Avant de présenter l'étude des bois archéologiques de Fangeas, il nous est apparu nécessaire d'écrire une brève note, sans aucune prétention d'exhaustivité, sur la question de l'outillage pour le travail du bois, son évolution et ses particularités médiévales, en s'appuyant sur des données archéologiques et historiques. Les découvertes archéologiques d'outils liés au travail du bois étant rares en contexte minier, nous nous sommes appuyée sur les données des sites d'occupation en milieu humide et tout particulièrement sur celles du lac de Paladru en Isère (Colardelle, Verdel 1993). Le *corpus* d'outils du travail du bois – manches et fers – découverts sur ce site daté du XIe siècle demeure pour l'heure, sur le territoire français actuel, le plus riche. Le but de ce chapitre est de caractériser dans ses grandes lignes la gamme d'outils de charpenterie et de bûcheronnage potentiellement utilisables par les mineurs de Fangeas entre le XIe et le XIIIe siècle, et de retracer en quelques lignes leur histoire. Ces connaissances sont en effet indispensables pour appréhender l'étude de la technologie et des usages du bois et orienter l'analyse dendrologique et l'interprétation des traces d'outils et des chutes. Ces données qui doivent impérativement être étoffées seront d'un intérêt essentiel pour la fabrications des outils nécessaires pour les expérimentations prévues dans le cadre du futur projet de reconstitution de la chaîne opératoire du bois, de la forêt à la mine.

II.4.1. Grandes lignes de l'évolution de la gamme d'outils disponibles

Les opérations de travail du bois liées à sa nature fibreuse sont constantes pour toutes les périodes confondues : couper, fendre, tailler, racler, percer (Pillonel 2007, p. 50). Dès le Néolithique, il existe une gamme d'outils en rapport direct et non exclusif avec le travail du bois. Elle est constituée de haches, herminettes et ciseaux. Les lames sont en pierre ou en os, ivoire ou bois de cervidés, et les tranchants sont bruts de taille ou polis. Les outils en silex ou en os polis sont particulièrement fragiles, mais permettent grâce à la finesse de leurs

tranchants de couper du « bois debout » (coupe perpendiculaire aux fibres ligneuses). Les outils en pierre polie sont plus robustes, mais la forme ouverte de leur tranchant impose un plan de coupe oblique (Boucard 1998, pp. 13-16).

La gamme des outils du travail du bois connaît de profonds changements et une diversification avec l'arrivée des métaux, déformables et recyclables (Boucard 1998, pp. 17-23 ; Pillonel 2007, p. 50). Ils ont permis de réduire notablement l'épaisseur de la lame et l'affinage de l'angle du tranchant améliorant sa pénétration dans le bois, facilitant son maniement et autorisant son utilisation multidirectionnelle par rapport aux fibres. Au XIe siècle av. J.-C., l'artisan du bois, note D. Pillonel, disposait d'une douzaine d'outils différents pour travailler la matière ligneuse : marteau, maillet, coin, herminettes et haches à tranchants plus ou moins ouverts et évasés, gouge, ciseau et ciselet, scie et plane (Pillonel 2007, p. 51, fig. 53). Les emmanchements ne changent pas radicalement avec l'arrivée du métal. La fixation à soie perdure. La seule nouveauté est l'utilisation de rivets de fixation transversale. Le manche coudé apparu au Néolithique récent perdure pour les outils à percussion lancée comme les haches et les herminettes. La scie, le ciseau, le ciselet, la gouge et la plane sont des outils caractéristiques d'une évolution technologique et de l'artisanat au Bronze final. La petite taille des scies et leurs dentures réduites qui ne sont pas avoyées les réservaient au découpage des os et du bois de cervidé. Elles ne sont pas encore adaptées au travail de la matière ligneuse. L'innovation technologique dans le domaine du travail du bois est à attribuer à la gouge. Elle se caractérise par une lame creuse en forme de gouttière avec un emmanchement à douille permettant une action par percussion à l'aide d'un maillet. La plane fait une apparition timide au Bronze final et paraît liée à la fabrication de nouveaux récipients constitués de douelles cerclés par un lien végétal (Pillonel 2007, p. 52). Les outils spécifiques au façonnage, le ciseau, la gouge, le ciselet et la plane, utilisés encore aujourd'hui sous leur forme archaïque par des artisans pour la sculpture, le taillage ou le corroyage, marquent le début d'une spécialisation des métiers du bois au Bronze final (Pillonel 2007, p. 52). À partir de cette période, la spécialisation artisanale dans un type de production va engendrer la multiplication d'outillage spécifique qui va de pair avec la mise en place des corps de métiers (Noël, Bocquet 1987, p. 107).

La gamme d'outils utilisés au Bronze final présente des formes abouties dès l'Antiquité (Boucard 1998, pp. 26-27). Au fil des siècles, la meilleure qualité de l'acier et l'amélioration croissante des techniques d'affûtage ont rendu ces outils plus performants et plus solides. La gamme servant aux opérations d'abattage, de blanchissage, d'équarrissage et à la préparation

des bois de construction (charpenterie) se compose principalement d'outils tranchants, de coupe, de perçage et de percussion. Les haches arborent un développement du tranchant et une longueur de manche variables, adaptés plutôt à l'abattage, à l'équarrissage ou au débit de long (Boucard 1998, p. 27). Les noms donnés aux différents types sont souvent modernes, mais ils ont le mérite de pouvoir les différencier plus facilement. On peut citer quatre grands types. La hache du charpentier ou hache à équarrir, déclinée en plusieurs tailles, est l'outil à tout faire par excellence. Elle peut servir grâce à son tranchant plus large que celui des cognées, non seulement à l'abattage, à l'ébranchage et au tronçonnage, mais aussi à la coupe de long et au dressage de surfaces planes. La cognée à blanchir sert à l'abattage et au blanchissage. Le tranchant de son fer est plus étroit que celui de la hache du charpentier. L'usage de la doloire ou épaule de mouton est strictement réservé au débit de long. Elle est idéale pour amincir ou aplanir l'épaisseur d'une pièce de bois grâce au large tranchant de son fer. L'herminette qui affecte souvent une panne concave ou à gouge (panne arrondie perpendiculaire au manche) est indispensable pour le creusement et l'évidemment de surfaces courbes. Il faut compléter cette gamme par le ciseau et la bisaiguë constituée de deux tranchants, l'un en ciseau et l'autre en bédane, situés à chaque extrémité d'une barre de fer. Ces deux outils sont utilisés pour les travaux de finition : dresser des surfaces planes, araser des chevilles, évider une mortaise. L'usage du ciseau est associé à celui du maillet, outil constitué d'une masse tronconique ou parallélépipédique en bois dur emmanchée sur un manche en bois. Deux exemplaires ont été retrouvés à Paladru et attestent indirectement l'usage de ciseaux à bois dont les fers n'ont pas été retrouvés (Colardelle, Verdel 1993, p. 246). Les outils tranchants sont bien représentés dans le corpus de Paladru. Les haches d'abattage (4 exemplaires) possèdent un talon plat d'un côté et un tranchant court et oblique de l'autre. L'angle entre l'axe et le manche n'est pas perpendiculaire, il varie entre 75 et 85°. Le plus grand fer mesure 23,5 cm de longueur. Son tranchant présente 5,6 cm de longueur et son talon mesure 4,5 cm de longueur et 5 cm d'épaisseur. Les autres sont plus courtes (18,4 ; 19,4 et 20,6 cm), mais la longueur du tranchant reste sensiblement la même. Elle est comprise entre 4,5 et 5 cm. Deux d'entre elles sont emmanchées. Le manche du plus petit modèle présente une section ovalaire et celui du plus grand modèle une section rectangulaire avec les arêtes chanfreinées. Le maintien en tension du manche en bois, pour garantir la cohésion du fer, est assuré par un coin en bois enfoncé dans une fente du manche, perpendiculairement à l'axe de l'outil. Le dernier exemplaire conservé est une hache d'équarrissage (épaule de mouton). Son tranchant est large et incurvé. Il mesure 17 cm de longueur et 5,5 cm de largeur. La douille est large de 4 cm. La partie antérieure de la lame est plus longue. Le côté opposé au

tranchant est élargi au-delà de la douille et forme un marteau (Colardelle, Verdel 1993, p. 207). Cet outil réservé à l'équarrissage et au débit de long pouvait, grâce à son talon, servir aussi de masse ou de marteau pour enfoncer les coins en fer (ou en bois) dont l'usage est nécessaire pour les travaux de fendage et le débit de long. Sa forme paraît caractéristique du XIe siècle puisque le même type a été découvert à Londres dans un site daté de cette période et se trouve représenté sur la tapisserie de Bayeux dans la scène de charpenterie navale (Colardelle, Verdel 1993, p. 207).

L'usage et la diversification des scies à bras pour la coupe du bois constituent la véritable innovation technique dans le domaine du travail du bois durant l'Antiquité (Bechman 1984). Le passe-partout, scie avec une grande lame n'excédant pas 2 m de longueur avec une forte denture, manié par deux hommes au moyen de poignées en bois fixées à ses deux extrémités, est utilisé pour l'abattage des arbres et le tronçonnage. Pour l'abattage, son usage est généralement associé à celui de la hache pour dégager la face intérieure d'une coupe (Arnold 1999, p. 16). Le débit des grumes en pièces planes ou en poutres pouvait être réalisé au moyen de la scie de long fixée dans un cadre. Son usage est attesté par l'iconographie romaine et par ses traces sur les bois de construction navale retrouvés sur le lac de Neuchâtel à l'époque gallo-romaine (Arnold 1999). La lame à forte denture, mince et incurvée, est montée perpendiculairement au milieu d'un grand cadre en bois d'environ 2 m. Cette mesure standard est variable car le cadre était adapté à la taille des grumes à débiter. Son maniement généralement réalisé par deux personnes peut nécessiter l'intervention de trois voire de quatre scieurs. L'expérimentation d'une grande scie à cadre pour le débitage de plateaux dans une bille de chêne de fort diamètre a révélé les difficultés du maniement d'un tel outil plus aisé et efficace sur des billes de faible diamètre (Arnold 1999, pp. 92-93).

La scie à cadre, présentant une denture plus fine et serrée et une lame montée sur le chant du châssis en bois, est utilisée pour les travaux de coupe sur des pièces déjà débitées et pour les opérations de façonnage (arasement des chevilles, façonnement de certains assemblages). Les mêmes opérations (coupe des petites sections) et surtout les travaux d'appoint (façonnage des assemblages) sont réalisées avec la scie emmanchée qui est formée d'une lame rigide de 30 à 40 cm de longueur, munie d'une poignée à l'une de ses extrémités. Aucun des différents modèles de scie énumérés plus haut, connus et utilisés à l'époque romaine, mais dont le maniement et les dimensions demeurent mal connus, n'a été retrouvé sur le site de l'an mil de Paladru (Colardelle, Verdel 1993, pp. 207-208). Les milliers de bois

de construction travaillés exhumés ne portent aucune trace de sciage. Les fouilles ont livré seulement les vestiges de deux petites lames au dos incurvé avec un tranchant droit et finement denticulé. Ces petits modèles de scies ont manifestement servi au façonnage des peignes en bois (Colardelle, Verdel 1993, p. 208).

La question de l'usage de la scie au Moyen Âge, et plus particulièrement aux XIe-XIIIe siècles, est primordiale et délicate. L'introduction de la scie à bras pour le travail en forêt entre la fin du XIIe et le XIIIe siècle, en dépit de son usage très ancien attesté par l'iconographie et des découvertes archéologiques, constituait une innovation technique révolutionnaire (Bechman 1984). La pénétration de la scie fut lente dans toute l'Europe et avec des décalages selon les régions. Dans certains pays, comme en Russie, on ne connut les scies qu'à la fin du XVIIe siècle (Bechmann 1984). Les pays de l'Est sont d'ailleurs restés les maîtres dans l'art de manier la hache et l'herminette pour l'abattage et le débitage de long du bois d'œuvre. L'usage de la scie à bras en forêt, selon X. Martin, qui avait au Moyen-Âge une « réputation d'outil de voleur », s'est développé moins vite que celui des scies mécaniques, mues par la force de l'eau. J.-P. Boyer détecte leur développement important en Vésubie durant la première moitié du XIVe siècle (Boyer 1990, pp. 43-51). Les premières mentions de scies hydrauliques dans les sources écrites hautes alpines remontent à la fin du XIIIe siècle (Sclafert 1959, p. 40 ; Nicolas 2008, p. 67). Or, de tels équipements demandant un investissement important, même pour les « scies volantes » installées au gré des cours d'eau et des disponibilités forestières, appartenaient à des exploitants aisés. De plus, les simples paysans et bûcherons, pour leurs usages et activités courants, évitaient de refendre ou de scier en long en choisissant des sections correspondant à leurs besoins (Bechmann 1984). On voit mentionner des scies à bras – *serris cum brachis* – à la fin du XIIIe siècle dans la région de Colmar (Alpes-de-Haute-Provence), utilisées par des paysans pour l'abattage et le débitage en forêt. D'après les consuls, ils faisaient cent fois plus de dégâts que les scies mécaniques à cause de leur nombre et de leur maladresse :

> « […] *homines pauperes et nihil habentes, cum serris ad brachis in centuplum quam antea consumptionem fecerunt* »[107].

Ce passage suffirait à nourrir l'hypothèse d'une pénétration tardive de la scie pour l'abattage en forêt. Le maniement de cet outil et son forgeage ne sont pas parfaitement

[107] Acte de 1296 (Arch. de Colmar, sans cote) mentionné et transcrit en partie par Th. Sclafert (Sclafert 1959, p. 40, n¨33 et 34).

maîtrisés dans cette région en 1296. En effet, la fabrication d'une scie exige un acier souple et résistant, mais aussi capable de supporter un aiguisage à la lime et de résister à la torsion de la lame non avoyée.

Pour le perçage des bois, la tarière détrône la gouge dès l'Antiquité. Cet outil est constitué d'une mèche en fer montée sur un manche de bois perpendiculaire à l'axe de la mèche. Il est actionné par un mouvement rotatif en pression. Le manche est tenu à deux mains. La forme et la taille de la mèche varient en fonction de la taille et de la profondeur des trous à réaliser. L'usage de cet outil indispensable pour la fixation de chevilles en bois est attesté à Paladru par deux manches en bois (Colardelle, Verdel 1993, p. 246). Ils sont percés d'une lumière rectangulaire en leur milieu pour recevoir la soie du fer dont un exemplaire a été découvert sur le site des Grands Roseaux. L'assemblage du manche et du fer était apparemment ajusté avec une pièce en bois dur (Colardelle, Verdel 1993, p. 247).

Il se dégage de ce tableau brossé dans ses grandes lignes qu'une large gamme d'outils du travail du bois, particulièrement une panoplie de haches aux tranchants plus ou moins larges et aux joues plus ou moins courtes, était disponible pour les charpentiers de mine ou mineurs-charpentiers des XIe-XIIIe siècles. Il faut maintenant s'intéresser aux outils effectivement utilisés par les mineurs attestés par des données historiques et archéologiques.

II.4.2. Les outils du travail du bois en contexte minier

La documentation écrite minière médiévale est totalement muette concernant l'outillage propre au travail du bois de mine. Il faut se tourner vers l'iconographie de la fin du Moyen Âge et de la Renaissance et l'archéologie pour trouver des renseignements qui demeurent maigres et disparates pour l'époque médiévale. Nous reprenons ici sous forme de synthèse les informations déjà exposées plus haut dans le cadre d'une présentation générale pour donner des précisions techniques sur l'outillage représenté et déterminé ainsi que sa typologie.

Les outils du travail du bois en contexte minier apparaissent pour la première fois en 1513 dans le tableau de l'église de Roznava en Slovaquie (*cf. supra*, fig. n°22, p. 740). Un ouvrier charpentier outillé d'une hache, est représenté à côté d'un bâtiment conique en construction (manège), en arrière-plan de la Vierge à l'Enfant et sainte Anne. Le dessin est trop petit pour déterminer le type de hache utilisé. En 1514, le graduel de Saint-Dié montre

une scène de bûcheronnage destinée à la préparation des étançons. Un homme abat un arbre à l'aide d'une hache. Son tranchant est relativement large et évasé. La joue est courte. La lame en fer est montée sur le manche en bois au moyen d'une douille métallique. Ce modèle est à mi-chemin entre la hache d'abattage et la cognée. Un autre homme tronçonne une bille à l'aide du même outil (*cf. supra*, fig. n°23, p. 741). Il faut attendre 1530 pour voir représentée une gamme d'outils plus complète avec les dessins de la Rouge Myne de Saint-Nicolas. L'abattage en forêt est réalisé au moyen d'une cognée d'un type très particulier (*cf. supra*, fig. n°25, p. 745). Le taillant est étroit et droit, la joue est longue et étroite avec les deux côtés perpendiculaires au tranchant qui sont parallèles. Il n'y a pas d'encoche. La lame est perpendiculaire au manche. Le dos de la lame présente un décroché à mi-longueur de telle façon que la moitié de la lame du côté du tranchant est plus haute que la tête de la douille. Le fendage longitudinal des rondins est réalisé au moyen d'un maillet en bois et de coins. Ces derniers peuvent être en fer ou simplement en bois.

Les charpentiers utilisent une gamme de haches diversifiées avec des manches plus ou moins longs, des joues plus ou moins longues et étroites, et des tranchant plus ou moins larges et évasés. Cette gamme est composée de la doloire et de la hache à blanchir ou à équarrir à grand taillant par opposition au taillant étroit de la cognée. Ces haches étaient souvent à double biseau pour permettre à l'ouvrier de travailler à droite ou à gauche de la bille posée horizontalement. Il faut ajouter la scie à cadre utilisée pour le tronçonnage des billes et les outils de mesures et de traçage, boîte à cendres et cordeau, toises à ruban et rigide. Le travail de finition et de pose n'est pas représenté dans les dessins d'Heinrich Groff. Il manque donc toute la gamme d'outils nécessaires pour le perçage (tarière), la confection des assemblages (ciseau, tarière, bisaiguë, scie) et la pose (maillet ou masse, hache, hachette).

Fig. n°36 : Les charpentiers de mine d'après le De Re Metallica de G. Agricola (livre VIII, gravure 12), 1528 (reprod. d'après HOOVER (H. C.) et HOOVER (L. H.), New-York, 1950.

La gamme d'outil de charpenterie minière présentée dans la Rouge Myne n'a rien à envier à la gamme limitée proposée dans le *De re metallica* d'Agricola (Livre 8, gravure 12) (*cf.* fig. n°36, p. 780). Cette gravure détaille une scène de façonnage et de traçage. Dans la moitié gauche, un charpentier trace la section d'une bille disposée sur des carrelets à l'aide d'un compas. Il est conseillé par le houttman, appuyé sur une hache à équarrir munie d'un long manche. Dans la moitié droite, un ouvrier charpentier taille une mortaise dans une poutre surélevée et posée horizontalement sur des chevalets. Il utilise un ciseau et une mailloche à tête tronconique. À ses côtés, sur le carrelet de gauche, repose une sorte de plane sans manche. Au sol, on trouve une doloire munie d'un manche court, probablement utilisée pour les retouches des aplats, l'équerre, le compas, le cordeau et la cendre contenue dans un seau. Les autres objets représentés et légendés par G. Agricola sont des pièces d'assemblages ouvragées, des coins, des cales et des cames. La scie à bras est absente. On la trouve par contre représentée dans une scène de traitement mécanique où un charpentier, qui intervient manifestement pour changer une pièce défectueuse, tronçonne une planche à l'aide d'une petite scie à cadre munie de poignées (livre VIII, gravure 30).

D'après l'iconographie, le charpentier de mine de la fin du Moyen Âge utilise pour l'abattage, le tronçonnage et le débit, une gamme de haches diversifiées composée : de la hache d'abattage, de la cognée, de la hache à équarrir et de la doloire, auxquelles il faut associer des outils de traçage (compas, cordeau). Il pouvait utiliser de grandes scies à cadre pour le tronçonnage des billes de fort diamètre. Le façonnage des assemblages était réalisé au moyen de ciseaux et de maillet (assemblage par tenons et mortaise). On peut supposer l'usage de la scie à cadre bien qu'elle ne soit pas représentée dans la scène de façonnage du *De re Metallica* (gravure 12) pour la confection des assemblages à mi-bois.

Les données archéologiques sont très limitées à ce sujet. Les publications des fouilles conduites en France et plus particulièrement dans les Alpes du Sud ne mentionnent jamais la découverte d'outils liés au travail du bois dans les mines au Moyen Âge. Ceux découverts en contexte minier datent pour les plus anciens du XVIe siècle et proviennent des sites vosgiens et alsaciens (Ancel 1990d, p. 505). Il s'agit d'un taillant, d'une serpette et d'une hachette. L'utilisation probable de certains outils est suggérée par la forme des pièces de bois et des assemblages. Jamais une étude rigoureuse des traces d'outils n'a encore été réalisée. Les déterminations de traces réalisées par L. Maggiori pour les bois de la mine gallo-romaine des Anglais sont basées sur des connaissances empiriques et les données expérimentales de B. Arnold (Arnold 1999 ; Maggiori 2001, II, annexes, pp. 243-249). D'après les tableaux de

synthèse sur le façonnage des bois, qui ne sont malheureusement pas commentés par l'auteur, l'abattage et la taille des *abouts sont réalisés à la hache et la cognée. Le débit des planches est obtenu au moyen de coins de fente. Cette technique a aussi été mise en évidence par B. Cauuet dans les mines d'or gallo-romaines du Limousin (Cauuet 2008, p.62). Quelques rares pièces (longrines, pièces de liaison) du site des Anglais auraient été débitées avec la scie de long. L'usage de la scie à cadre est suspecté pour la segmentation de quelques bois et la préparation de certains assemblages. Il n'est par ailleurs jamais précisé dans la littérature minière, avec des preuves à l'appui, si les assemblages à mi-bois sont confectionnés grâce à des coupes à la scie ou à la hache et au ciseau à bois. Les abouts sont presque systématiquement taillés à la hachette. Les assemblages par tenons et mortaises impliquent l'utilisation de ciseaux, de la tarière, ou de la bisaiguë pour l'évidemment, et de la hachette pour la taille du tenon. Enfin, les trous de chevilles retrouvés sur quelques pièces de bois dans les mines médiévales sous-entendent l'utilisation de tarière pourtant absente dans l'iconographie minière (Bohly 2008, p. 97).

- . -

Les mineurs chargés de l'étayage et de l'équipement des chantiers utilisaient dès l'époque romaine toute la gamme des principaux outils caractéristiques du métier de charpentier proprement dit ou « charpentier grossier » : haches, doloire, herminette, scie à cadre, ciseaux et maillet, tarière. Cette constatation permet de suggérer une hypothèse : le charpentier de mine maîtriserait les rudiments du métier de charpentier grossier avant de se spécialiser au contexte minier. Il se pose un problème : à partir de quel moment les charpentiers grossiers forment-ils un véritable groupement professionnel ? Le terme *carpentarius* apparaîtrait au XIIIe siècle (Mazière 2008, p. 122). Mais, à ce moment-là, il réunit sous sa bannière de nombreux autres métiers du bois, énumérés par Étienne de Boileau dans son « Livre des métiers » : huchers, huissiers, tonneliers, charrons, couvreurs, cochetiers, tourneurs, lambrisseurs. Ils sont progressivement détachés du groupement professionnel des charpentiers à proprement parler dont les premiers statuts sont délivrés en 1454 par Charles VII. Ph. Bernardi décompte pour le Sud-Est de la France une douzaine de statuts concernant les charpentiers promulgués avant 1789 dont le plus ancien remonte en 1450 (Bernardi 2008c, p. 112).

Pour préciser le statut professionnel des mineurs-étayeurs ou boiseurs aux XIe-XIIIe siècles, il est indispensable de mieux connaître leurs manières de travailler, leurs techniques et leurs usages. C'est aussi dans cette perspective que l'étude des bois de mine de Fangeas a été conduite. Avant d'aborder l'analyse du matériel à proprement parlé, nous consacrons un court chapitre aux enjeux de l'étude du bois et à la méthodologie mise en œuvre.

III. ÉTUDE DES BOIS ET DU MOBILIER PÉRISSABLE DE FANGEAS : DES ÉLÉMENTS NOUVEAUX POUR CARACTÉRISER LA TECHNOLOGIE ET LES USAGES DU BOIS AU MOYEN ÂGE

III.1. BUTS ET MÉTHODES DE L'ANALYSE DU MATÉRIEL LIGNEUX

III.1.1. Problématique

Le premier objectif de l'étude du matériel et des macrorestes ligneux de Fangeas est de caractériser les différentes phases de la chaîne opératoire technique du bois, de la forêt à la mine, avec ses manières de procéder, ses outils et ses gestes, ce qu'il est impossible de percevoir dans son intégralité à travers la documentation historique qui ne donne qu'une idée trop vague du travail du bois aux XIe-XIIIe siècles (Nicolas 2002, pp. 245-253). De plus, le matériel ligneux, connu et publié, qui accompagne le mineur au travail est rare pour les périodes antérieures au XIIIe siècle. Les vestiges de Fangeas font donc figure d'exception. Ce site est un exemple pertinent pour caractériser l'intense consommation de bois pour l'activité minière aux XIe-XIIIe siècles. Parallèlement, cette étude doit éclairer le travail à la mine et le quotidien des mineurs qui apparaissent non seulement comme des hommes de la roche et du feu, mais aussi des hommes de la forêt. Aucun outil destiné au travail du bois n'a été retrouvé jusqu'à présent sur le site de Fangeas. Notre réflexion s'est basée sur l'observation des stigmates laissés par ces outils et la morphologie des pièces de bois. Les études de traces à partir de mobilier archéologique sont extrêmement rares et se résument bien souvent à quelques observations. Elles concernent pour la plupart les périodes protohistoriques et

antiques (Cauuet 2000, p. 138 ; Chabal, Feugère 2005). Les travaux expérimentaux de B. Arnold sur la batellerie gallo-romaine du lac de Neuchâtel sont l'exception qui confirme la règle (Arnold 1992). Il faut y ajouter les recherches récentes de D. Pillonel sur les bois et les macrorestes ligneux du village du Bronze final d'Hauterive-Champréveyres situé à l'extrémité de la rive nord du lac de Neuchâtel (Pillonel 2007). Notre approche méthodologique repose en partie sur ces travaux de référence. Parallèlement, il a fallu faire appel à des artisans du bois, menuisiers et charpentiers, pour déterminer au mieux à partir des clichés des bois et de l'observation des objets transportables, les traces d'outil et le rôle des entailles et des découpes. Dans les années à venir, il sera indispensable de faire intervenir sur le terrain des professionnels et de tenter des reconstitutions expérimentales pour dresser un catalogue des traces d'outil expérimentales et archéologiques en fonction des techniques d'abattage, de débit et de façonnage.

À l'étude des bois travaillés, il faut ajouter celle des déchets qui se présentent le plus souvent sous la forme de fragments de branchettes, de petits rondins, de planches et de planchettes, d'arrachements longitudinaux, de nombreux éclats et copeaux et plus rarement sous la forme de branchettes et de brindilles (*cf.* pl. 57, p. 787). Ils se sont révélés abondants dans tous les niveaux constamment immergés du Grand Puits et de la Grande Fosse en association avec les grands bois, les outils et les équipements. Alors que les objets de bois travaillés et les traces d'outils peuvent témoigner d'usage et de techniques particulières, quelles informations peuvent nous livrer ces déchets liés au travail du bois et/ou à l'exploitation de la végétation environnante ? Cette question s'insère dans le second objectif de cette étude qui consiste à déterminer les choix des mineurs effectués dans leur territoire d'approvisionnement : sont-ils volontaires ou contraints ? Il s'agit, sur la base du bois (carbonisé ou non), de répondre à des questions d'économie (usages du bois et des arbres), d'organisation des aires de travail dans la mine et en surface, et bien sûr de préciser une perception paléoenvironnementale. Dans quelle mesure, les mineurs ont su – ou non – adapter le choix des arbres à abattre à leur besoin pour l'aménagement du souterrain et du carreau minier ou pour la confection des outils ? Des différences dans le choix du bois de feu et du bois d'ouvrage (aussi rustique soit-il) sont-elles perceptibles ? Pour répondre précisément à cette question, nous avons confronté les résultats de l'étude des bois avec les données anthracologiques.

PLANCHE N°57 : SÉRIE DE DÉCHETS ET CHUTES PRÉLEVÉS DANS LE DÉPART DES REMBLAIS NOIRS (GF, NIVEAU ENTRÉE TRAVAUX)

Clichés V. Py 2005

Les matériaux organiques offrent une possibilité d'apprécier les connaissances des mineurs sur des « produits naturels » et de préciser leurs rapports avec leur environnement. Les données tirées de la littérature scientifique et érudite antique et médiévale concernent souvent les propriétés pharmaceutiques des plantes et plus rarement leurs propriétés technologiques et leur utilisation artisanale et industrielle. Les textes passent tout bonnement sous silence les données pratiques, trop banales pour intéresser le lecteur contemporain érudit, loin des réalités du travail manuel. Quelle était la fonction du bois apporté sur le site, c'est-à-dire l'origine ou la finalité de son accumulation juste avant son rejet ? Cette question conditionne les interprétations environnementales ou fonctionnelles. Le bois d'œuvre ou le combustible pour l'abattage au feu, par exemple, ne sont pas interprétés au même titre. Généralement, plus que les identifications, c'est le contexte de dépôt et les artefacts associés qui permettent de dire l'usage du bois, du fait que, pour un même usage, beaucoup d'espèce peuvent convenir. Ici, les ouvrages miniers présentent des aires de travail, des espaces de circulation et de stockage, fonctionnels pour un temps avant de devenir une « décharge » où sont accumulés des bois et d'autres matériaux organiques provenant des alentours (colluvionnement, ruissellement etc.). Ces dépôts ont-ils une représentativité synthétique, ou instantanée ? En effet, un dépôt de brève durée, de contenu aléatoire, ne pourrait pas être distingué d'une intentionnalité d'utilisation de certaines essences. Seuls les dépôts d'une certaine durée d'activité donnent des informations de caractère général. Le contexte de dépôt ne peut pas toujours nous informer sur la fonction initiale du bois. Pour essayer de comprendre d'où proviennent les bois et les charbons rejetés dans les ouvrages miniers, nous nous sommes appuyée sur les données archéologiques (analyse des remblais, caractérisation des stratégies d'exploitation). Ces considérations rejoignent le dernier objectif de cette étude qui consiste à affiner la chronologie de la dynamique opératoire grâce à la dendrochronologie[108] dont les résultats disponibles pour ce mémoire demeurent malheureusement trop limités.

[108] Concernant la méthode de la dendrochronologie et ses champs d'applications, voir l'article général de Lambert 1998. Voir aussi la définition de « système de référence » dans le glossaire.

III.1.2. État de conservation et provenance du matériel

Le comblement des mines de Fangeas réalisé peu de temps après la fin de l'exploitation a été envahi par les eaux d'infiltration et météoriques. L'ennoiement des travaux a permis la conservation d'un riche matériel ligneux. Il était d'une incroyable « fraîcheur » confirmant la fermeture et l'ennoiement des travaux de façon presque simultanée avec l'arrêt de l'exploitation. Il se compose de branches et de troncs taillés et coupés, de pièces de bois travaillées comme des planches, des poteaux, des lattis ou des pieux conservant souvent les traces d'outils, de résidus de taille et de coupe – lamelles et copeaux, éclats de refends longitudinaux – et d'objets, qui font l'objet de cette étude. Il faut ajouter à cette liste des végétaux non ligneux et des objets en cuir auxquels nous avons accordé un court chapitre. Il faut garder à l'esprit que ces vestiges ligneux pourtant abondants ne représentent certainement qu'une faible part des matériaux et des objets utilisés par les mineurs. Tous les bois, les résidus et les fragments d'objets abandonnés sur place ne présentaient plus aucun intérêt pour les ouvriers puisque la mine a été littéralement scellée et abandonnée. La Grande Fosse a ainsi pris l'allure d'un véritable « dépotoir » de l'activité d'extraction caractérisé par les remblais noirs. Il ne faut pourtant pas totalement exclure que certains objets aient été perdus accidentellement. Or, très peu d'entre eux ont été retrouvés entiers. Ils proviennent d'ailleurs pour la plupart des éboulis et des remblais de comblement provenant de zones de déblais et de dépotoirs. Les fragments sont toujours cassés et n'étaient pas réutilisables ou réparables. La possibilité d'avoir affaire à des objets perdus est donc faible.

L'ampleur des vestiges exhumés nous a conduit à faire des choix et à ne présenter ici qu'une partie du matériel ligneux prélevé, celle qui pour l'heure présente le plus d'intérêt et dont l'analyse est la plus aboutie. Par ailleurs, leur majeure partie est inventoriée dans les tableaux joints en annexe (*cf.* annexe, tableaux n° 5 à 11). Les bois étudiés et présentés ici proviennent des ouvrages de la Grande Fosse, du Grand Puits (grands bois, menus bois et déchets) et de la Marmite (menus bois et déchets). L'étude stratigraphique des remplissages caractérise toutes les couches où ils ont été prélevés. L'interpénétration verticale de leurs contenus, due au caractère meuble des remblais ennoyés, a été relativement limitée. Une partie des bois et des fragments de bois prélevés dans les coulées d'éboulis peut provenir des alentours directs des entrées de mine (premier niveau de bois de la Grande fosse). D'après leur allure, il peut s'agir d'éléments brisés de structures aériennes ou d'aménagements du

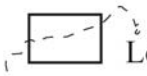
carreau de la mine, mais aussi de fragments provenant de la végétation (élagage naturel) présente aux abords du Grand Puits et de la Grande Fosse au moment de l'abandon du chantier.

Une première série de bois a été prélevée dans l'unité 3 du Grand Puits 169 pièces et fragments ont été inventoriés (*cf.* annexe, tableau n°9). Une seconde série composée de trente grands bois a été prélevée dans la fosse du Grand Puits à partir d'un mètre de profondeur (*cf.* annexe, tableau 6). Ils ont été dessinés et étudiés *in situ* (pl. 58-59-60, pp. 792-794). Une troisième série provient de la couche riche en matériaux organiques qui reposait sur le sol rocheux à l'entrée de la Grande Fosse et de la première partie du remplissage situé sur le premier plancher. 118 pièces ou fragments et une série de 58 petits fragments ont été inventoriés (et un objet) (*cf.* annexe, tableaux n°10 et 11). Une quatrième série correspond aux 22 grands bois situés dans le premier niveau du remplissage de la Grande Fosse (bois supérieurs du cône d'éboulis). Ils ont été lavés, dessinés et étudiés *in situ* (*cf.* pl. 39, p. 630 ; pl. 61, p. 795 et pl. 62, p. 796, bois 20 à 22). Une cinquième série de 38 grands bois a été prélevée dans la deuxième partie du remplissage de la Grande Fosse (*cf.* pl. 39, p. 630 ; et pl. 62, p. 796 ; pl. 63-64, pp. 797-798, bois 22 à 61 et annexe tableau 1). Une sixième série de 44 grands bois provient de la portion finale du remplissage de la Grande Fosse (bois sous le niveau du plancher, *cf.* annexe, tableau 5 et pl. 65-66-67, pp. 799-801). La Grande Fosse comptabilise donc un corpus de 104 grands bois. Une série importante de petits fragments comprenant des déchets de travail a également été prélevée dans ces lots, lavés puis mis en sacs (*cf.* annexe, tableaux n°8, 10 et 11). Leur étude laborieuse n'est que partielle. Seule une série de fragments et d'objets particuliers a été sélectionnée pour être étudiée de façon plus approfondie dans le cadre de ce mémoire (*cf.* annexe, tableau n°7). Une partie du matériel est actuellement conservée à l'I.M.E.P. à l'Eurôpole de l'Arbois, et une autre partie est stockée au dépôt de fouille de l'Argentière-La Bessée. Les éléments étudiés de façon superficielle feront l'objet d'une approche plus complète et spécifique dans les années à venir. La plupart des grands bois étiquetés ont été replacés après la fouille dans leur contexte de conservation d'origine. Les pièces les plus intéressantes d'un point de vue technologique ou dendrochronologique peuvent être à nouveau exhumées si cela s'avère nécessaire.

CONVENTIONS GRAPHIQUES DES PLANCHES DE DESSINS DES BOIS

EN PLAN

Plan de fente longitudinale (trame employée pour les pièces planes)


Localisation en trait pointillé de zones ayant conservées de l'écorce

Noeud ou naissance de branche sectionnée ou arrachée

Petits enlèvements

Zones vermoulues

Traces d'outils obliques par rapport au fil du bois

Zones avec coupes obliques (coupes d'abattage, blanchissage ou équarrissage) ou perpendiculaires ou fil du bois.

Localisation d'entailles ou d'encoches (coupes avec enlèvements)

Branche sectionnée sur un rondin ou un tronc

Sens de l'effort de compression au niveau d'un embrèvement

Ombre pour signaler un évidement important, notamment pour les goulottes

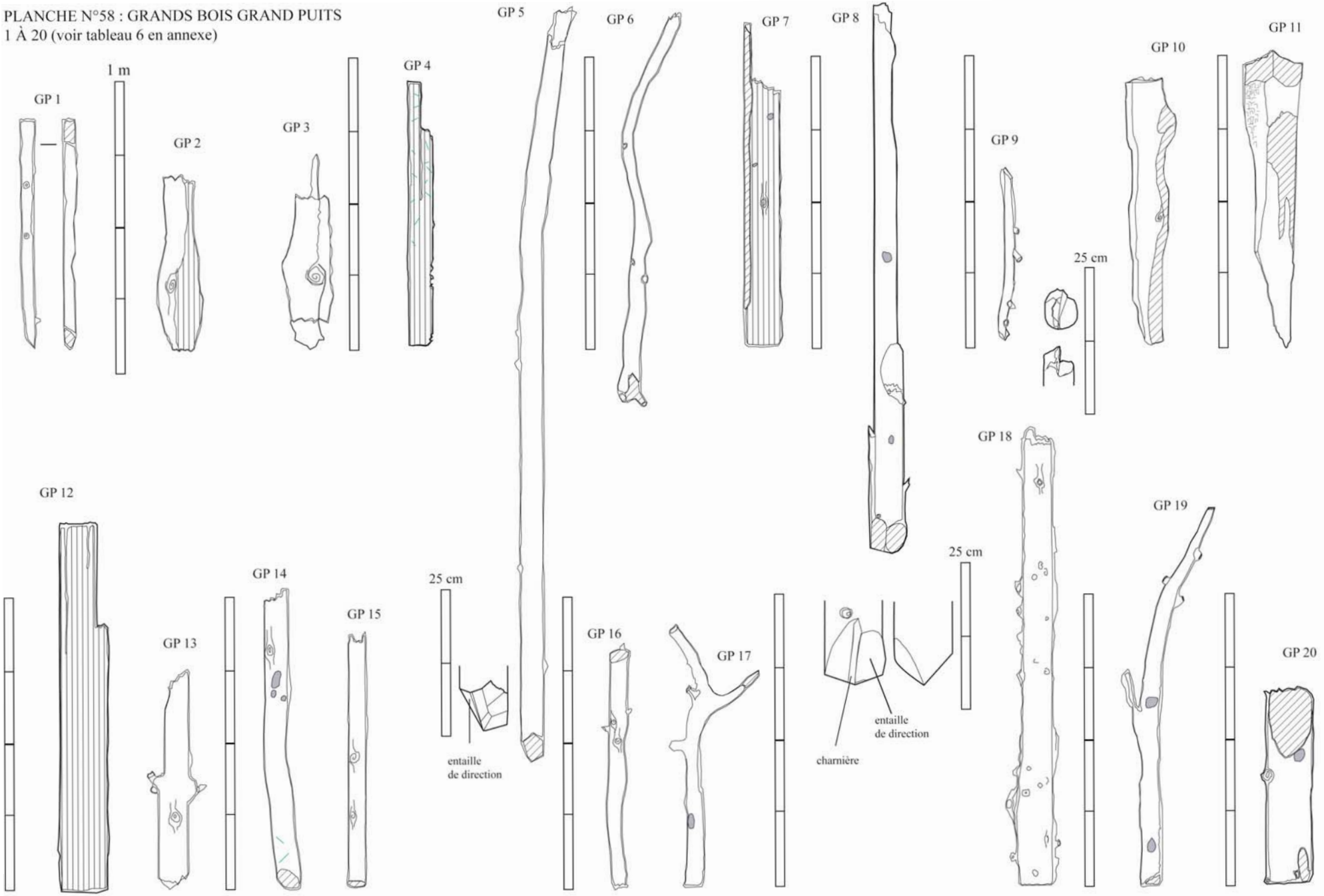
Zones carbonisées

Trou de cheville

EN COUPE

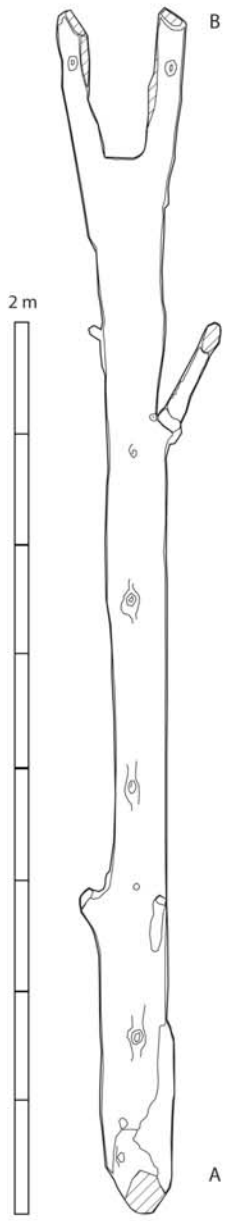
Cernes de croissance

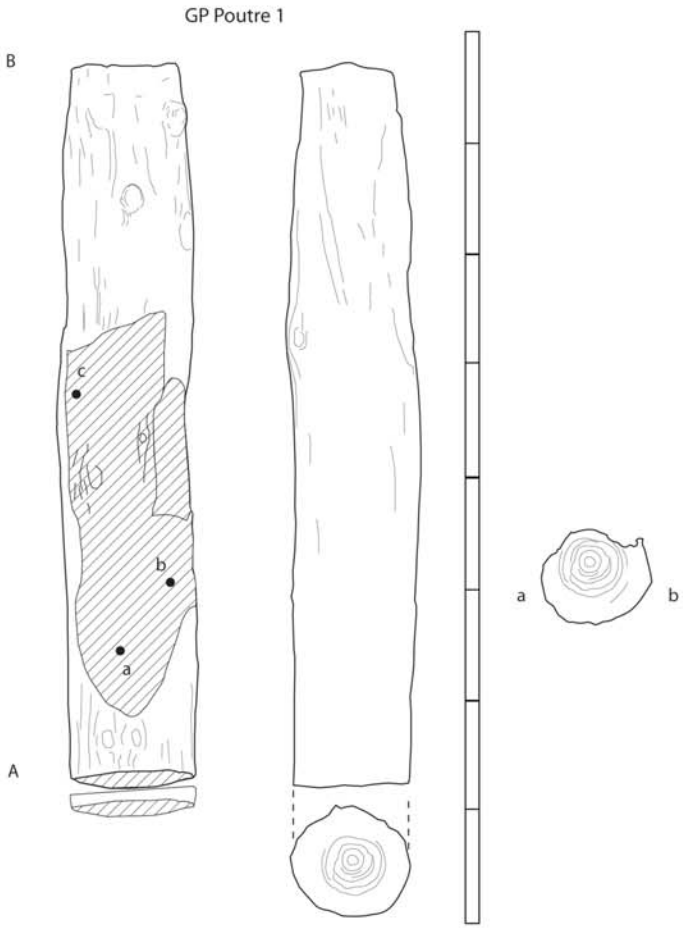
PLANCHE N°58 : GRANDS BOIS GRAND PUITS
1 À 20 (voir tableau 6 en annexe)

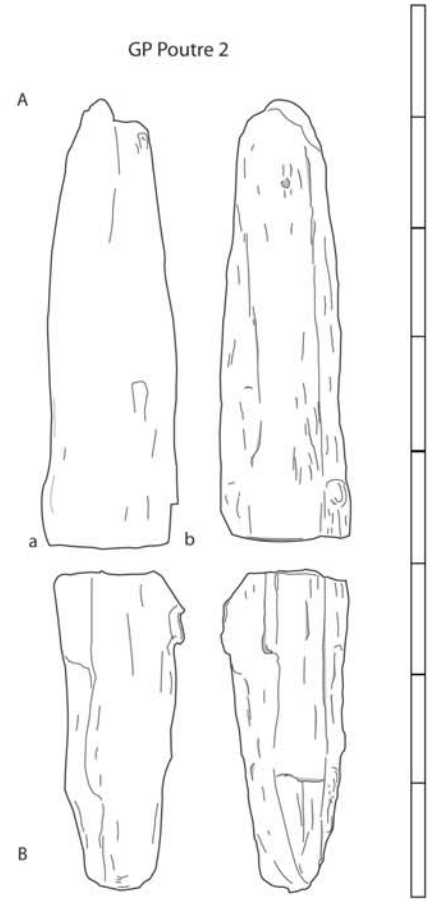


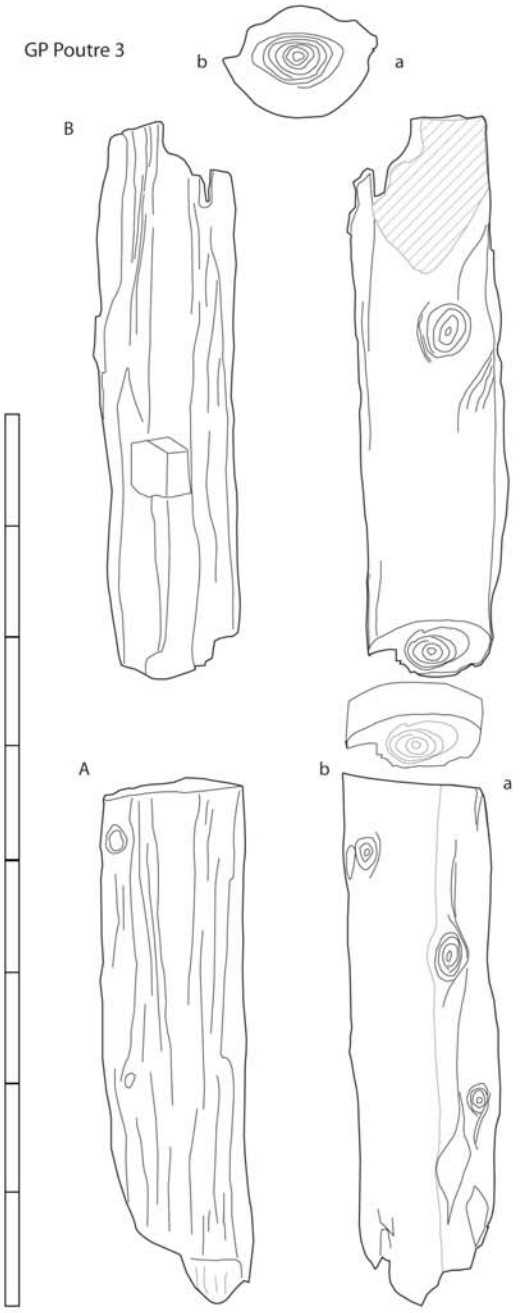
Dessins V. Py 2005-2008

PLANCHE N°59 : GRANDS BOIS DU GRAND PUITS
GP 21 ET POUTRES



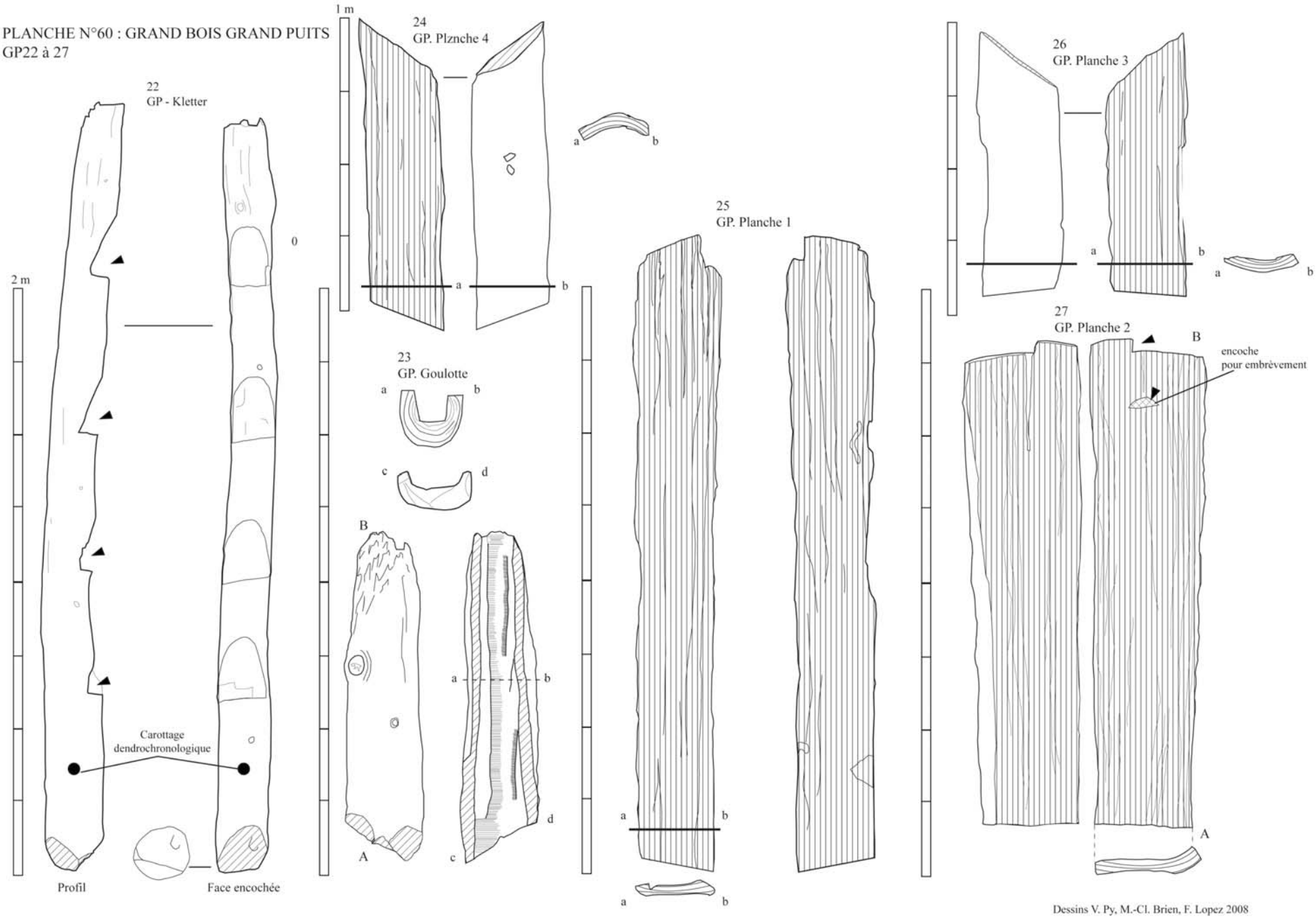






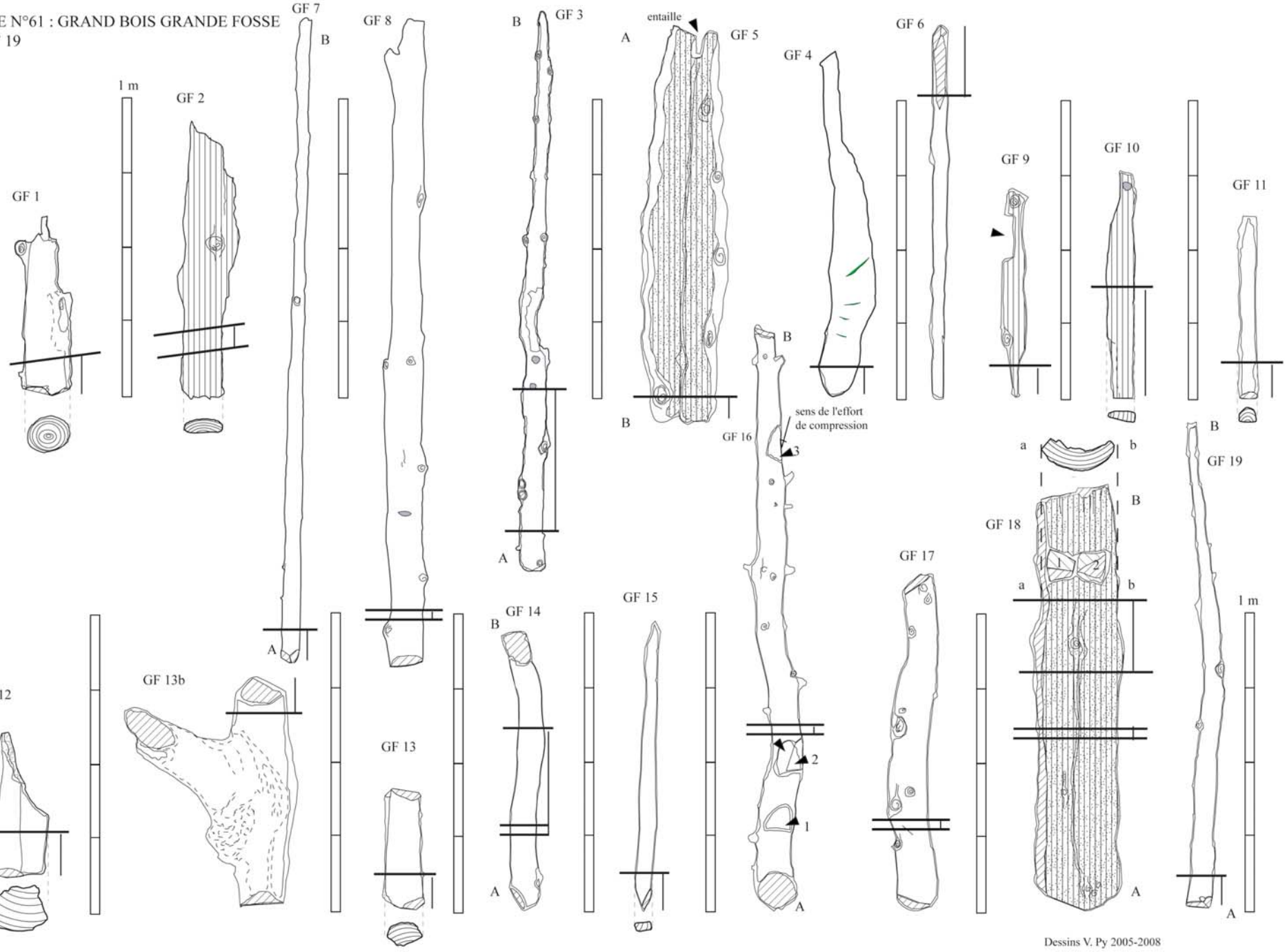
Dessins V. Py, M.-Cl. Brien, F. Lopez 2005-2008

PLANCHE N°60 : GRAND BOIS GRAND PUITS
GP22 à 27



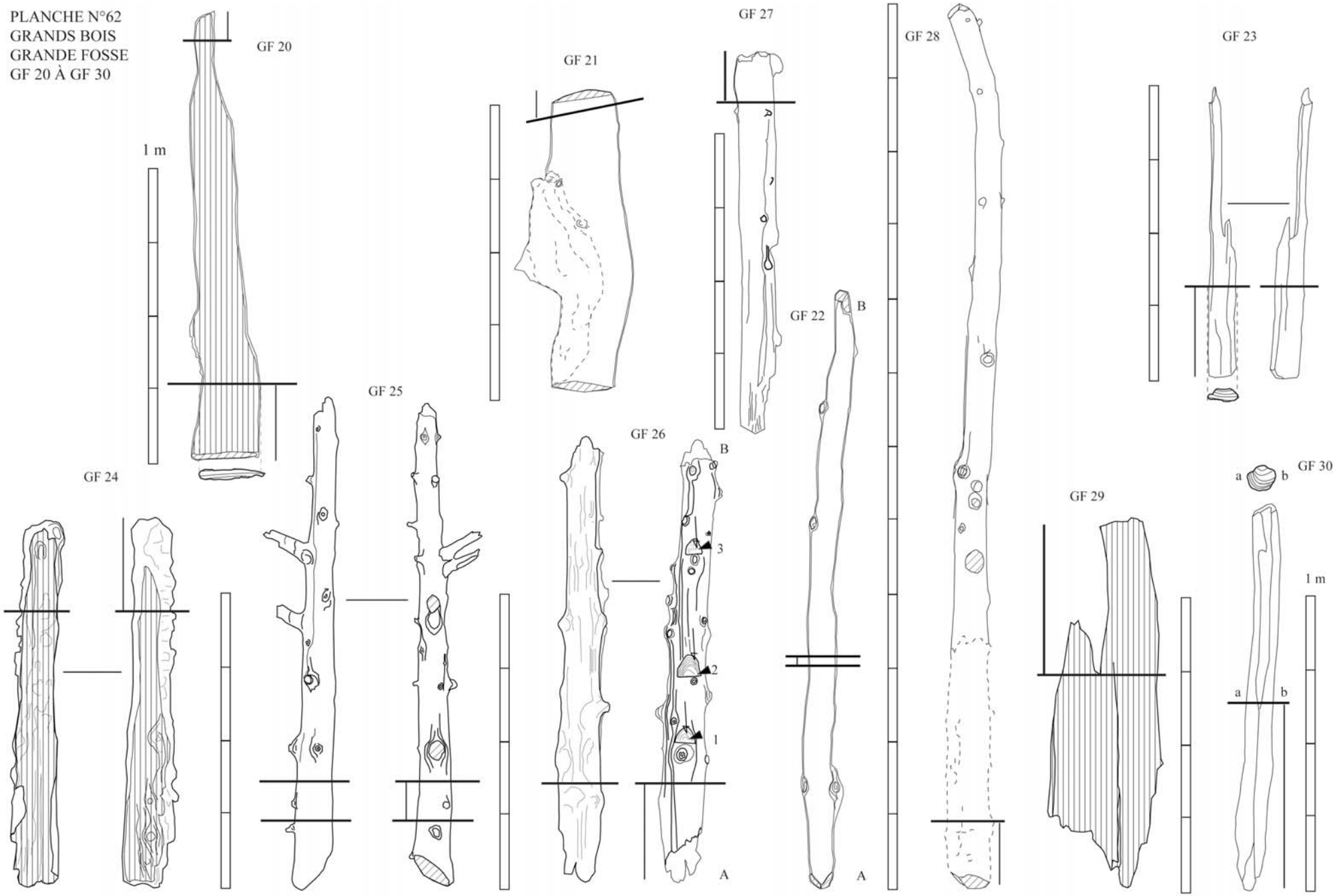
Dessins V. Py, M.-Cl. Brien, F. Lopez 2008

PLANCHE N°61 : GRAND BOIS GRANDE FOSSE
GF 1 à GF 19



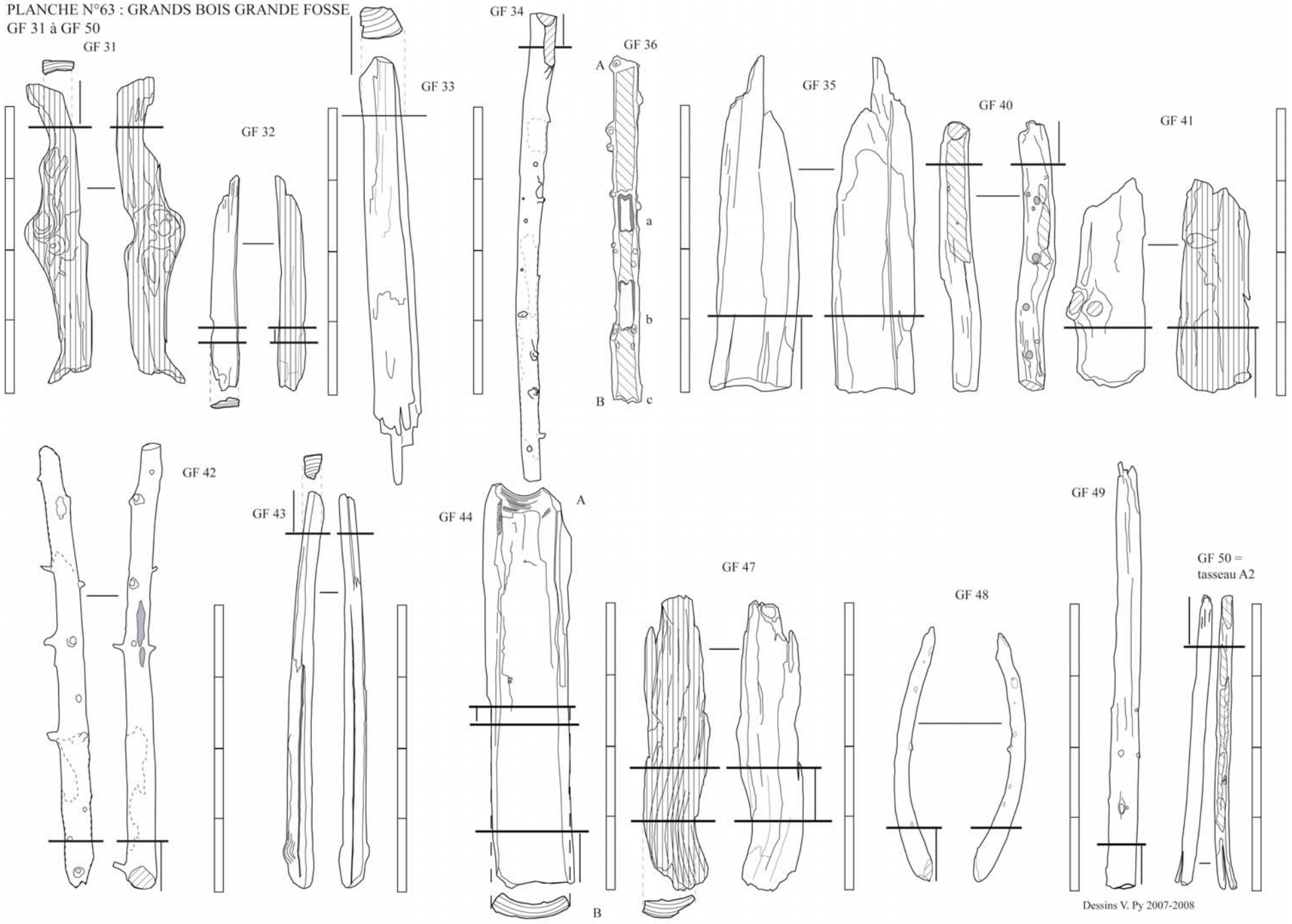
Dessins V. Py 2005-2008

PLANCHE N°62
GRANDS BOIS
GRANDE FOSSE
GF 20 À GF 30



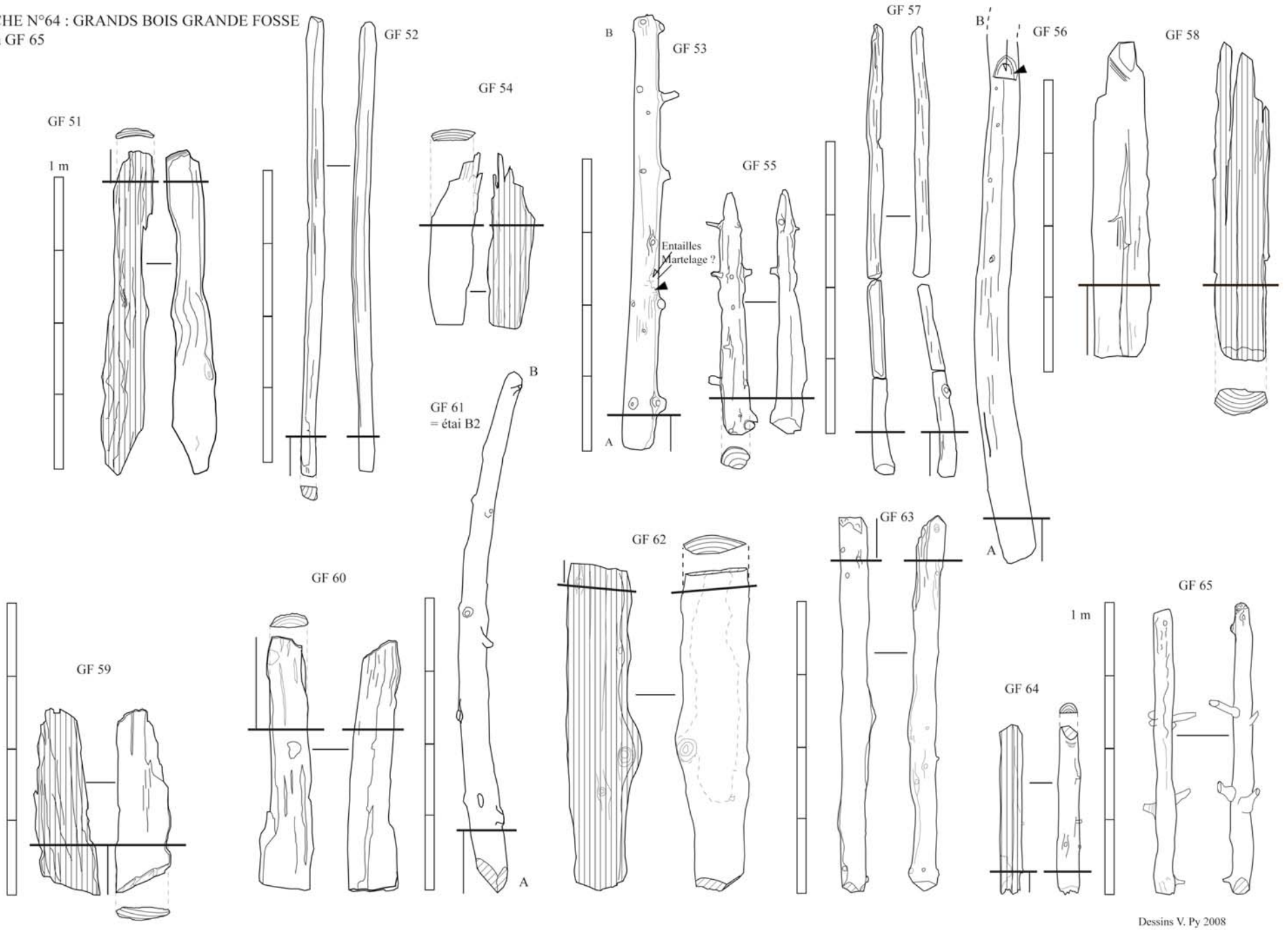
Dessins V. Py 2005-2008

PLANCHE N°63 : GRANDS BOIS GRANDE FOSSE
GF 31 à GF 50



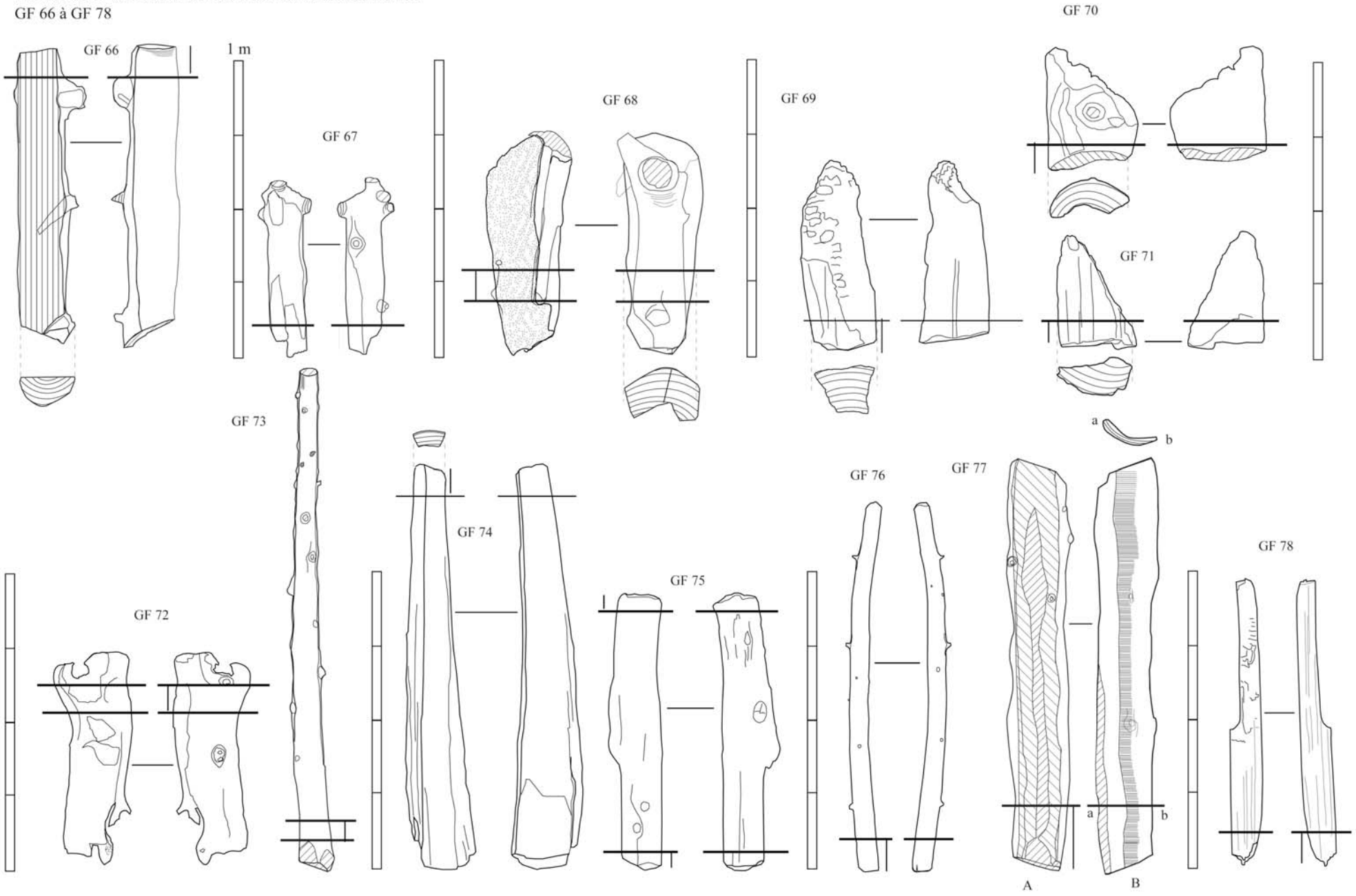
Dessins V. Py 2007-2008

PLANCHE N°64 : GRANDS BOIS GRANDE FOSSE
GF 51 à GF 65



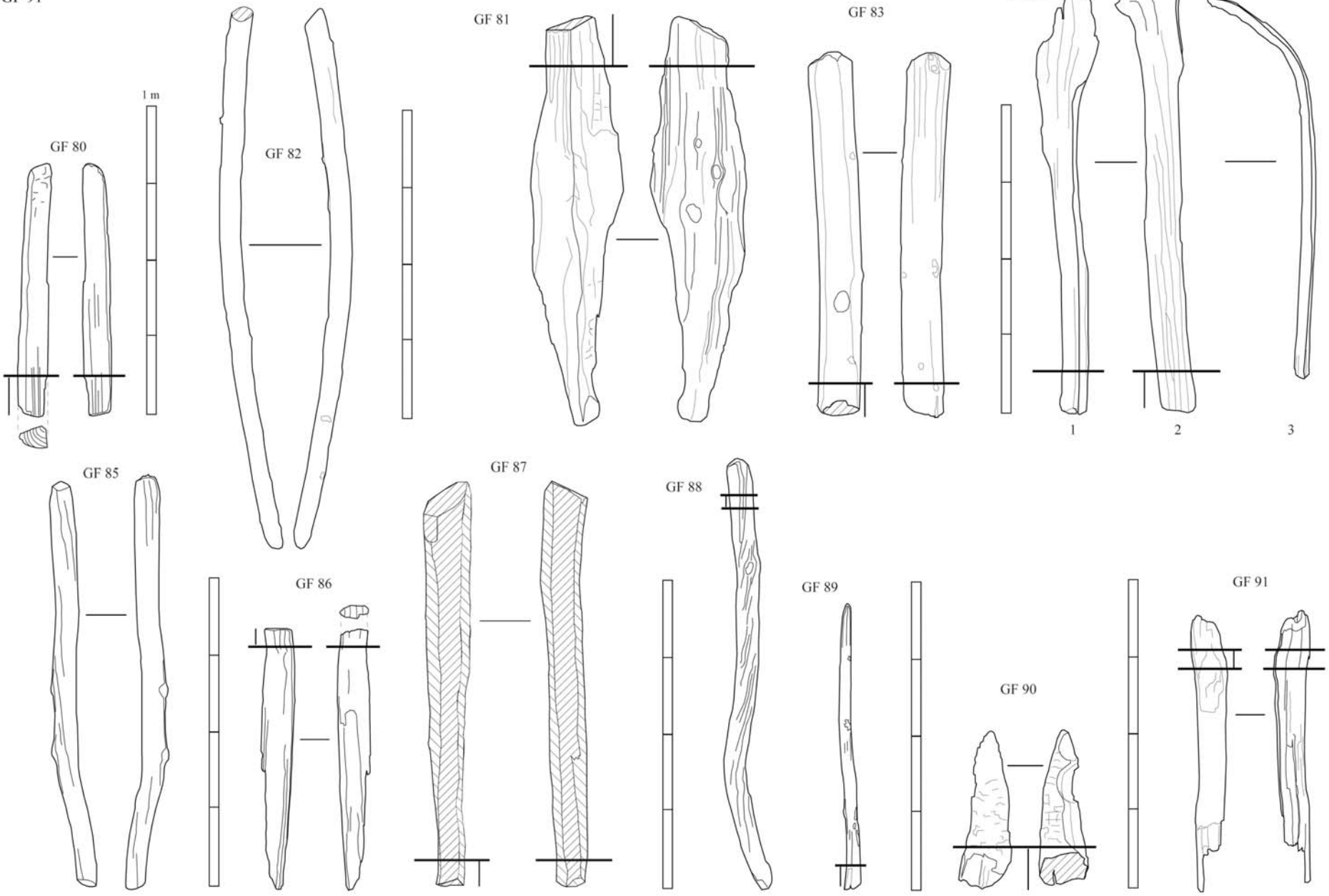
Dessins V. Py 2008

PLANCHE N°65 : GRANDS BOIS DE LA GRANDE FOSSE
GF 66 à GF 78



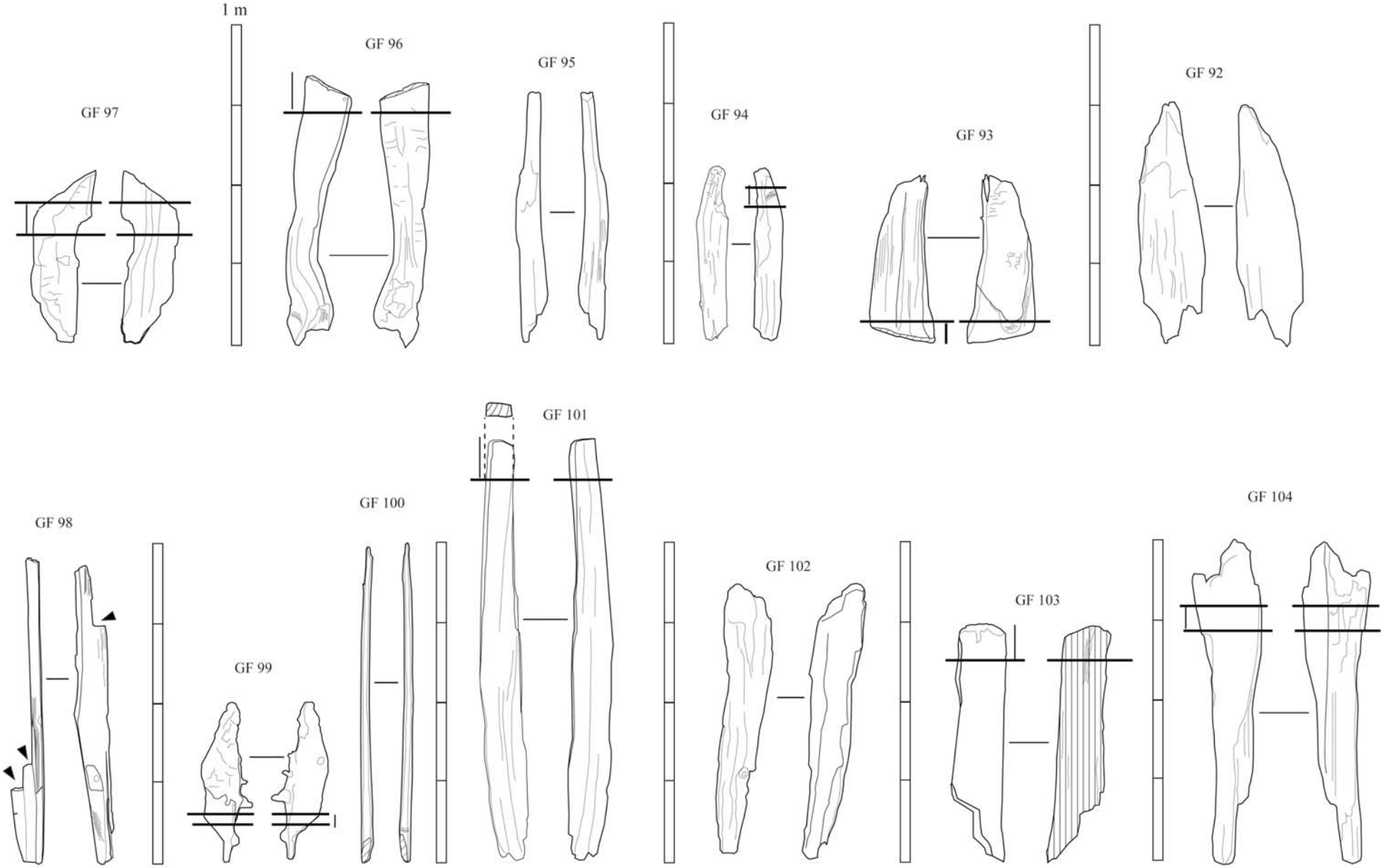
Dessins V. Py 2008

PLANCHE N°66 : GRANDS BOIS GRANDE FOSSE
GF 80 à GF 91



Dessins V. Py 2008

PLANCHE N°67 : GRANDS BOIS GRANDE FOSSE
GF 92 à 104



Dessins V. Py 2008

III.1.3. Méthodologie appliquée à l’étude des bois

Prélèvements

Les grands bois

Lors de la fouille, les grands bois enchevêtrés dans des fouillis ont été soigneusement dégagés de façon planimétrique. Leur positionnement (orientation, inclinaison) est indiqué sur les relevés en plan, réalisés pour chaque couche de bois individualisée, et en coupes (pl. 39, p. 630). Pour la Grande Fosse, deux coupes ont été réalisées : une avec les bois situés du côté du mur et l’autre avec les bois situés du côté du toit (*cf. supra*, pl. 18, p. 588 et pl. 38, p. 629). Leur localisation dans les trois dimensions a été complétée quand cela était nécessaire par leur relevé dans les coupes stratigraphiques dressées au niveau des différents compartiments (*cf. supra*, pl. 42, p. 634). Chaque groupement de bois relevés en plan est photographié (*cf. supra*, pl. 39, p. 630). Chaque bois est grossièrement décrit et a reçu un numéro d’inventaire (*cf.* annexe, tableaux 5 et 6). Après cette étape de fouille et de relevé, les bois ont été extraits un par un, puis lavés à grande eau au bord du torrent et stockés sur l’aire d’analyse abritée sous des grands arbres pour éviter l’accélération de leur dessèchement. Les grands bois en place qui ne gênaient pas la poursuite de la fouille ont été conservés *in situ* le plus longtemps possible. Les grands bois n’étant pas transportables en laboratoire dans des conditions satisfaisantes, ont été échantillonnés sur place pour la détermination xylologique qui est réalisée en laboratoire. Un fragment d’un centimètre de côté au moins a été prélevé au moyen d’un scalpel sur la plupart d’entre eux.

Les menus bois, chutes et débris

La fouille et l'étude stratigraphiques du comblement des travaux a permis de caractériser différentes couches associées à un fait. Les menus bois, les chutes et les débris contenus dans ces couches ont été entièrement prélevés et sont parfaitement localisés en plan et en profondeur. Tous les seaux de déblais extraits au fur et à mesure de la fouille étaient contrôlés à la sortie de la mine par un fouilleur chargé de les trier et de les séparer des débris de roche et des sédiments. Les sauts étaient ensuite portés au torrent et le matériel a été soigneusement lavé à l'aide d'un pinceau souple. Cet outil retire les sédiments fins collés sur le bois et préserve les macrotraces d'outils. Cette séance de lavage était nécessaire pour alléger les sacs d'échantillons à transporter à dos d'homme jusqu'au fond la vallée. Elle permettait aussi de faire un premier tri des différents éléments de façon à isoler les pièces les plus fragiles ou les plus exceptionnelles du reste des déchets de taille, comme les manches d'outils ou les fragments de récipients. Tous ces éléments dûment étiquetés ont été conservés humides dans des sacs à fermeture hermétique. Conditionnés de cette façon et stockés à l'abri du jour et de la chaleur, les échantillons peuvent se conserver sur le long terme et leur étude peut attendre quelques années. La conservation du bois se trouve largement limitée si les sacs n'ont pas été soigneusement vidés de leur air. La stratégie de prélèvement adoptée dès le premier chantier de fouille était de récolter de façon systématique ou presque tous les bois découverts, même ceux qui paraissaient insignifiants. Elle mobilise un fouilleur pour le tri, le lavage et l'empaquetage. Cette stratégie pose également des problèmes de transport et de stockage, mais s'avère payante au regard des possibilités d'étude des techniques et des usages des bois grâce à l'analyse des traces d'outils et de la morphologie des chutes et des copeaux. Elle est préconisée à juste titre non seulement pour la fouille des mines, mais aussi de tous les sites humides. Le soin apporté à l'empaquetage et au stockage peut faire patienter l'étude si le directeur de chantier ne dispose pas immédiatement des moyens financiers et/ou humains nécessaires.

Étude et analyses sur le terrain

Une aire d'étude des grands bois a été aménagée sur un terrain plat situé juste en amont de la Grande Fosse. Tous les éléments extraits y ont été entreposés pendant la durée de leur étude et avant d'être replacés en contexte humide. Plusieurs niveaux d'observations ont été nécessaires pour tenter de reconstituer leur histoire, depuis leur acquisition, leur mise en œuvre, jusqu'à leur réemploi et leur abandon.

Le premier niveau d'observations consistait à apprécier leur calibre en réalisant une série de mesures indiquées dans le tableau d'inventaire : longueur, largeur, épaisseur et diamètre maximal et minimal (*cf.* annexe, tableaux d'inventaires). Pour les pièces restées en contexte minier, leur calibre a été évalué quand cela était possible *in situ.* La mesure de longueur indique toujours la longueur maximale atteinte par une pièce dont la conservation est totale ou partielle. Les autres mesures concernent la section de la pièce. La mesure de la largeur, lorsque la pièce est de section quadrangulaire, est relevée au niveau de la partie la plus large de la section. Il en est de même pour l'épaisseur. Lorsque la pièce est de section triangulaire, l'épaisseur correspond à la mesure du petit côté et la largeur correspond à la mesure de l'axe perpendiculaire au petit côté rejoignant l'angle le plus aigu. Les pièces n'étant jamais parfaitement calibrées, les mesures concernent toujours la zone de la pièce la plus importante. Pour cela, il est donc primordial qu'une seule et même personne réalise les mesures en appliquant toujours le même protocole.

Le second niveau d'observation reposait sur l'observation de l'allure générale et de l'aspect de la pièce : présence ou non d'écorce, de traces de carbonisation, de branches coupées ou non au ras du fût, de pourritures, etc. Cette étape était facilitée par le dessin des bois placés à l'horizontal sur un plancher d'appoint, réalisé au 1/10. Lorsque cela s'avérait indispensable, le relevé des bois a été réalisé pour deux faces voire pour le profil. Chaque bois a été photographié de façon à compléter la reprise du dessin avec un logiciel de dessin (adobe illustrator CS2). La photo conserve une image des pièces de bois fraîchement exhumées. Le dessin des bois a été réalisé dans le but de restituer la morphologie de la pièce de bois et d'y indiquer des informations techniques. Une convention de dessin a été mise en place au fur et à mesure de l'étude. Elle est présentée en annexe (*cf.* conventions, p. 791). Elle devra être

améliorée dans l'avenir avec la convention établie par D. Pillonel (Pillonel 2007, pp. 323 et suiv.).

Le troisième niveau d'observations, sans aucun doute le plus difficile, résidait dans le relevé des traces de coupes laissées à chaque étape du travail jalonné par des gestes et l'usage d'outils spécifiques. Nous avons tenté quand cela était possible de relever les plans de fente, la direction des entailles, les encoches, les traces d'outils et les séries d'enlèvements. Mais, les empreintes caractérisées sur les pièces finies ne donnent qu'une vision partielle du travail du bois véritablement réalisé. En effet, elles sont les stigmates des dernières interventions de l'outil sur le bois oblitérant les premières traces et parfois les phases primaires de l'abattage et de la préparation de l'arbre. Heureusement, pour beaucoup de bois utilisés bruts (absence de dégrossissage et de façonnage), les traces des premiers maillons de la chaîne opératoire technique ont été conservées. Elles ont été pour la plupart photographiées et indiquées sur le dessin des bois quand cela était possible. Le relevé des traces, mais surtout la détermination de l'outil et la caractérisation du geste ont constitué un exercice particulièrement laborieux. En effet, les traces familières pour les artisans du bois le sont beaucoup moins pour les archéologues même les plus avertis. De plus, le relevé de ces stigmates, lorsqu'il est réalisé et publié, c'est-à-dire presque jamais pour les bois médiévaux[109], se limite la plupart du temps à des relevés très schématiques ou strictement esthétiques qui ne donnent pratiquement pas de véritables informations techniques. Pourtant, et cela a été parfaitement mis en évidence par D. Pillonel dans sa monographie sur la technologie et l'usage du bois sur le site de l'Âge du Bronze de Hauterive-Champréveyres[110], leur analyse approfondie devrait constituer le point de départ de toute étude du matériel ligneux (Pillonel 2007, pp. 48-50). Seule une grande série de données quantitatives aussi bien que qualitatives donne une évaluation du niveau technologique atteint par les artisans médiévaux et peut offrir les points d'accroche pour mener à bien une reconstitution expérimentale des techniques de travail du bois à cette époque. Le manque de référentiels pour l'époque médiévale a conduit à réaliser dans le cadre de ce travail une étude préliminaire sur les stigmates du travail du bois, avec encore beaucoup

[109] La publication des découvertes réalisées à Paladru (Isère) offre quelques dessins de bois où sont indiquées des traces, mais leur analyse technologique demeure très limitée, notamment pour les pieux (Colardelle, Verdel 1993, p. 135, fig. 37 ; p. 138, fig. 89).

[110] R. Sands est l'un des premiers chercheurs qui se soient penchés sur l'étude technique des bois archéologiques à avoir mis en évidence l'intérêt de l'étude des traces et des macrotraces d'outils pour caractériser les techniques du travail du bois durant la protohistoire. Il a développé à partir de l'étude des pieux du site de Oakbank Crannog dans le Loch Tay en Écosse, une technique d'enregistrement des stigmates technologiques laissés sur le bois. (Sands 1997 ; Pillonel 2007, n. 4, p. 49).

d'imperfections, qui a pour objectif de définir des problématiques nouvelles de travail et de réflexion. Elles seront à explorer de façon plus approfondie dans les années à venir grâce à la poursuite de la fouille du site de Fangeas et à la coopération d'artisans du bois. L'approche expérimentale devient évidente et nécessaire. En effet, la lecture des traces et la détermination de l'outil utilisé est envisageable, déjà avec l'acquisition d'une bonne expérience, puis par la comparaison du matériel archéologique avec du matériel récent ou expérimental. La corrélation entre les traces archéologiques et les outils devrait se trouver facilitée pour Fangeas par une apparente standardisation du mobilier métallique utilisé.

L'étude des macrotraces d'outils (parfois microscopiques) sur les grands bois a été limitée sur le terrain car le matériel d'analyses parfois nécessaire (loupe binoculaire) ne pouvait être disponible. Cette étude a donc pour l'instant été conduite à titre expérimental sur un échantillon d'une cinquantaine de menus bois étudiés en laboratoire (*cf.* annexe, tableau 7).

III.1.4. Analyses en laboratoire

Identification xylologique

Le séchage brusque est souvent fatal aux pièces de bois. Le bois se rétracte et se déforme définitivement à l'échelle macroscopique et microscopique (effondrements cellulaires) interdisant toute ré-imbibition et toute étude ultérieures. En effet, le bois gorgé d'eau a subi des transformations profondes au cours du temps : les parois cellulaires contiennent une proportion d'eau beaucoup plus importante qu'à l'origine, qui n'assure aucune rigidité relative, malgré une apparence à l'œil nu qui peut être remarquablement conforme à l'aspect original. Pour cette raison, une partie des bois gorgés d'eau non analysés, c'est-à-dire les petits bois et les déchets qui ont fait uniquement l'objet de mesures, a été stockée provisoirement dans des conteneurs climatisés. Conservés dans ces bonnes conditions, les bois prélevés depuis 2004 se sont parfaitement maintenus.

La méthode d'identification adoptée est la même que pour l'anthracologie : l'anatomie du bois est observée en microscopie à réflexion à des grossissements variant de 100 à 500 fois. Les plans de coupe (transversal, radial et tangentiel) sont comparés à ceux des atlas de xylologie. Cette approche doit souvent être complétée par des comparaisons avec des

charbons de bois actuels de collections de références. Selon les pièces, l'identification peut se faire en plaçant directement différentes faces de l'objet sous le microscope (qui éclaire par-dessus), ou par le prélèvement d'une esquille millimétrique, réalisé à la lame de rasoir ou au scalpel dans une partie abîmée de l'objet. Dans d'autres cas (objet entier), le fragment prélevé est extrait, identifié puis replacé dans son logement. L'échantillon est essoré pour atteindre le degré de dessiccation idéal qui vide les espaces cellulaires de leur eau libre (Chabal, Feugère 2005, p. 141). Si l'échantillon demeure gorgé d'eau, on peut voir s'écouler l'eau à travers les fibres ligneuses et sa présence nuit considérablement à la qualité de l'observation. L'image des plans est identique à celle qu'on obtient en anthracologie, avec tout de même un peu moins de contraste.

Pour les bois peu denses, l'effondrement des structures avec la dessiccation est une difficulté et limite l'affinement du niveau de détermination. Les plans longitudinaux sont plus aisément observables en microscopie à réflexion que le plan transversal. Son observation nécessite le plus souvent la découpe d'une lamelle très fine (moins d'un millimètre si possible) à la lame de rasoir. L'opération s'avère souvent délicate lorsque l'échantillon a conservé beaucoup d'humidité car les fibres s'écrasent avec le passage de la lame. Pour réussir cette opération, la lame doit être parfaitement affûtée. Le problème rencontré par le dendrologue est identique à celui que rencontre l'artisan du bois : il est plus aisé de couper du bois dans le sens du fil que dans le bout. La fine lamelle de bois prélevée est placée avec une goutte d'eau (ou de colorant) entre une lame mince et une lamelle en verre. Elle est observée en microscopie à transmission (lumière par le dessous). Cette méthode de préparation de l'échantillon est plus laborieuse que la précédente, mais elle s'est avérée indispensable pour certains bois très imbibés ou pour les feuillus et le bois provenant de l'aubier (plus clair).

Observations macroscopiques : vers une approche tracéologique

En entamant ou coupant la matière ligneuse, l'outil laisse une trace sous la forme d'un plan de coupe ou d'un enlèvement plus ou moins profond, plus ou moins important. L'analyse des différents enlèvements, de leur forme et de leur organisation, et des plans de coupe conservés sur une pièce de bois donne des informations sur le type d'outil (forme du tranchant) utilisé et sur la technique de travail (geste, angle d'attaque de lame) (Arnold 1992 ; Pillonel 2007, p. 49). Les macrotraces conservées sur le fond des enlèvements ou sur les plans de coupe peuvent quant à elles donner des informations sur l'état du tranchant de l'outil (usures, rayures, esquillements) (Pillonel 2007, p. 49). Chaque outil laisse plus ou moins longuement une empreinte reconnaissable sur les différentes pièces de bois pour le façonnage desquelles il a été utilisé avant son ré-affûtage ou la formation d'autres détériorations. Dans le meilleur des cas, l'étude des macrotraces permettrait une interdatation d'un groupe de bois d'étayage comme cela a été réalisé par R. Sands pour un groupe de pieux d'un habitat lacustre (Sands 1997). Mais pour l'heure, l'obtention de tels résultats n'est pas envisageable pour Fangeas, l'étude des macrotraces ayant été volontairement limitée à une petite série de menus bois.

D. Pillonel a mis en évidence que la signature des tranchants de lame est influencée par trois facteurs importants : les caractères anatomiques de l'espèce, la texture du bois et l'exposition aux intempéries et aux activités anthropiques (Pillonel 2007, p. 49). La signature fine des lames est plus visible sur les bois homogènes que sur les bois hétérogènes. Les signatures de tranchants sont mieux marquées sur des bois secs que sur des bois verts car l'évaporation de l'eau provoque le rétrécissement des cellules et la rétractation de la matière. Un bois exposé aux intempéries avant son enfouissement ou encore sujet à des réemplois ou à des accidents (feu, écrasements par exemple) aura tendance à perdre ses traces, surtout les plus ténues. Il existe donc une haute variabilité du degré de conservation des macrotraces d'une pièce à l'autre imposant une étude quantitative approfondie pour espérer obtenir des résultats interprétables en termes de chronologie du travail par la spéciation d'un groupe de bois travaillés avec le même outil avant son ré-affûtage.

Pour cette approche tracéologique, seule une petite série de chutes, de copeaux, de pièces plus ou moins travaillées y compris des branches taillées, a été échantillonnée parmi les menus bois prélevés en 2008 (*cf.* annexe, tableau 7). Comme, il est parfois difficile de faire la part des fragments liés à un travail de bois d'œuvre et des résidus de bois simplement sectionnés, l'échantillonnage a visé des pièces si possibles représentatives de la totalité du corpus tout en accordant de l'importance aux pièces exceptionnelles (manches outils, fond cuveau, etc.). En effet, les traces d'outils peuvent exister sur le bois quelle que soit sa destination. Les pièces de bois ont d'abord été observées à l'œil nu sous une lumière rasante. Les coupes et les enlèvements ont ensuite été observés finement à la loupe binoculaire à des grossissements faibles (10 fois à 50 fois) car la présence d'un travail du bois n'est pas toujours visible à l'œil nu.

Approche morphométrique

L'ensemble des menus bois, chutes, déchets de travail et débris de bois prélevé en 2005 et 2008 a fait l'objet de mesures en laboratoire (ou sur l'aire de stockage). Pour chaque fragment ou pièce, la longueur, la largeur maximale (et minimale), l'épaisseur maximale (et minimale) et le diamètre (maximal lorsque la pièce est entière) ont été mesurés. Pour les pièces présentant du bois de cœur et de l'aubier, un diamètre minimal a été évalué. Les chutes de refend longitudinal présentant parfois des sections irrégulières à différents endroits de leur longueur, seule la largeur maximale a été mesurée et l'épaisseur a été mesurée au même endroit (*cf.* annexe, tableau 8). Il n'a pas été jugé nécessaire en 2008 de mesurer toutes les longueurs des chutes. Seule une prise de mesure de leur section a semblé utile et pertinente. Les données brutes sont présentées dans les tableaux en annexe (*cf.* annexe, tableaux 8, 9, 10 et 11). L'objectif de cette approche était de pouvoir caractériser ou non des groupes de fragments liés à différentes étapes de la chaîne opératoire et/ou à l'usage d'outils différents (largeur du tranchant).

Étude dendrochronologique

L'étude dendrochronologique est réalisée par J.-L. Édouard, chercheur à l'I.M.E.P. à Marseille. Elle n'est malheureusement pas aboutie. Tous les grands bois présentant un nombre de cernes suffisants, c'est-à-dire la presque totalité du corpus des grands bois de la Grande Fosse et du Grand Puits (*cf.* annexe, tableaux 5 et 6), ont été échantillonnés pour l'étude dendrochronologique. Des sections d'une dizaine de centimètres d'épaisseur ont été tronçonnées sur place. L'emplacement de chaque prélèvement dendrochronologique est indiqué sur les dessins des bois de la Grande Fosse. Les échantillons des bois du Grands Puits numérotés de 1 à 21 n'ont malheureusement pas été indiqués sur les dessins car nous n'étions pas sur place au moment de l'échantillonnage.

Pour faciliter le polissage des coupes transversales, les échantillons ont été séchés en laboratoire à température ambiante, à l'abri de la chaleur et de la lumière directe. Les mesures ont été réalisées pour l'instant sur un corpus de 44 pièces de sections très variées provenant du Grand Puits et de la Grande Fosse (GP 1 à 21, GP poutres 1 et 2 ; GF 1 à 21). Les bois sont en majorité du Mélèze (14) et du Pin cembro (18) et quelques pièces ont été façonnées dans des feuillus. Quelques bois fournissent des chronologies de plus de 100 cernes (maximum 280 cernes). Mais, ils présentent le plus souvent des séquences de cernes trop courtes pour que soit retenu un synchronisme direct fiable avec les références chronologiques.

Lorsque l'étude sera aboutie le but est de préciser la chronologie de l'approvisionnement en bois d'étayage, de construction et d'équipement. Le décomptage des cernes de croissance sur les individus pourvus de moelle et d'aubier permet d'obtenir leur âge (du moins pour ceux qui sont pourvus de cellules cambiales) sinon leur âge minimum. Cette donnée confrontée aux diamètres devrait faciliter la caractérisation de la forme des peuplements exploités et des choix opérés par les mineurs (économie forestière, modalités de gestion de la forêt).

Traitement et restauration

Le mobilier périssable de Fangeas datés des XIe-XIIe siècles est exceptionnel et rare. Pour cette raison, le Service Régional de l'Archéologie P.A.C.A. a permis, grâce à son soutien financier, le traitement conservatoire de trois pièces fragiles : le demi-fond de cuveau 59, la poulie de levage et le semelage composé de trois pièces de cuir. Elles constituent les premiers éléments d'une collection de mobilier minier périssable qui ont été intégrées à l'exposition de Gap « Forêts alpines et charpentes en Méditerranée ». La poursuite du traitement des pièces les plus exceptionnelles (coupelle taillée dans une loupe, *Kletterbaum*, goulotte etc.) et leur mise en valeur muséographique doit faire l'objet d'une étude en collaboration avec le Musée Museum de Gap.

Le traitement de ce matériel a été réalisé par l'équipe du laboratoire d'Arc-nucleart (Atelier Régional de Conservation) de Grenoble[111]. Les travaux d'imprégnation de la poulie et du demi fond de cuveau en bois au PEG 4000 à 20 %, puis à 30 % dans l'eau ont duré dix mois. Les objets ont par la suite été congelés et lyophilisés. Après assèchement, les pièces en bois ont été débarrassées des excès de PEG 4000 présents en surface et ont fait l'objet de consolidations ponctuelles. La consolidation de la surface des pièces a été réalisée par le passage au pinceau d'une résine acrylique en solution dans l'acétone. Les fentes et les décollements d'esquilles sur la poulie ont été stabilisés par infiltration sous pression d'une résine acrylique de plus forte concentration. Des travaux de restauration ont été réalisés sur le demi-fond de cuveau brisé en cinq morceaux. Les pièces ont été recollées puis les fractures les plus visibles ont été comblées avec un mastic spécifique composé de microbilles de verre, de carbonate de calcium et de résine, teinté avec des peintures acryliques. Le traitement du semelage a été plus rapide. Après dessin et nettoyage, les pièces de cuir ont été imprégnées de PEG 400 à 30 % dans l'eau pendant une semaine, puis congelées et lyophilisées (Boumlil 2007). Le cuir s'étant révélé fragile après traitement, les trois pièces ont fait l'objet à leur revers de consolidations ponctuelles sous forme de doublages plus ou moins étendus (non tissé polyester enduit de résine).

[111] Sur les méthodes de conservations des bois gorgés d'eau *cf.* Les bois gorgés d'eau, étude et conservation. *Actes de la 2e conférence du groupe de travail « Bois gorgés d'eau » de l'ICOM*, Grenoble 28-31 août 1984, Grenoble : Centre d'étude et de traitement des bois gorgés d'eau, 1985.

Le maintien durable des objets traités et restaurés implique le respect de trois règles conservatoires : limiter une exposition aux variations climatiques, proscrire l'éclairage direct par la lumière naturelle, la température idéale de conservation ne doit pas dépasser 20 °C.

III.2. LES BOIS D'ÉTAYAGE ET DE CONSTRUCTION

III.2.1. Les rondins

La plupart du temps, les troncs d'arbre ébranchés et plus rarement dépouillés de leur écorce comme le suggèrent les séries d'enlèvements à leur périphérie, ont été employés sous leur forme brute. Et cela même lorsqu'ils sont courbes, noueux ou tortueux. On se sert alors du terme « rondin » pour les désigner (*cf.* annexe, tableau 5). En effet, dans l'architecture traditionnelle, les rondins sont utilisés pour l'étaiement, la construction d'échafaudages et la construction de murs en pans de bois. Leur fonction est similaire dans la charpenterie de mine. Peu soucieux de l'esthétique de leurs ouvrages et de leurs assemblages, les ouvriers mettent de préférence en œuvre des rondins, bénéficiant ainsi de leur solidité et de leur forme naturelle et d'une bonne rapidité d'exécution.

L'ébranchage des rondins a été réalisé à la serpe pour les petites sections et à la hache pour les plus grosses. Les branches ont généralement été coupées au ras de la bille ou à quelques centimètres[112]. Dans certains cas, elles ont été taillées à dix voire à vingt centimètres du tronc[113]. Ces excroissances ont été conservées sur les troncs présentant les plus fortes branches, plus difficiles à ébrancher à ras. Elles ont aussi pu être préservées pour servir de marchepied, de guide ou de point d'accroche pour des cordages, d'élément de préhension ou d'assemblage (fourche).

[112] Voir par exemple dans la planche n°, les bois GF 34, GF 42 et GF 48.

[113] Voir par exemple dans la planche n°, les bois GF 21 et GF 25.

Les rondins exhumés constituent 30 % du corpus de grands bois provenant de la Grande Fosse. Leurs diamètres sont compris entre 5 et 20 cm, rarement plus ou moins (*cf.* annexe, tableau 5 et fig. n°37, p. 813). Leur âge sera précisé grâce à l'analyse dendrochronologique.

En attendant l'obtention de résultats précis, on peut tenter d'évaluer l'âge moyen des arbres d'où proviennent ces rondins. Cette approximation s'appuie sur les travaux menés par V. Petitcolas sur la croissance radiale des quatre grands résineux capables de pousser à haute altitude dans quatre régions des Alpes françaises et notamment en Briançonnais : le Mélèze, l'Épicéa, le Pin à crochets et le Pin cembro (Petitcolas *et al.* 1997). Le rythme moyen de croissance annuelle radiale des mélèzes situés en limite supérieure de la forêt, permet d'estimer que les rondins de Fangeas ont, en tenant compte d'une marge d'erreur de 5 ans[114], entre 10 à 15 ans lorsqu'ils mesurent environ 5 cm de diamètre, entre 25 et 50 ans lorsqu'ils mesurent une dizaine de centimètres de diamètre et entre 75 à 100 ans lorsqu'ils mesurent 20 cm de diamètre (Petitcolas *et al.* 1997, p. 739). Le Pin cembro présente une croissance radiale plus dynamique, mais il ne représente qu'une faible proportion des rondins utilisés par les mineurs (6 %). Les arbres de 100 ans ont un diamètre compris entre 20 et 40 cm suivant l'exposition. Un arbre de 50 ans atteint en moyenne un diamètre de 15 à 20 cm.

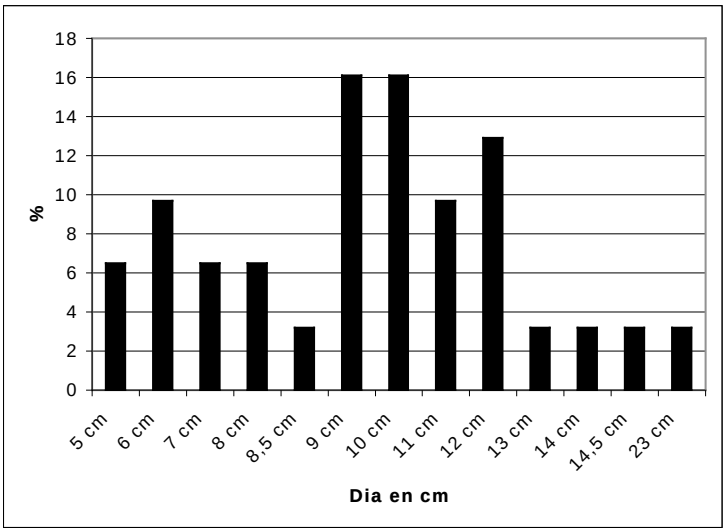


Fig. n°37 : Fréquences relatives des différentes classes de diamètres.

À Fangeas, on remarque une forte concentration des rondins mesurant entre 9 et 12 cm de diamètre (*cf.* fig. n°37, p. 813). Ils totalisent 54 % du corpus. Les mineurs ont donc utilisé de préférence des bois de faibles diamètres, mais matures puisque leur âge est compris *grosso modo* entre 20-25 et 45-50 ans. L'utilisation de bois âgés est plus ponctuelle (100 ans et plus).

[114] Le risque d'erreur en biologie est de 5 %.

Les longueurs de découpe sont très variées (*cf.* annexe, tableau 5 et fig. n°38, p. 814). Elles sont comprises entre 49 cm et 3 m. Les quatre pièces[115] dont la longueur est supérieure à 2 m, sont en réalité des grumes qui n'ont pas été tronçonnées après abattage et rectification des extrémités (12,5 %). Les douze pièces[116] dont la longueur est comprise en 1,50 et 2 m sont pour la grande majorité des grumes qui ont conservé pour la plupart leurs marques d'abattage (37,5 %). Seulement deux d'entre elles[117] paraissent provenir du tronçonnage de grumes plus longues. Les seize pièces[118] dont la longueur est inférieure à 1,50 m (50 %) sont toutes des rondins (ou des tronçons de perches). Sauf les pièces[119] dont la longueur est inférieure ou égale à 60 cm, toutes les autres ont pu servir d'étais transversaux pour l'équipement du chantier de la Grande Fosse lors des premières phases d'exploitation (*cf.* tabl. n°9, p. 815).

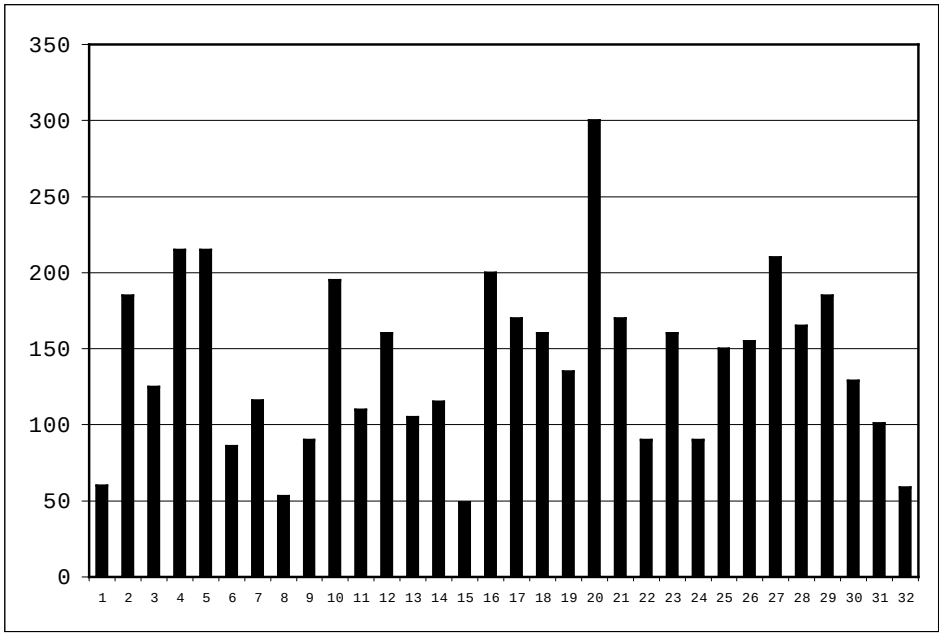


Fig. n°38 : Longueurs en cm
longueurs sont en ordonnée

[115] Voir dans planche n°, les bois GF 7, GF 8, GF 28 et GF 56.

[116] GF 3, GF 16, GF 19, GF 22, GF 25, GF 26, GF 34, GF 42, GF 49, GF 53, GF 57, GF 61.

[117] GF 26 et GF 49.

[118] GF 1, GF 6, GF 14, GF 17, GF 21, GF 27, GF 40, GF 48, GF 63, GF 65, GF 67, GF 75, GF 76, GF 83, GF 94, GF 99.

[119] GF 1, GF 67, GF 94 et GF 99.

n° bois	l en cm	dia en cm	Essence	fonction	tr. abattage	appointé
GF 1	60	10	*Larix-Picea*	bois de feu ?	X	
GF 3	185	10	*Larix-Picea*	étai, latte (?	X	X
GF 6	125	5	non déterminé	perche, latte		X
GF 7	215	5	*Larix-Picea*	perche, latte	X	
GF 8	215	12	*Larix-Picea*	poteau, étai ?	X	
GF 14	90	8	*Larix-Picea*	étai (?)	X	
GF 16	195	11	*Larix-Picea*	étai		
GF 17	110	13	*Larix-Picea*	étai	X	
GF 19	160	9	*Larix-Picea*	étai, perche ?	X	
GF 21	105	23	*Larix-Picea*	poteau, étai ?		
GF 22	200	8	non déterminé	étai	X	
GF 25	170	10	*Larix-Picea*	poteau, étai ?		
GF 27	135	12	*Larix-Picea*	étai		
GF 28	300	12	*Larix-Picea*	poteau, étai ?	X	
GF 34	170	9	*Larix-Picea*	étai	X	
GF 40	90	10	*Larix-Picea*	étai		
GF 42	160	9	*Larix-Picea*	étai		
GF 48	90	6	*Larix-Picea*	étai (?)	X	X
GF 49	150	9	*Larix-Picea*	étai (?)		
GF 53	155	10	*Pinus* sp.	étai (?)		
GF 56	210	11	*Larix-Picea*	étai		
GF 57	165	6	*Larix-Picea*	perche, latte		
GF 61	185	11	*Larix-Picea*	étai	X	
GF 63	129	7	*Larix-Picea*	étai		X
GF 65	101	6	*Larix-Picea*	étai (?)		
GF 67	59	12	*Larix-Picea*	bois de feu ?		
GF 75	86	14,5	*Pinus cembra*	étai		
GF 76	116	7	*Larix-Picea*	étai		
GF 83	115	14	*Larix-Picea*	étai		X
GF 94	53	8,5	*Larix-Picea*	bois de feu		
GF 99	49	9	*Larix-Picea*	bois de feu		

Tabl. n°9 : Tableau présentant l'ensemble des rondins exhumés de la Grande Fosse.

Les rondins de faibles diamètres (5-6 cm) avec une longueur comprise entre 1,25 et 2,15 m n'ont manifestement pas été calés en force entre deux parois de roche. Ils ont pu servir de lattes de couverture pour un plancher ou un toit (posées à plat). À l'exception de la perche GF 7, retaillée en pointe à l'une de ces extrémités, les autres perches n'ont pas été appointées excluant leur utilisation comme piquet ou pieux (GF 6, GF 57). Par contre, on ne peut pas exclure leur réservation pour cette utilisation. La même fonction peut être attribuée aux pièces dont le diamètre est plus élevé, mais dont la longueur est supérieure à 1,50 m (GF 3, GF 19). Les traces de taille à l'extrémité de la pièce GF 7 supposent l'utilisation d'un outil tranchant à percussion lancée comme la hache, la hachette ou la serpe.

Les rondins dont la longueur est supérieure ou égale à 2 m et dont le diamètre est compris entre 8 et 12 cm ont pu servir de poteau, d'étais transversaux ou de lattes pour la

couverture d'un plancher. Les rondins dont la longueur est comprise entre 60 et 150 cm et dont le diamètre est inférieur à 10 cm n'offrent *a priori* pas assez de résistance pour servir de pièces d'étayage ou d'armatures des boisages comme les étais, les poteaux ou les longrines (poussards). Or, la faible section (5 x 5 cm) de l'étai B2 (GF 52), légèrement équarri, autorise à penser que les rondins présentant un diamètre compris entre 5 et 10 cm ont pu avoir une fonction identique ou proche. Les rondins de plus forts diamètres et d'une longueur comprise entre un et moins de deux mètres ont pu servir d'étais, d'étrésillons – pièce d'un blindage ou d'un étaiement, agencée horizontalement ou de façon inclinée – ou encore de poussards. Ces fonctions peuvent aussi avoir été assurées par des pièces refendues (demi-billes, pièces quadrangulaires) conservant une section importante.

Les douze rondins qui ont conservé des restes d'entailles d'abattage n'ont pas été utilisés comme étais par les mineurs. Ils ont été abandonnés lors de la fermeture de l'exploitation. Les rondins qui ont été utilisés pour les boisages montrent des extrémités retaillées légèrement en pointe conique ou à plat. Les traces de coupes sont émoussées et les arêtes vives ont disparu. 37 % des rondins retrouvés dans la Grande Fosse pourraient provenir d'un stock de pièces de bois rangées aux abords de la mine et jetées ou rangées dans le chantier au moment de son comblement. L'étai B2 (GF 61), qui a été retrouvé posé transversalement sur les éboulis situés sous le plancher, avait dans un premier temps été interprété comme support du plancher au niveau du compartiment III. Or, l'étude des traces de travail démontre que cette pièce n'a pas été calée en force entre les parois. Elle a pu servir tout au plus de pièce de renfort adossée contre une paroi. Les rondins montrant des arrachements sur au moins une de leurs extrémités peuvent correspondre à des pièces défectueuses.

La recoupe et l'ajustement des longueurs ont pu être réalisés dans la mine ou sur le carreau. La multitude de déchets de coupes – éclats de débitage en long et en bois debout – découverte dans les remblais de la Grande Fosse semble confirmer cette hypothèse. Le sondage de la halde de la Grande Fosse de Faravel I et du carreau de la mine de Saint-Roch (Fournel) ont livré des quantités spectaculaires d'éclats et de copeaux de bois correspondant au débitage du bois de feu et au façonnage du bois de mine. Ces résidus du travail du bois accréditent l'existence d'aires de préparation du bois et du combustible sur le carreau de la mine.

III.2.2. Les bois blanchis ou grossièrement équarris

Fig. n°39 : Équarrissage ou blanchissage traditionnel d'une grume à la hache avec un large tranchant évasé (Roumanie, XIXe s.).

L'opération d'équarrissage, illustrée par Heinrich Groff (*cf. supra*, fig. 24, p. 742), consiste traditionnellement à tracer quatre « traits de scie » parallèles et perpendiculaires deux à deux, faisant tomber une *dosse (quatre en tout). Sa surface extérieure étant couverte d'aubier, c'est une chute normalement inutilisable pour la charpenterie. Elle est par contre largement employée en mine pour le *garnissage des puits et des galeries.

Le premier trait tracé dans la longueur de la bille permet de dresser une première surface plane. Il est appelé « trait de dressage » ou « trait directeur ». Afin d'obtenir un poteau de section parfaitement carrée, avec des arêtes vives, il peut être nécessaire de découper ou de « lever » une contre-dosse qui ne présente de l'aubier que sur les chants (côté le plus étroit d'une pièce équarrie). De cette façon, l'équarrissage permet non seulement de débiter des poutres, mais aussi de préparer le débitage de planches ou de chevrons aux surfaces perpendiculaires les unes aux autres et aux arêtes vives. Pour le bois de construction, l'équarrissage pouvait être effectué à la scie de long ou à la scie hydraulique. Dans ce cas, les grumes ou les billes étaient livrées « brutes » à la scierie où elles étaient écorcées. On y levait les dosses et contre-dosses avant de débiter des poutres, des planches et toutes pièces de bois présentant des arêtes vives et quatre surfaces planes.

L'équarrissage a longtemps été réalisé à la hache à équarrir – appelée aussi doloire ou épaule de mouton – présentant un tranchant beaucoup plus large que la hache ou la cognée (*cf.* fig. n°39, p. 817).

L'opération de blanchissage consiste à enlever, à l'aide de la hache, de la cognée, de la doloire ou même de l'herminette, du bois à la périphérie du tronc de manière à dégager une surface plus ou moins étendue, sensiblement plane et parallèle à l'axe (*cf.* fig. n°39, p. 817). Cette technique permet d'obtenir des angles non saillants tout en préservant le maximum de bois et d'aubier[120]. Par contre, elle ne permet pas de récupérer du bois utile dans la dosse. Les bois blanchis sont appelés « fustes » au Moyen Âge. Leur production dans les régions du Haut-dauphiné et de la Haute-Durance constituait entre la fin du XIIIe et le XIVe siècle une industrie florissante et rentable (Py 2002, p. 42). Elle mettait à profit les massifs situés dans des lieux escarpés et inaccessibles grâce à la vidange des arbres par des couloirs forestiers ou par les torrents affluents de la Durance ou de l'Isère. Par abus de langage, le terme équarrissage est utilisé pour caractériser des pièces de bois – notamment la fuste – qui n'ont subi qu'une opération de blanchissage. Dans ce cas, on parle aussi « d'équarrissage grossier ».

À Fangeas, les pièces de bois montrant des traces d'équarrissage sont exceptionnelles et ne sont d'ailleurs jamais parfaitement équarries (absence d'angle saillant). Aucune poutre équarrie, avec quatre faces d'équerre et égales, n'a été retrouvée. Les quelques pièces présentant une section quadrangulaire irrégulière suggèrent une opération d'équarrissage très grossier. Ce travail se rapporte dans ces cas plutôt à une opération de blanchissage (GF 4, GF 40, GF 50) qui semble avoir été réalisée à la hache et pour certaines pièces très probablement à l'herminette. Le blanchissage a été pratiqué sur une ou deux faces parallèles uniquement sur des pièces à vocation particulière et nécessitant un travail de taille. Les bois pouvant se rapporter à des poteaux de mine ou à des étais sont conservés « bruts ». Ils ont juste été tronçonnés à la hache à la longueur souhaitée. Les étais conservés en place dans la Grande Fosse le confirment. Parmi les pièces équarries partiellement (ou plutôt blanchies), on peut citer quelques exemples significatifs. Le premier est le tronc qui a servi à tailler la goulotte GF 77. La face A montre que l'opération de blanchissage a eu lieu en trois étapes. Une première lamelle a été débitée sur 4 à 5 cm de largeur au centre de la face. De part et d'autre, une seconde et une troisième lamelle ont été débitées sur à peu près la même largeur. La pièce conserve sa forme arrondie malgré ces aplanissements qui ont servi à façonner le dos de la goulotte. De la même manière, le tronc qui a servi à confectionner la goulotte du Grand Puits semble avoir été légèrement équarri sur une face pour guider et faciliter l'évidement. GF 87 est la seule pièce pouvant s'apparenter à une poutre puisqu'elle a été équarrie sur

[120] Pour ces bois, on parle également de madrier.

toutes ses faces. Or, l'équarrissage à proprement parler a été pratiqué sur deux faces parallèles. Les autres côtés ont été simplement blanchis de telle sorte qu'elle présente six faces, dont quatre étroites et deux larges, au lieu de quatre en tout. Enfin, quelques petits troncs[121], grossièrement équarris et taillés en pointe à l'une de leur extrémité, ont pu servir à confectionner des piquets, pieux ou des étais.

III.2.3. Les bois débités de long

Les pièces « refendues » ou débitées en long, c'est-à-dire dans le sens longitudinal (radial ou tangentiel), constituent 65 % du corpus de bois de la Grande Fosse. Elles présentent des sections très irrégulières et variées liées soit à un mauvais contrôle des fentes de débitage réalisé à la masse et aux coins et/ou à la hache, soit à l'intention de produire du combustible pour alimenter les feux d'abattage par exemple. Leurs largeurs varient entre 5 à 40 cm et leurs épaisseurs entre 2 à 15 cm (*cf.* annexe, tableau 5). Une petite partie des pièces (5) est à rattacher au groupe des sections quadrangulaires plutôt irrégulières sur l'ensemble de leur longueur, proches du rectangle, du carré ou du trapèze (*cf.* annexe, tableau 5).

Un autre groupe des bois débités de long est constitué par des pièces à sections triangulaires ou trapézoïdales avec un des côtés parallèles très étroit (quartiers). Une partie de ce lot de grands bois comprend des sections quadrangulaires ou triangulaires, avec une faible épaisseur et une largeur importante. Elles sont proches de celles d'une planche ou d'un plateau. Pour finir, il faut ajouter les dosses plus ou moins fines et régulières et les planches avec éclatement non contrôlé du bois dans le sens longitudinal des fibres. Ces pièces de bois « planes », qui représentent 21 % du corpus de grands bois de la Grande Fosse, ont pu avoir des fonctions multiples proches de celles d'une planche dans le bâtiment. Elles conviennent pour habiller un plancher, au cuvelage des parois, à la couverture des toits, à la confection de semelles ou de barrières.

[121] GF 30, GF 43, GF 89, GF 100.

Planches, plateaux et dosses

Huit pièces de bois ont été identifiées comme étant des dosses (tabl. n°10, p. 820). Leur longueur maximale ne dépasse pas 1,15 m. Leur largeur maximale est comprise entre 12,3 et 25 cm. Les arbres choisis sont des mélèzes et/ou des épicéas matures voire vieux. Ils doivent pour les plus gros mesurer environ 60 cm de diamètre et pour les moins gros, 18-20 cm de diamètre. Ces mesures sont largement supérieures à celles des rondins. Elles ne sont pourtant pas exceptionnelles et s'expliquent par les possibilités techniques et les besoins des mineurs. Il est en effet difficile de débiter une dosse dans un petit tronc à cause des risques d'éclat. De plus, les dosses tirées de billes de fort diamètre ont une utilité pour l'aménagement de la mine que n'auraient pas de petites dosses tirées de rondins. Leur épaisseur est comprise en 3 et 8 cm. Les pièces GF 93 et GF 96 sont parmi les plus épaisses. Les traces de carbonisation indiquent qu'elles ont pu servir d'éléments de planchers proches des front de taille puis remployés. Leur type proche de la dosse est à rattacher au même mode de débit des billes par tranchages longitudinaux tangentiels. Ce mode de débit est normalement opéré pour débiter des pièces planes et non du bois de feu coupé de préférence en quartiers (débit par fentes radiales). Les autres dosses, beaucoup moins épaisses, se rapprochent plus du type connu aujourd'hui obtenu par débit sur dosse d'une bille (débitage par fentes tangentielles). Elles ont pu servir à la confection de coffrages (panneaux) ou avoir la même utilité qu'une planche bien qu'elles soient moins solides.

n° bois	l (cm)	L (cm)	ép. (cm)	dia. origine	essence
GF 51	115	13	4	20	*Larix-Picea*
GF 54	70	17	3	34	*Larix-Picea*
GF 59	55	20	3	28	*Larix-Picea*
GF 62	111	21	6	70	*Larix-Picea*
GF 93	51,5	20,5	8	24	*Larix-Picea*
GF 96	78,5	12,3	6	18	*Larix-Picea*
GP 24	90	25	5	40	*Larix-Picea*
GP 26	79	25	4	60	*Larix-Picea*

Tabl. n°10 : Liste de dosses découvertes dans le Grand Puits et la Grande Fosse. Évaluation approximative du diamètre d'origine de l'arbre.

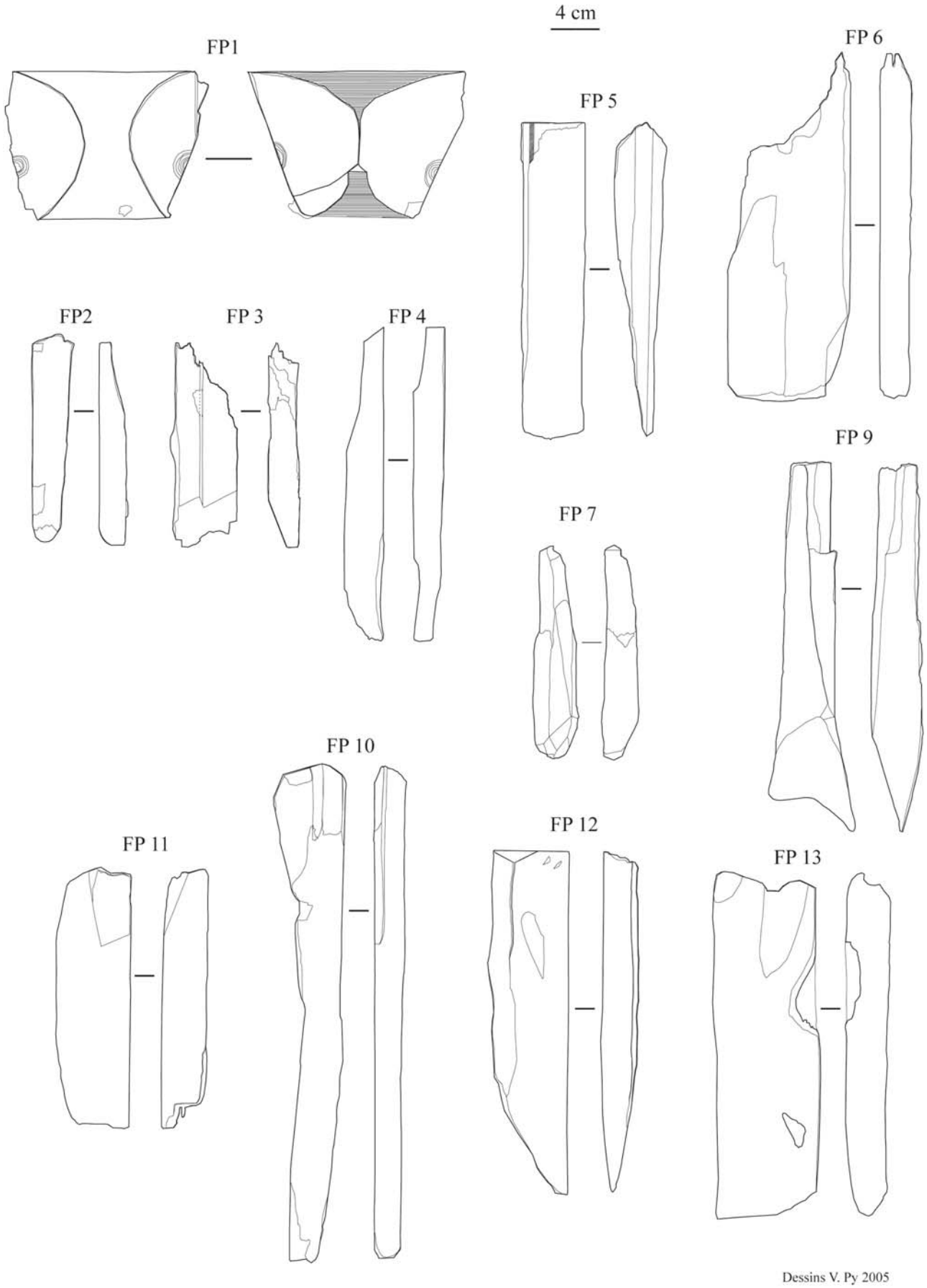
Les planches et les planchettes à section triangulaire sont au nombre de trois pour la Grande Fosse : GF 10, GF 32 et GF 78. Une dosse à section triangulaire a été retrouvée dans

la fosse du puits (FP29). Leur calibre est varié : 8 x 4 cm pour GF 10 ; 10 x 3 cm pour GF 32 ; 9,8 x 2 cm pour GF 78 et 18 x 4,5 pour FP 29. La mesure correspondant à l'épaisseur de la pièce a été prise sur le petit côté du triangle. Elles semblent toutes débitées dans des billes de Mélèze et/ou Épicéa dont le diamètre maximal n'était guère supérieur à 20 cm. Les planchettes de la Grande Fosse ont été obtenues par un débitage sur rayon appelé aussi par fentes radiales lorsqu'il est réalisé aux coins et à la masse. Leurs longueurs sont inférieures au mètre (75, 85 et 96 cm). Elles pouvaient convenir à de multiples usages : pièces de coffrage, de calage de boisage ou de couverture. La dosse FP 29 provient d'un débitage longitudinal tangentiel réalisé au coin et à la hache. Elle est découpée en biais à ses deux extrémités et mesure 41 cm de longueur. Sa fonction est proche de celle des autres planchettes, mais elle a aussi pu servir de cale pour bloquer des assemblages.

Les planches à section rectangulaire totalisent 10,5 % du corpus total de grands bois (Grande Fosse et Grands Puits). Deux planchettes ont été identifiées dans le corpus de petits bois du Grand Puits : FP 6 et FP 13 (*cf.* pl. 68, p. 822). Leurs longueurs et leurs largeurs sont très variables tandis que leurs épaisseurs sont homogènes (*cf.* tabl. n°11, p. 823). Elles sont comprises majoritairement entre 3 et 4 cm. Seules deux planches sont plus épaisses que la mesure « standard », mais leur épaisseur ne dépasse pas 6 cm (*cf.* tabl. n°11, p. 823). Les planchettes sont obtenues par débit longitudinal radial (largeur inférieur à 10 cm) et les planches par débit longitudinal tangentiel. Les planchettes obtenues par débitage radial sont normalement de sections triangulaires. Leurs sections rectangulaires a été obtenue par une rectification de la partie la plus épaisse par un plan de fente légèrement concave. Le calibrage des épaisseurs est probablement le résultat d'un compromis entre la technique de débitage par fentes radiales ou tangentielles et la finalité de la pièce produite. En effet, le débitage d'une planche fine avec la technique de clivage est très délicat et peut provoquer des éclatements. Une planche épaisse est plus facile à débiter, mais elle est plus encombrante pour la mise en œuvre. Il est surprenant de remarquer que ces mesures ont aussi été relevées pour les planches du site de Champréveyres dont les épaisseurs s'inscrivent toutes dans cette fourchette (3 – 6 cm) (Pillonel 2007, p. 150). Les planches[122] présentant une forme et une section irrégulières sont le résultat d'un mauvais contrôle de l'ouverture des fentes. Cet accident peut survenir lorsque le bois est particulièrement noueux ou lorsque les coins ont été mal positionnés dans les fentes de direction.

[122] GF 29, GF 31, GF 35, GF 47, GF 60.

PLANCHE N°68 : MENUS BOIS FOSSE DU GRAND PUITS
(C. 1-2, US 3)



Dessins V. Py 2005

Les plateaux découverts en place dans la Grande Fosse mesurent plus d'un mètre de longueur et présentent une largeur d'environ 30 cm. Ils servent à couvrir les étais transversaux qui constituent l'assise des planchers de protection. La pièce GF 79 provient du fouillis de bois découvert sous le plancher. Elle peut avoir appartenu à l'un des planchers ou plutôt à un cuvelage destiné à faciliter la circulation verticale des matériaux. Ce plateau a été obtenu par débitage d'une bille de fort diamètre par fentes tangentielles. Les deux grandes planches (absence de rives) découvertes à la base de l'enchevêtrement du Grand Puits sont certainement les vestiges d'un cuvelage. Les deux dosses coupées en biais à leurs extrémités pouvaient compléter le garnissage (GP 24 et GP 26). Il n'est pas exclu qu'une seule partie des pièces ait été conservée et que les plus beaux éléments aient été récupérés par les mineurs avant leur départ et le comblement des fosses.

Le nombre de planches exhumées est trop restreint pour y déceler des catégories de longueur significatives (*cf.* tabl. n°11, p. 823 et fig. n°40, p. 824). On peut juste souligner que les pièces entières ne dépassent que très rarement 1,50 m de longueur. Les pièces inférieures à un mètre sont majoritairement des planchettes (largeurs inférieures à 10 cm). La longueur maximale de 2,05 m est atteinte par la planche GP 26.

n° bois	l en cm	L en cm	ép. en cm	essence	clivage
GF 2	90	15	4	Non déterminé	tangentiel
GF 9	70	7	3	*Larix-Picea*	radial
GF 10	75	8	4	*Larix-Picea*	radial
GF 20	150	20	3	*Larix-Picea*	tangentiel
GF 24	125	15	6	Non déterminé	tangentiel
GF 29	130	40	4	*Larix-Picea*	tangentiel
GF 31	120	15	4	*Larix-Picea*	tangentiel
GF 35	120	27	5	Non déterminé	tangentiel
GF 47	105	22	3	*Larix-Picea*	tangentiel
GF 60	90	14	4	Non déterminé	tangentiel
GP 25	205	28	4	*Larix-Picea*	tangentiel
GP 27	152	34	4	*Larix-Picea*	tangentiel
GP 4	90	8	3	Non déterminé	radial
GP 12	126	14	3	Non déterminé	tangentiel

Tabl. n°11 : Liste des planches et des planchettes découvertes dans le Grand Puits et la Grande Fosse.

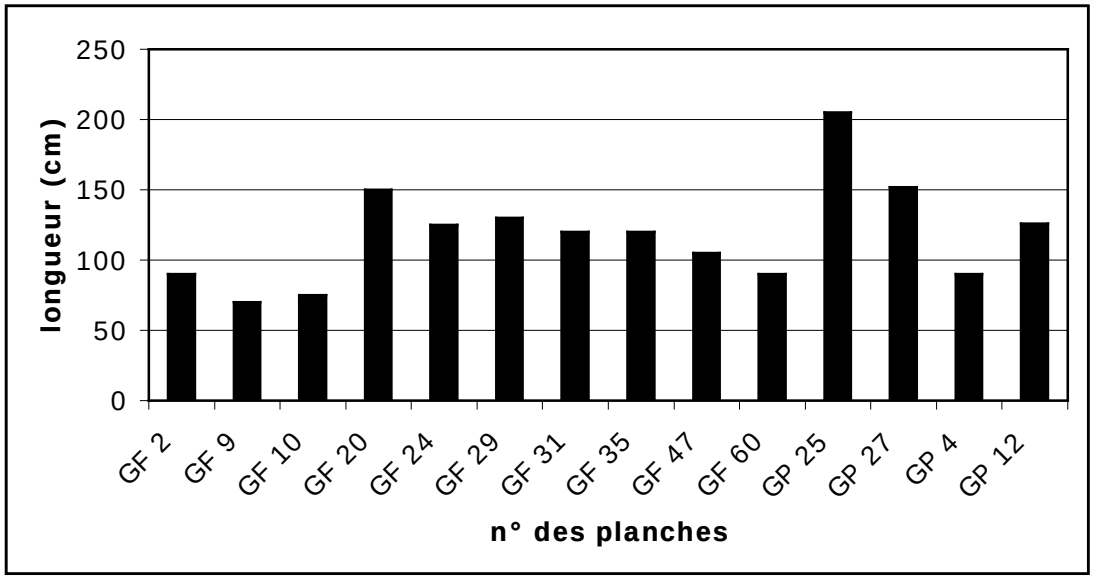


Fig. n°40 : Longueurs des planches. Les mesures de longueurs des pièces GF 2, GF 24, GF 29, GF 35, GF 47, GP 4 sont relatives car leur conservation est partielle.

Quartiers

Les quartiers proviennent d'un débitage primaire des billes par fentes radiales. Le terme désigne précisément une des quatre portions d'un rondin débité par deux fentes radiales perpendiculaires. Par extension, ce terme désigne des portions de rondins débités par fentes radiales avec une section triangulaire. Certaines portions présentent une section quadrangulaire (trapézoïdale) liée à un débitage secondaire tangentiel du cœur de la bille.

Toutes les pièces désignées comme « quartier » présentent une longueur inférieure à un mètre à l'exception de la pièce GF 81 (tabl. n°12, p. 825). Leur majorité montre les caractéristiques du bois de feu. Elle pouvait être réservée pour les feux d'abattage. Une série de pièces présentant des zones carbonisées confirment cette hypothèse (GF 12, GF 13, GF 69, GF 90, GF 93, GF 99, GF 97). Leurs largeurs, correspondant *grosso modo* au rayon minimal de la bille ou du rondin débité par fentes radiales, indiquent l'utilisation de bois de forts diamètres. D'après les mesures prises sur les pièces, ils étaient compris entre 18 et 40 cm au minimum, puisqu'il manque en général une partie du bois de cœur ou la moelle. Pour les autres pièces rattachées à ce groupe, leur fonction demeure difficile à saisir : pièces de muret pour retenir les remblais ?

n° bois	l en cm	L en cm	ép. en cm
GF 12	50	12	10
GF 13b	78	20	15
GF 13	40	10	8
GF 68	79	20	24
GF 69	55,3	19,5	16
GF 80	79,5	6	6
GF 81	129	20	18
GF 90	48	20	15
GF 97	48	16	5,2
GF 102	83	15,5	6
GF 104	99,5	20	4

Tabl. n°12 : Liste des « quartiers » provenant de la Grande Fosse. La longueur correspond à la longueur de la pièce. La largeur correspond à la mesure de la distance entre les deux angles aigus du triangle ou du trapèze. L'épaisseur correspond à la mesure de l'axe perpendiculaire à la largeur rejoignant l'angle le plus ouvert ou le centre du petit côté parallèle du trapèze.

Bois à sections quadrangulaires

Seulement six grands bois sont à rattacher au groupe des sections quadrangulaires (*cf.* tabl. n°13, p. 825). Les sections sont variées. Les pièces ne sont pas calibrées. Elles proviennent du débitage de billes par fentes longitudinales tangentielles avec un axe de débitage primaire en demi, plutôt qu'en quartier. Les pièces GF 33 et GF 74 montrent un débitage secondaire dans le plan radial. Ces bois ont pu recouvrir de multiples fonctions proches de celles de lattes, chevrons, poutres (solives) ou poutrelles : pièces de lattage d'un plancher ou d'un toit, d'armature de plancher ou de charpente, étais.

n° bois	l en cm	L en cm	ép. en cm	type
GF 15	95	6	2	latte
GF 33	155	15	11	poutre
GF 43	145	8	6	chevron
GF 52	160	5	5	poutrelle
GF 74	131	20	6	poutre
GF 101	132	12,8	5	poutre/chevron

Tabl. n°13 : Liste des bois à section quadrangulaire provenant de la Grande Fosse.

III.2.4. Bois d'appui, supports et assemblages

Les bois à encoches

Une série de bois[123] présente des encoches peu profondes dont la forme est très proche de celles des marches de *Kletterbaüme*, mais avec des dimensions beaucoup plus réduites et un angle frontal ouvert n'offrant pas une prise suffisante pour le pied. La fonction de ces encoches plus ou moins profondes n'est pas évidente pour une de ces pièces (GF 16). Mais, pour toutes les autres, elle est liée à la forme d'embrèvement (type d'assemblage) la plus simple qu'utilisent les bûcherons pour empiler des longueurs de bois : des pieux enfoncés dans le sol, munis d'un « embrèvement »[124] – encoche réalisée avec deux coups de hache ou de hachette dans laquelle s'engage un étai biseauté enfoncé dans le sol à son autre extrémité – retiennent les piles de bois.

Les plus anciens embrèvements sont attribués traditionnellement aux Romains (Gerner 1995, p. 141), lorsqu'ils mirent en œuvre les fermes et les systèmes triangulés, mais il est fortement probable que cet assemblage, dans sa forme la plus simple, ait été utilisé bien avant cette époque pour la construction de bâtiments. La confection de l'entaille dans la pièce d'appui et la coupe en biais de la pièce venant s'y loger obliquement ne nécessitaient pas l'utilisation d'outils en fer perfectionnés. Cet assemblage remonte au moins à l'âge du Bronze, et très probablement jusqu'au Néolithique avec la hache de pierre ; époque où sont attestés les premiers assemblages comme les *enfourchements et les tenons (Gerner 1995, p. 19). Mais, la documentation archéologique manque à ce sujet et surtout en contexte minier. D'après M. Gerner, l'embrèvement devint au début du Moyen Âge, un des moyens de construction le plus courant pour les ponts (suspensoirs et jambettes), les fermes en arbalètes et en contrefiches. Il a été employé intensivement jusqu'au développement des techniques de constructions modernes des ingénieurs. Aujourd'hui la forme la plus simple de cette technique d'assemblage (embrèvement simple, embrèvement en about) est toujours utilisée

[123] GF 16, GF 26, GF 53, GF 56 et GP planche 2.

[124] Le nom embrèvement est donné indifféremment au type d'assemblage et à l'entaille pratiquée dans une pièce de bois qui reçoit une autre pièce taillée en biseau avec ou sans about.

pour le bûcheronnage, pour la construction en Asie et même dans l'architecture paysanne traditionnelle de certaines régions européennes.

La pièce GF 16, classée dans la catégorie « *Kletterbaüme* », affecte une série de trois encoches taillées à la hache. La troisième encoche située à 1,50 m de la base du tronc est, de façon certaine, un embrèvement simple. La base horizontale de la grande entaille mesure 10 cm de longueur et sa hauteur est de 11 cm. Dans les constructions non soumises à un calcul, comme cela est le cas à Fangeas, la profondeur de l'about (longueur de la grande entaille dans le fil du bois) est normalement égale à un cinquième ou à un sixième de la hauteur de la pièce de bois dans laquelle l'embrèvement s'engage (Gerner 1995, p. 142). Si on applique cette règle, on peut supposer que la pièce de bois qui venait s'engager dans cet embrèvement (encoche 3) mesurait entre 55 et 66 cm de hauteur. La surface d'about détermine l'intensité des efforts de compression pouvant être transmis. Si une compression s'exerce en permanence contre la surface d'about comme c'est presque toujours le cas en contexte minier où les pièces de bois sont assemblées ou calées en force, l'embrèvement en about ou simple procure une bonne stabilité et ne nécessite pas comme en charpente traditionnelle des renforts de l'assemblage avec des *goujons ou des *clameaux. Le sens et l'angle de l'entaille indiquent que le tronc était fiché dans le sol du côté B tandis qu'un étai taillé en biseau ou en about, aussi enfoncé dans le sol au niveau de son autre extrémité, venait se loger dans l'embrèvement. Deux autres étais de renfort, beaucoup plus longs, peuvent avoir été logés dans les encoches 2 et 3. La forme de l'encoche 2, qui est double en réalité, suggère qu'une première entaille a été réalisée grossièrement dans l'axe de l'encoche 3 et une seconde, au même niveau, dans l'axe de l'encoche 1. Ce dispositif d'assemblage par embrèvement, répété deux ou trois fois à intervalles plus ou moins réguliers, pouvait retenir une série de pièces de bois rangées horizontalement servant à comprimer des remblais, par exemple. La pièce GF 16 pouvait aussi servir de chevron en surplomb (corbeau), soulagé de sa charge par un, deux à trois embrèvements simples (jambes).

La pièce GF 26 compte aussi une série de trois embrèvements simples. Il s'agit d'un tronc grossièrement ébranché mesurant 1,60 m de longueur, fendu en deux à l'aide de coins et d'une masse. Les embrèvements ont été taillés avec une hache à lame étroite (hachette) sur la face non refendue du tronc. L'encoche 1 a été réalisée à 45 cm de l'extrémité A, l'encoche 2, à 23 cm de l'encoche 1, et l'encoche 3, à 42 cm de l'encoche 2. La profondeur de l'about est de 5 à 7 cm. La pièce venant se loger dans l'encoche 3 pouvait mesurer au moins 40 cm de longueur. Or, les extrémités de la pièce sont mal conservées et affectent des arrachements. Il

est donc difficile de donner une hauteur fiable des pièces qui venaient se loger dans les entailles. De plus, il est impossible de déterminer si GF 26 était encastrée et calée contre une paroi ou enfoncée à l'une de ses extrémités (logiquement l'extrémité B) dans le sol. Par contre, il est probable que la multiplication des embrèvements sur une même longueur permettait d'utiliser comme étai (ou jambe de force) des pièces plus longues.

La fonction de la pièce GF 26 est certainement très proche de celle de la pièce GF 16. Sa face plane pouvait faciliter son utilisation comme semelle, encastrée dans le sol et sur laquelle venait se loger une série de trois étais destinés à retenir une charge ou une paroi. Elle pouvait aussi servir de *corbeau avec série d'embrèvements en sous-face où venaient se loger trois *jambages pour réaliser un *platelage tenu dans le vide formant un espace de travail dans des zones inaccessibles (encorbellement).

La pièce GF 56 est un tronc de 2,10 m de longueur mesurant 12 cm de diamètre au niveau de l'échantillon dendrochronologique, c'est-à-dire à une vingtaine de centimètres de sa base (A). Un embrèvement a été réalisé à 1,56 m de l'extrémité A. La profondeur de l'about est de 8 cm. La fonction de cette pièce est difficilement déterminable. Elle a pu servir d'étai calé entre deux parois de roche, renforcé par un jambage. Son utilisation comme poteau vertical n'est pas exclu.

La pièce GF 53 est un rondin grossièrement ébranché mesurant 1,55 m de longueur et 10 cm de diamètre (*cf.* pl. 64, p. 798). Ses dimensions et ses extrémités émoussées rappellent les caractéristiques des étais calés en force entre deux parois rocheuses. À 53 cm de l'extrémité A, on peut remarquer un léger creusement réalisé à coups d'outil tranchant (hache) de façon à opérer des « coupures » ou entailles, longues de 5 cm environ et perpendiculaires à l'axe du tronc. Ce creusement n'est pas typique des embrèvements simples décrits jusqu'à présent avec le décollement de deux lamelles de bois formant de profil un creux en L très caractéristique. Il a pu cependant être pratiqué lors du montage de la pièce en encorbellement pour y encastrer une jambe de soutien. Cette entaille légère a pu aussi servir à consolider un assemblage entre deux pièces réalisé avec des liens ou tout simplement assurer la solidité d'un lien enroulé au tour de la pièce.

La dernière pièce du corpus présentant un embrèvement est la grande planche n°2 du Grand Puits (ou GP 27) (*cf.* pl. 60, p. 794). L'entaille a été pratiquée à 14 cm de l'extrémité B découpée. Son emplacement sur ce type de pièce particulier par rapport aux précédentes (troncs) peut suggérer deux utilisations. La planche a pu servir de semelle encastrée au sol et

maintenue en place par un étai (pièce se rapportant à l'oblique) venant s'engager dans l'encoche et reposant au niveau de son autre extrémité dans un second embrèvement taillé dans une pièce de bois ou encore dans une réservation. Cette pièce a pu avoir eu une fonction de planche de cuvelage maintenue à la vertical ou légèrement à l'oblique contre la paroi rocheuse par un embrèvement. Il est par contre peu probable que cette planche très lourde et volumineuse ait servi à la construction d'un platelage en tant que bois d'appui portant l'entaille. La direction de l'about, sa profondeur (3 cm) et sa surface – trop restreintes pour recevoir une pièce longue et de fort diamètre – sont en contradiction avec une telle hypothèse.

Bois à fourche

Sur la totalité du corpus de grands bois exhumés à de Fangeas, seule une pièce peut se rapporter de façon certaine à la technique d'assemblage de la fourche en bout de montant. Il s'agit de la forme primitive de l'enfourchement, l'assemblage le plus ancien connu à ce jour. Il est utilisé en même temps que les tenons et avant les enfourchements à proprement parler (Gerner 1995, p. 23). Il a été rencontré à plusieurs reprises lors de fouilles dans les sites lacustres d'Europe centrale datés du Néolithique (à partir de 3500 av. J.-C) où les fourches en bout de montant soutiennent des pannes ou des caillebotis (Gerner 1995, p. 23). La forme primitive de l'enfourchement a persisté dans l'habitat paysan et artisanal jusqu'à l'époque moderne. On la trouve par exemple représentée dans le traité de V. Biringuccio, *De la Pirotecnia*[125] (1540), où elle sert à l'assemblage des poteaux et des sablières de l'atelier du forgeron. Cependant, dans ce cas précis, le graveur a pu utiliser la fourche pour souligner l'aspect rustique de la construction figurée. L'utilisation de ramifications naturelles pour les méthodes d'assemblages en architecture traditionnelle en bois (habitat, grange, atelier) était toujours en vigueur à la fin du XIXe siècle.

Le bois GP 21 est un tronc de 2,72 m de longueur présentant un diamètre maximal de 18 cm (*cf.* pl. 59, p. 793). Il est taillé en pointe à sa base (A) et se termine à l'autre extrémité (B) par deux branches presque verticales qui forment une « fourche ». Son fut est ébranché à ras, mais seule une branche située à 2 m de la base, a été taillée à 12 cm de sa naissance. Les

[125] Voir par exemple l'éd. française de 1572 du traité disponible sur Gallica : V. BIRINGUCCIO (V.), *La pyrotechnie ou art du feu.…*, (reprod. de l'éd. de Paris 1556), p. 4.

deux dents sommitales ont été coupées à la hache à 33 cm de leur naissance donnant une indication sur l'épaisseur de la pièce de bois venant s'y loger. L'espace entre les deux ramifications naturelles servant de fourche a été proprement rectifié à la hachette pour offrir une adaptation correcte pouvant accueillir une panne quadrangulaire – pouvant être un tronc simplement équarri sur deux faces – d'une section de 10 x 20 cm environ. Le poids de la pièce soutenue apparemment massive suffisait à assurer la solidité de l'assemblage auquel il n'était pas nécessaire d'appliquer une ligature. GP 21 était donc un montant vertical ou un poteau servant à fixer une panne sablière ou une faîtière sur laquelle pouvaient venir se fixer les chevrons. Évidemment, dans ce cas, il faut imaginer l'existence d'une série d'autres poteaux (au moins 3 à 6). GP 21 a pu tout simplement servir à accueillir une couverture plate de type plancher composés de bois alignés horizontalement sur la panne. Ces hypothèses suggèrent que GP 21 ait appartenu à une cabane en bois (abri de plein pied couvert) ou à un plancher surélevé couvrant la bouche du puits. Une ébauche de reconstitution de cet abri pourra être réalisée lorsque la fouille du puits sera terminée et que nous aurons à disposition un corpus de bois plus complet.

Les autres pièces présentant des ramifications naturelles conservées ayant pu servir à des assemblages ou à toutes autres fonctions sont rares ; on peut citer avec beaucoup de réserve les bois GP 17, GF 25, GF 65 (*cf.* pl. 58, p. 792 ; pl. 62, p. 796 ; pl. 64, p. 798). Parallèlement à la question des assemblages, on remarque que les pièces de bois du corpus sont majoritairement « brutes ». Elles ont été choisies en fonction de leur forme et de leur morphologie naturelles pour faciliter le travail de préparation. Par exemple, la forme naturellement courbe de la pièce GF 84 – dosse débitée dans un tronc courbé comme on en voit souvent sur les pentes montagneuses enneigées de novembre à juin – a pu être mise à profit pour une fonction particulière qui nous échappe.

Bois avec orifices d'insertion et/ou mortaises

Sur la totalité des grands bois découverts dans le Grand Puits et la Grande Fosse, seulement deux pièces présentent des orifices d'insertion pouvant être des mortaises aveugles, recevant des tenons non traversants. Or, aucune pièce tenonnée n'a été retrouvée à ce jour. Les trous de « mortaises » repérés peuvent être de simples orifices d'insertion – ancêtres de l'assemblage à tenon – servant à loger des pièces retaillées à leurs dimensions. Comme pour

la fourche et l'embrèvement, cette technique d'assemblage remonte au plus tard au Néolithique, période où sont attestés archéologiquement les assemblages à tenons (Gerner 1995, p. 25). La fouille du Grand Puits a livré sur ses premiers mètres de profondeur trois billes d'un diamètre très proche (environ 30 cm), à peine équarries, appelées par abus de langage « poutres », effondrées dans un enchevêtrement de bois (*cf.* pl. 59, p. 793). L'une d'entre elles, la « poutre 3 », longue de 2,50 m présente un « orifice d'insertion » quadrangulaire situé à 70 cm de l'extrémité B et à 1,67 m de l'extrémité A. L'orifice mesure 5 x 10 cm. Il est probable que ses dimensions originelles aient été plus importantes, compte tenu que la poutre affecte de nombreux arrachements sur toute sa longueur ayant atteint le fond de la mortaise. L'évidement a été réalisé avec un outil tranchant directement dans la grume qui avait peut-être été équarrie sur cette face au préalable de façon à obtenir une surface propre pour exécuter la mortaise. Son état de conservation ne permet pas de le déterminer de façon certaine. Si cet évidement quadrangulaire correspond à une mortaise, le tenon venant s'y encastrer, qu'il soit quadrangulaire ou cylindrique, devait présenter à peu près les mêmes dimensions. Dans ce cas, la pièce encastrée dans le poteau, manifestement de façon horizontale, serait de fort calibre (section de 30 x 30 cm environ). On peut aussi supposer que cet évidement était un simple orifice d'insertion servant à encastrer de façon horizontale une pièce de bois équarrie de 5 x 10 cm (dimensions minimales). L'état de conservation de la pièce ne permet pas de tirer des conclusions plus précises. L'évidement a pu être réalisé à l'aide de la bisaiguë, outil alliant la fonction de ciseau (tranchant parallèle au corps de l'outil) et de bédane (tranchant perpendiculaire) (*cf.* fig. n°41, p. 831). L'ouvrier devait faire preuve d'une bonne dextérité et d'un certain savoir-faire pour faire tourner l'outil dans ses mains en fonction de l'action désirée. Le même évidement peut s'obtenir avec une hachette ou une

Fig. n°41 : Représentation de l'évidage d'une mortaise avec un piochon et une tarière. Les trous sont préparés avec la tarière.Image tirée de Zimmerleute an der Arbeit. Aus ***Jost Amman****'s Stände und Handwerker (1568). Cf.Wikipédia : Jost Amman Zimmermann.*

hache à tranchant étroit – outil tenant une place prépondérante dans la charpenterie médiévale – utilisée comme outil à percussion posée. Le manque de précision induit par l'utilisation de ces outils – sans rectification de la mortaise au ciseau – pouvait être compensé par l'installation de coins et de cales.

Concernant la poutre 3, il est difficile d'établir un lien entre l'assemblage et une forme d'étaiement du puits où, dans ce cas, le jeu de la mortaise serait compensé par le calage des pièces en force. Cette poutre assemblée à une autre pièce horizontale servait plus probablement à équiper le sommet du puits (pour le système de treuillage ?), mais sa fonction exacte nous échappe complètement pour l'instant. Cet exemple montre à quel point il est difficile de restituer la fonction d'éléments de boisage ou de charpente même lorsqu'ils ne sont pas isolés de leur contexte d'utilisation.

La pièce GF 18 est la seconde à offrir des orifices d'insertion pouvant correspondre à des mortaises (*cf.* pl. 69, p. 834). Il s'agit d'une dosse de 7 cm d'épaisseur légèrement incurvée (surcreusement), débitée avec des coins, une masse et/ou un marlin, dans un tronc d'au moins 30 cm de diamètre. Les évidements ont été réalisés à 20 cm de l'extrémité B. Le sens de creusement indiqué par les traces d'outil, probablement un ébauchoir ou le tranchant droit d'une herminette, suggère que l'orifice 1 a été évidé dans un premier temps. L'évidement a été poursuivi en 2 en conservant entre les deux orifices une liaison verticale. Le trou 2, ébauché depuis le trou 1, a été terminé depuis la gauche. Lorsqu'on oriente la pièce de profil, on note que les mortaises présentent un fond triangulaire. La question est de déterminer leur fonction. Cet orifice double, peu commun, connaît une correspondance typologique avec des entailles relevées sur des bois découverts dans les mines de sel protohistoriques de Hallstatt (Haute-Autriche) présentés dans le cadre de l'exposition itinérante « L'or blanc de Hallstatt » (exposition temporaire à Bibracte mai-novembre 2004)[126]. D'après les archéologues, qui ont travaillé sur les bois, ces entailles doubles – dont le fond est jointif et l'orifice séparé par un montant conservé – réalisées dans des troncs auraient servi à fixer des liens pour déplacer la pièce de bois par traînage. Cette hypothèse est basée sur les traces de traînage conservées aux dos des troncs. Or, pour notre part, cette hypothèse *a priori* convaincante est peut-être à réviser. Les traces de traînage observées au dos des bois ne sont pas obligatoirement liées aux entailles. Les bois étaient sûrement

[126] Voir le livret de l'exposition publié par Bibracte : « L'or blanc de Hallstatt », réalisé par I. Ott, D. Beucher, M. Giudicelli pour Bibracte avec la collaboration du *Naturhisches Museum* de Vienne et le musée de Hallstatt en 2004.

débardés par traînage, mais la réalisation de tels orifices paraît superflue pour cette opération, et la résistance du montant vertical, commun aux deux orifices communicants, paraît trop faible. Des liens attachés à la souche de l'arbre légèrement entaillée sont sûrement plus efficaces[127]. À Fangeas, seule la pièce GF 18 présente de tels évidements et son dos ne montre pas de traces de traînage. Le lien ici ne peut pas être établi. D'ailleurs aucune autre pièce présentant un fort calibre – particulièrement les poutres du Grand Puits – ne présentent de tels évidements.

Les orifices observés sur la pièce GF 18 sont plus probablement des orifices d'insertion, voire des mortaises, ayant servi à l'assemblage de deux pièces horizontales orientées obliquement (avec ou sans tenon). GF 18 pouvait être encastré dans le sol en A, orienté face à une paroi. Les pièces logées dans les orifices 1 et 2, calées avec des coins ou des cales, pouvaient s'encastrer au niveau de leur autre extrémité contre la paroi et former ainsi un espace, couvert par des planches et/ou des branches, pour travailler contre un front de taille. GF 18 fut donc très probablement un poteau supportant un plancher avant d'être remployé comme goulotte.

[127] C'est toujours la souche, plus lourde, qui est tractée. De cette manière, la grume suit plus facilement le mouvement (communication D. Pillonel).

PLANCHE N°69 : PIÈCE GF 18 - DÉTAIL DES ORIFICES D'INSERTION

1. Vue de Face (cl. V. Py 2008)

2. Détail des traces d'enlèvement depuis l'orifice 2 (cl. V. Py 2008)

Bois avec trous de chevilles

La « poutre 1 » qui mesure 1,60 m de longueur et 24 à 27 cm de diamètre montre trois trous de chevilles (*cf.* pl. 59, p. 793). La face non travaillée avait conservé de gros fragments d'écorce rouge violacé, caractéristiques du bois de Mélèze, qui se sont détachés pendant la fouille. Les deux extrémités de la pièce ne présentent pas d'arrachements. Elles ont été probablement retaillées avec un outil tranchant (hache ou hachette). La face travaillée a été aplanie sur quelques centimètres d'épaisseurs (2 à 3 cm) avec un outil de type ébauchoir sur une longueur maximale de 88 cm et une largeur de 25 cm. Cette zone aplanie se trouve à 15 cm d'une extrémité (A) et 55 cm de l'autre (B). Elle est percée de trois trous de chevilles de 1,5 cm de diamètre réalisés à la tarière. Deux trous (a et b) sont percés sur une ligne oblique à 20 cm de distance de l'extrémité A et le troisième trou (c) est percé du côté de l'extrémité B sur le bord gauche de la surface aplanie. Ils indiquent clairement l'emplacement de chevilles servant à fixer sur la poutre des pièces de bois recouvrant très certainement la surface aplanie. Ces traces de travail suggèrent l'emplacement de planches, de plateaux ou encore de dosses – probablement au nombre de deux – fixées perpendiculairement à l'axe du poteau. Pour l'instant, la poutre 1 est la seule à avoir livré des trous de chevilles.

La fonction de ces trois poutres de fort diamètre en comparaison avec le reste des bois découverts dans la Fosse et le Puits demeure problématique. Elles ont certainement servi de pièces maîtresses pour l'aménagement de la bouche du puits dont nous ne possédons pas aujourd'hui d'éléments de comparaison. Les traces d'assemblages – mortaise et trous de chevilles – militent pour l'existence de montants transversaux ou de pièces de cuvelage. Ces poutres que l'on devrait appeler plus justement « poteaux » ont également pu servir à soutenir le plancher de protection identifié lors de la fouille. Seule la poursuite du chantier permettra de préciser leur fonction et l'aménagement sommital du puits.

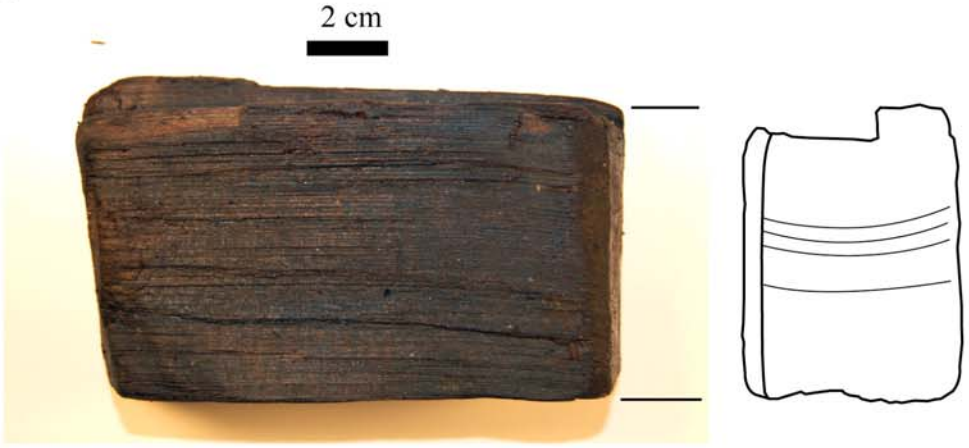
III.2.5. Éléments « architecturaux »

Pièce à rainure

Les remblais noirs ont fourni un fragment de poutrelle rainurée (pièce RN38) (*cf.* pl. 70, p. 837). Elle mesure 12,5 cm de longueur et présente une section régulière de 6 x 7 cm. Cette pièce, malgré sa petite taille, est exceptionnelle puisqu'elle fait partie des rares bois attestant un vrai travail de charpenterie sur le carreau de la mine. Elle a été tronçonnée au bout d'une pièce plus longue dont il avait fallu rectifier la longueur. Il s'agit donc d'une chute de découpe d'une poutre rainurée parfaitement calibrée contrairement à toute les autres pièces de bois débitées de long que nous avons pu rencontrer jusqu'à présent. Il faut noter l'absence de macrotraces au niveau de l'about coupé à 90°. La netteté de la coupe a dans un premier temps suggéré l'utilisation d'une scie, or les faces perpendiculaires exécutées à la hache ou avec un autre outil sont toujours dépourvues de macrotraces. Cette hypothèse ne peut donc être validée. La rainure de 3 x 1 cm a été dégagée au ciseau à bois ou à la bisaiguë côté cœur. La poutre provient du débitage d'une bille de Mélèze de fort diamètre. Elle indique l'emplacement d'une zone d'assemblage de bois agencés verticalement ou horizontalement suivant l'emplacement dans la structure de la poutre d'où provient cette chute qui a pu servir de montant, pour la confection de paroi en planches, ou de sablière, pièce reliant deux poteaux et servant d'appui à une toiture. L'absence d'autre pièce de ce type ne permet pas d'en dire plus à ce sujet.

PLANCHE N°70 : PIÈCE À RAINURE ET COUPELLE

Pièce RN 38



V. Py 2009

Coupelle

Cl. B. Ancel 2009

Pièce à entaille

La pièce GF 9, qui est une planchette longue de 70 cm avec une section de 7 x 3 cm, présente une entaille simple en retrait de son extrémité la plus large (*cf.* pl. 61, p. 795). Son fond plan, ses abouts droits et sa faible profondeur qui atteint le mi-bois, demandent un travail plus fin qu'une simple encoche taillée en quelques coups de hache. La découpe de l'entaille a nécessité l'usage d'un ciseau ou d'une bisaiguë pour préserver la résistance de la pièce de faible section. Ce type de découpe se rencontre sur des pièces d'assemblages en croix dits à chevauchement et à encastrement (Pillonel 2007, p. 156). L'absence d'autres pièces de ce type ne permet pas de replacer GF 9 dans une construction théorique. Mais, elle témoigne comme la pièce à rainure d'un travail de façonnage relativement fin dont les vestiges sont rares soit parce que les pièces ont été récupérées après abandon, soit parce que le recours à de tels assemblages était ponctuel. Au demeurant, la première hypothèse nous paraît la plus probable.

Chevilles charpentières ?

Le système d'assemblage de deux pièces de bois entre elles par des chevilles est attesté par la poutre 1 du Grands Puits. Les trous percés à la tarière mesurent 1,5 cm de diamètre. Or, des chevilles taillées de tel diamètre n'ont pas été retrouvées. De simples branches présentant le bon diamètre, peuvent remplir cette fonction. Or, les branches retrouvées dans les remblais mesurant 1,5 cm de diamètre sont généralement brisées aux extrémités. Il n'est pas possible d'établir avec certitude leur utilisation ou leur réserve dans l'idée d'en faire usage comme cheville d'assemblage.

L'objet RN3 est une branche de Bouleau (*Betula* sp.) de 3,5 cm de diamètre maximal appointée à une de ses extrémités (*cf.* pl. 71, p. 840). Il mesure 21 cm de longueur et semble presque entier. La branche a conservé de l'écorce au niveau de la partie non taillée (extrémité B). La coupe transversale est irrégulière. Elle paraît réalisée à la serpe ou à la hachette. L'extrémité A appointée a été taillée à l'aide d'un outil de type ébauchoir. La portion apicale est brisée. La pointe n'est pas complètement conservée. Cet objet a dans un premier temps été interprété comme étant une grosse cheville non traversante qui n'aurait pas servi car les arêtes

des tailles ne sont pas écrasées. Puis, il a plutôt été interprété comme piquet d'amarrage ou montant de panneau clayonné. Cet objet s'apparente à l'objet RN4 (*cf.* pl. 71, p. 840). Il s'agit d'un fragment de branche de Mélèze et/ou Épicéa de 3,3 cm de diamètre maximal. L'extrémité A est appointée avec une sorte d'ébauchoir. Elle mesure 1,8 à 2,3 cm de diamètre. Sa longueur est de 15,7 cm. Son extrémité B est abîmée et paraît brisée. Comme pour l'objet précédent, les arêtes des tailles en pointe ne sont pas émoussées suggérant qu'il n'a jamais été utilisé comme cheville ou montant de panneau clayonné.

La pièce RN10 est assez curieuse (*cf.* pl. 71, p. 840). Il s'agit d'un fragment de branche de Frêne mesurant 9 cm de longueur et 2,2 cm de diamètre, cassée aux niveaux de ses extrémités. Le cœur de la branche est foré. Le trou ne mesure pas plus de 0,2 cm de diamètre. La fonction de cet objet est indéterminée. Les petites cavités observables à l'une de ses extrémités au niveau de la perforation peuvent faire penser aux résultats d'une attaque parasitaire ciblant le cœur tendre de la branche. Dans ce cas, cette branche de feuillu pourrait avoir une vocation de cheville charpentière.

La pièce RN 30 pourrait aussi avoir eu une vocation de cheville charpentière (*cf.* pl. 71, p. 840). Il s'agit d'une branche de 2,2 cm de diamètre. Elle est appointée à une de ses extrémités et taillée en biseau simple à l'autre. Ce diamètre correspond, comme celui de la pièce RN 30, au diamètre de la mèche qui a servi à percer les mortaises du montant d'échelle. La zone appointée avec un petit outil tranchant (couteau ?) pouvait servir à faciliter la pénétration de la cheville dans le bois. La plupart des branches pouvant être destinées à un tel usage sont en bois de bouleau (ou d'autres feuillus comme les Rosacées). Contrairement aux résineux, ces essences offrent des branches à la surface lisse et régulière, avec des ramifications plus espacées, bien plus adaptées à la confection de cheville sans la nécessité d'un gros travail de taille. De plus, le bouleau, largement privilégié, est un bois tendre qui a la particularité de supporter de gros efforts de compression sans éclater ou se fendre. Cette souplesse autorise l'utilisation de chevilles au diamètre légèrement supérieur à celui des trous de tarière. Il faudra approfondir cette question dans l'avenir avec une étude plus systématique des branches et de leur calibrage.

PLANCHE N°71 : CHEVILLES CHARPENTIÈRES (?) ET/OU PETITS PIEUX

Chevilles charpentières
ou petits pieux (?)
(cl. V. Py 2008)

Fragment de branche forée ? (cl. V. Py 2008)

Détail en coupe transversale

Branche avec coupe en biseau
et appointée
cheville charpentière ?
(cl. V. Py 2008)

Coins, cales et clés de blocage

L’objet RN8 est une petite pièce de bois de Mélèze de 9 cm de longueur, 3,2 cm de largeur et de 1 à 1,5 cm d’épaisseur (*cf.* pl. 72, p. 842). Elle est brisée au niveau de ses deux extrémités. Elle provient d’un débitage longitudinal tangentiel réalisé à la hache ou à la hachette. Une de ses faces larges est parfaitement lisse tandis que l’autre présente des traces de taille longitudinales légèrement obliques réalisées avec un outil de type ébauchoir ou ciseau à bois permettant d’obtenir une sorte de petit coin ou de cale. L’objet RN9 paraît avoir été destiné à la même fonction (*cf.* pl. 72, p. 842). La lamelle de bois de Mélèze semble brisée au niveau de son extrémité la plus étroite. Elle a été débitée à la hachette dans l’axe radial. Elle mesure 9,5 cm de longueur, 2 à 3,3 cm de largeur et 0,2 à 0,8 cm d’épaisseur. Ces deux coins ne présentent pas d’écrasement latéral des fibres et au niveau des arêtes de taille, suggérant qu’ils n’aient pas été utilisés, mais réservés pour cette fonction. Ils pouvaient servir à ajuster un assemblage entre deux pièces de bois ou au calage d’une pièce contre une paroi ou le sol rocheux. Cette technique de calage est illustrée par l’archéologie. Dans la mine gallo-romaine des Anglais, proche du village de Massiac (Cantal), la tenue d’assemblages de pièces de bois, était obtenue, non pas par chevillage, mais par calage à l’aide de cales en bois logée entre les parois et les pièces de bois (Maggiori 2001, p. 44). La typologie de ces cales n’est malheureusement pas publiée. Les pièces RN8 et RN9, de petite taille et proprement effilées à une de leurs extrémités, ont plus probablement servi à bloquer un tenon, traversant ou non, dans une mortaise. La pièce FP5 montre quant à elle toutes les caractéristiques d’une cale pour le calage des boisages en force (*cf.* pl. 68, p. 822).

PLANCHE N°72 : CLÉS DE BLOCAGE ET DEMI FOND DE CUVEAU RN 7

Clés de blocage RN 8 et RN 9 (cl. V. Py 2008)

Fond de cuveau RN 7 recto (cl. V. Py 2008)

Fond de cuveau RN 7 verso (cl. V. Py 2008)

L’assemblage par tenon traversant et mortaise n’est pas attesté parmi le corpus de grands bois. Nous avons jusqu’à ce jour retrouvé une seule pièce ajourée de mortaises à proprement parler : un montant d’échelle. Ce type d’assemblage pourrait aussi avoir été effectif à Fangeas pour la construction des structures qui chapeautaient la fosse du Grands Puits. En effet, un tenon traversant peut être immobilisé dans une mortaise par une clé de blocage en bois enfoncée perpendiculairement dans une perforation opérée dans le tenon. Dans ce cas, la partie postérieure du tenon doit être assez longue pour supporter les efforts de traction (Pillonel 2007, p. 141, fi. 187). Quelques pièces retrouvées dans les remblais au niveau des gros poteaux (FP2, FP3, FP 9, FP 10 et FP 12) s’apparentent à des clés de blocage typologiquement très proches de celles découvertes sur le site de l’âge du Bronze de Champréveyres (Pillonel 2007, p. 143) (*cf.* pl. 68, p. 822). Elles pourraient avoir servi à cet usage sans que pour l’instant nous en soyons parfaitement certaine. Leur utilisation en tant que cale n’est évidemment pas exclue. À nos yeux, les pièces FP 9 et FP 10 sont les plus caractéristiques. La première mesure 15 cm de longueur. Sa section maximale est de 3,2 x 2 cm. Elle est refendue dans le sens longitudinal radial et tangentiel et taillée en pointe à une de ses extrémités. La pointe en double biseau se développe sur 4 cm de longueur. La seconde, également refendue dans le sens longitudinal radial et tangentiel, montre une forme en goupille plus typique. Elle mesure 20 cm de longueur, 3 cm de largeur au niveau de sa tête la plus évasée et 1 à 1,3 cm d’épaisseur.

- . -

L’ensemble de ces éléments architecturaux révèle la réalisation d’assemblages de charpente relativement complexes avec un travail de façonnage fin, par ailleurs pas ou mal attestés par les grands bois conservés. Il démontre l’intérêt de l’étude plus systématique des petits bois et des chutes pour caractériser des techniques et des usages. La poursuite de la fouille du Grand Puits pourrait permettre la découverte des pièces d’architecture avec des traces d’assemblages confirmant nos hypothèses. Cependant, la récupération des plus belles pièces travaillées pour leur réemploi n’est pas exclue. Elle paraît même de plus en plus probable car il est difficile de restituer à partir du lot de pièces conservées la fonction des éléments de boisage, d’étayage ou de charpente façonnés pour des assemblages.

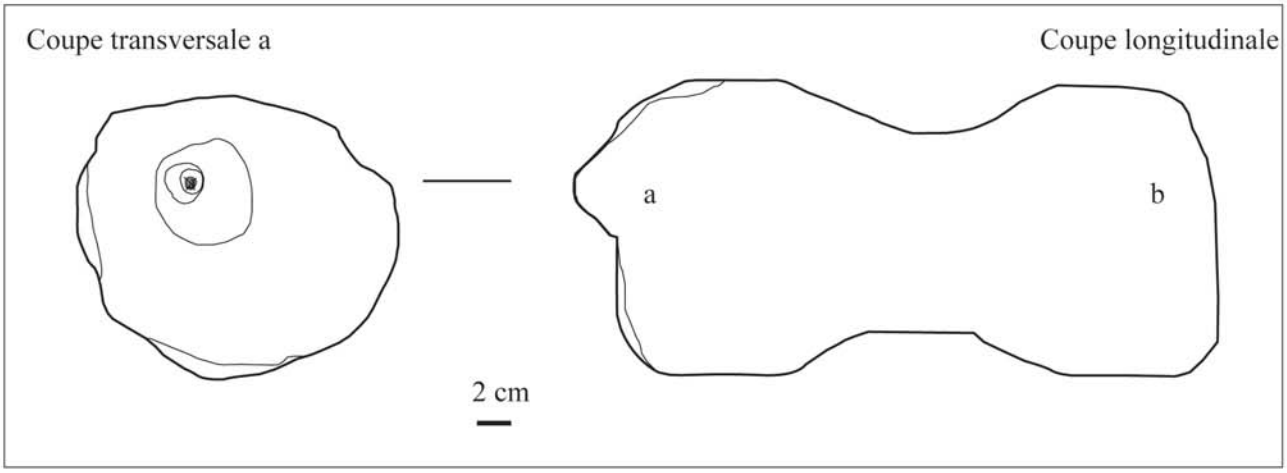
III.3. LE MOBILIER ET LES ÉQUIPEMENTS EN BOIS DE FANGEAS

III.3.1. Équipements

Poulie de levage

La poulie du Grand Puits est la pièce la plus originale du corpus de bois travaillés (pl. 73, p. 845). Elle a été découverte dans l'enchevêtrement de bois, au milieu des gros poteaux. L'objet est monoxyle. Il est composé de deux disques bombés réunis par un axe cylindrique. La longueur maximale entre les deux parties bombées mesure 36,5 cm. Le diamètre des disques qui sont érodés sur leurs pourtours est évalué à 16,5 cm de diamètre du côté a et à 16 cm de diamètre du côté b. Le diamètre de l'axe rainuré pour le passage de la corde est de 14 cm. Sur les côtés, deux protubérances réservées dans la masse servaient probablement de pivots. La mieux préservée mesure 6 cm à la base et se réduit à 2 cm au niveau du point de rupture (côté b). Le surcreusement aménagé au centre pour le passage de la corde a été taillé à la hache ou à la hachette. Les traces d'usure liées au frottement sont visibles seulement sur une face, tandis que sur l'autre, on peut observer les traces de coupe de l'outil qui a servi à façonner cette pièce rustique.

PLANCHE N°73 : LA POULIE DE LEVAGE DU GRAND PUITS



Vue face carbonisée (V. Py 2005).

Vue côté b (V. Py 2005).

Vue face non carbonisée (V. Py 2005).

Détail traces de coupes (V. Py 2005).

À notre connaissance, un tel objet n'a encore jamais été découvert dans une mine médiévale. Comme d'autres pièces en bois dégagées dans le puits, la poulie présente une face carbonisée de façon superficielle. Contrairement à d'autres pièces de bois, comme les poteaux, il est difficile d'imaginer que cette pièce maîtresse qui servait au treuillage ait été accidentellement exposée aux flammes des feux d'abattage. En effet, une poulie est normalement fixée entre deux poteaux ou entre deux pièces de bois attachées à une chèvre grâce aux tétons. Elle était vraisemblablement en surplomb au-dessus de la bouche du puits. Elle servait à faire glisser une corde simplement tirée plus bas par un mineur ou elle pouvait être enroulée à un tambour fixé sur un châssis et activé par un manoeuvre grâce à une manivelle. On voit mal comment cette pièce aurait été atteinte par les flammes des bûchers d'abattage. Pour cette raison, nous pensons qu'un feu accidentel (ou non) s'est déclaré au sommet du puits endommageant une partie des équipements.

Échelle

Les pièces les plus originales du lot de bois découvert dans la Grande Fosse sont deux fragments d'un montant d'échelle brisé, robuste et rustique, découvert dans le plancher en situation de remploi (GF 36) (*cf.* pl. 63, p. 797). Le montant reconstitué mesure 1,21 m de longueur maximale. Il a été taillé dans un tronc grossièrement ébranché, d'un diamètre maximal de 10 cm, équarri seulement sur deux faces à la hache. L'extrémité A de la pièce, légèrement oblique, présente des traces de coupes émoussées. Il s'agit d'un des deux bouts de la pièce. Il n'est pas possible de dire avec certitude si ce bout est le pied ou la tête de la pièce reposant contre la paroi rocheuse. La taille oblique indiquerait plutôt la tête. Deux mortaises traversantes ont été conservées. On remarque le départ d'une troisième à l'extrémité B repérable par deux trous de tarière. La mortaise « a » est séparée de 19 cm (longueur maximale) de la mortaise « b », séparée elle-même de 25 cm de la mortaise « c ». Comme pour le *Kletterbaum* du Grand Puits, l'espacement entre les marchepieds n'est pas calibré. La mortaise « a » mesure 10 cm de longueur et 5 cm de largeur. La mortaise b mesure 15 cm de longueur et 5 cm de largeur. Les barreaux encastrés dans les mortaises étaient donc particulièrement massifs. Les mortaises ont été évidées dans le montant à l'aide d'une tarière dont la mèche mesure environ 2 cm de diamètre. Les trous sont encore visibles aux quatre

coins des mortaises qui ont pu être entièrement évidées à la tarière ou terminées à l'ébauchoir ou au ciseau. La tarière la plus apte à cette opération (évidemment des mortaises) est « la tarière à gouge », on parle aussi de tarière à cuillère. L'extrémité de la mèche en fer est en forme de gouge refermée. Les traces sont parallèles et correspondent à la modification de pression exercée sur l'outil lors du changement de main[128]. Les sillons hélicoïdaux attestent quant à eux l'utilisation d'un « *boulonnier », de la « *cuillère » ou du « *laceret », tarières que seul le contexte d'usage permet de différencier.

Les exemples d'échelles archéologiques connues présentent de façon générale une confection plus soignée et les pièces, montants et barreaux, sont plus fines et élancées. Il faut croire que sa réalisation a été faite sur place de façon à parer au plus vite à un problème de circulation verticale dans la Grande Fosse, voire dans une autre mine puisqu'un des fragments du montant est en situation de réemploi. Sa confection est à attribuer aux mêmes ouvriers qui ont préparé les boisages et les équipements en bois.

Kletterbaüme

Un *Kletterbaum* entier dans un parfait état de conservation a été découvert dans les remblais remaniés destinés à clore le Grand Puits après l'exploitation. La dernière campagne de fouille a permis de dégager sa base et de l'extraire de l'enchevêtrement de bois pour réaliser son étude (*cf. supra*, pl. 20, p. 591 et pl. 60, p. 794). Comme la plupart des exemples archéologiques et ethnographiques connus, les marches de l'échelle ont directement été taillées dans un tronc de diamètre moyen (18 cm) parfaitement rectiligne. L'épaisseur importante des cernes de croissance et la courte séquence dendrochronologique échantillonnée indique que ce tronc provient d'un jeune arbre ayant poussé dans d'excellentes conditions hydrologique et topographique. La bille mesurant 2,62 m de longueur a été simplement ébranchée – les départs de branches sont discrets et de faibles diamètres – et peut-être écorcée. La forme légèrement courbe présentée par la pièce aujourd'hui est liée au travail du bois vert à la suite de son implantation, adossée contre une paroi verticale du puits, et aux allées et venues des mineurs. La base du *Kletterbaum* a été taillée en biseau à l'aide d'un outil tranchant (ébauchoir ou herminette ?) de façon à s'encastrer dans le sol ou sur un niveau de

[128] Communication D. Pillonel.

plancher légèrement remblayé. La solidité de l'ancrage a pu être simplement assurée par des pierres de calage ou des cales en bois. La première marche a été taillée à 58 cm de la base de l'échelle (arête radiale du biseau). Le reposoir pour le pied (marchepied) n'est pas parfaitement horizontal et s'enfonce seulement de 5 cm dans le tronc. L'entaille a été réalisée à l'aide d'une herminette dont les traces sont encore bien visibles. Le reposoir de la deuxième marche, profond de 4 cm, a été taillé à 42 cm du reposoir de la première, celui de la troisième, profond de 6 cm, à 47 cm de celui de la seconde, et celui de la dernière marche, profond de 6 cm, à 54 cm du précédent. Les espacements entre chaque marche sont donc irréguliers. La hauteur des entailles est par contre de 20 cm pour chaque marche. L'extrémité haute du *Kletterbaum* est taillée à plat. La partie qui reposait contre la paroi rocheuse est légèrement émoussée.

Deux fragments appartenant à un second *Kletterbaum* très mal conservé ont été retrouvés dans l'enchevêtrement de bois. Ils présentent les mêmes caractéristiques que le grand *Kletterbaum* qui vient d'être décrit. Le tronc dans lequel ont été réalisées les entailles mesure 16 cm de diamètre et l'espacement entre les deux marchepieds conservés est de 50 cm environ.

Le bois GF 16 peut avoir eu une vocation de *Kletterbaum*, pour franchir aisément un petit ressaut par exemple (*cf.* pl. 61, p. 795). Il s'agit d'un jeune tronc, long de 1,95 mètre et présentant un diamètre maximal de 11 cm. Les plaques d'écorces résiduelles indiquent qu'il n'était pas écorcé à l'origine. Le tronc est légèrement tordu contrairement au grand *Kletterbaum* du puits. L'extrémité A est coupée en biseau avec un outil tranchant dont les traces sont toujours bien visibles (hache ou hachette). Cette forme permet un meilleur ancrage de la pièce dans le sol ou facilite son calage avec des pierres ou des cales en bois. Une première encoche caractéristique des marches de *Kletterbaum* a été taillée à la bisaiguë à 20 cm de la base. Le reposoir s'enfonce sur 3-4 cm dans le tronc. Une seconde encoche, de forme irrégulière, profonde d'environ 5 cm, a été taillée à une vingtaine de centimètres de la première. Le reste du tronc ne présente plus d'autre encoche de ce type. La troisième encoche réalisée à une cinquantaine de centimètres de l'extrémité B du tronc qui correspond à la partie sommitale de l'arbre abattu est plutôt caractéristique des encoches de préparation pour l'embrèvement simple. Il faut croire que cette pièce a eu deux fonctions ou alors que les deux encoches de l'extrémité A aient servi à faire des embrèvements ce qui paraît moins probable car elles sont très rapprochées et profondes.

L’association du *Kletterbaum* et de l’échelle sur un même site et à la même époque est confirmée à Fangeas au XIIe siècle. L’utilisation du *Kletterbaum* – échelle d’apparence archaïque – a perduré jusqu’au siècle dernier comme de nombreux autres outils et techniques minières. Sa rapidité d’exécution et l’équilibre assuré aux mineurs en fait l’équipement idéal pour la circulation verticale dans des ouvrages peu profonds ou scandés de ressauts ou de passerelles et assez large. Les mesures spacieuses du Grand Puits ont déterminé son utilisation. L’emplacement primitif de l’échelle dont un montant a été utilisé en réemploi pour le rafistolage du plancher n’est pas connu, mais on peut supposer qu’elle équipait la partie profonde extrêmement étroite du chantier de la Grande Fosse. L’échelle et le *Kletterbaum* sont donc d’usage complémentaire dans la mine.

Goulottes

Les travaux de Fangeas ne présentent pas d’ouvrages d’exhaure à proprement parler. Cette opération était manifestement assurée par écopage et treuillage et/ou portage des seaux ou des outres en cuir remplis d’eau. À la base de l’enchevêtrement de bois du Grand Puits, un fragment de goulotte bien conservé a été retrouvé (GP23, *cf.* pl. 60, p. 794). Elle pouvait servir à canaliser les eaux de ruissellement et d’infiltration à l’intérieur du chantier ou du puits jusqu’à un puisard, ou à canaliser les eaux de ruissellement en surface afin d’éviter qu’elles ne s’engouffrent dans la fosse du puits. Les traces de carbonisation relevées au niveau de l’extrémité B, du côté de la face non travaillée, incitent à situer son emplacement originel sous terre, non loin d’un front de taille.

La pièce a été taillée à la base d’un gros tronc ébranché avec un diamètre maximal de 26 cm. Son extrémité A, située du côté de la face non travaillée, présente des traces d’abattage réalisé à la cognée. Elle affecte en plan une forme oblique que les mineurs n’ont pas cherché à rectifier proprement à l’horizontale. L’extrémité B est brisée. La goulotte était donc plus longue. La zone arrachée est carbonisée en surface du côté de la face non travaillée. Il est difficile de déterminer la position de la pièce qui aurait permis aux flammes de venir lécher une face normalement posée au sol. La goulotte aurait-elle été surélevée par rapport au front de taille ? Le feu a fragilisé cette partie de la pièce qui n’a pas été conservée. Le tronc a été évidé sur 5 (*cf.* coupe c-d) à 10 cm (*cf.* coupe a-b) de profondeur et 18 (extrémité B) à 11 cm de largeur (extrémité A) à l’aide d’une herminette. Le fond du creusement est large de 8 à

9 cm sur presque toute la longueur de la pièce. Le fer recourbé de cet outil permet le creusement de rainure à fond arrondi. Les traces identifiées dans la zone évidée déterminent l'utilisation d'une herminette à panne concave. Les coups donnés dans l'axe de la pièce laissent des traces sous forme de ressauts peu marqués, qui traduisent l'inclinaison donnée à l'outil. La forme du creux, notamment au niveau de la coupe a-b, avec les bords légèrement évasés, atteste que la pièce a été travaillée toujours dans le fil du bois ; à contre-fil, les bords auraient été plus relevés. La face supérieure des deux bords de la pièce est légèrement aplanie. Cette préparation a certainement été réalisée avant le creusage pour faciliter le traçage de la rainure.

Cette pièce est la seule du genre, retrouvée dans les fouilles de la Grande Fosse et du Grand Puits. Ce type existe toujours dans le hameau bas de Dormillouse. Encastrées dans le sol, elles servent à canaliser les eaux de pluie et de ruissellement aux abords de l'habitat. À Fangeas, les autres pièces en bois interprétées comme ayant pu servir à l'écoulement de l'eau n'ont pas la même morphologie (GF 5, GF 18, GF 44, GF 77).

La pièce GF 5 est une sorte d'épaisse dosse (4 cm d'épaisseur) débitée au coin et à la masse dans un tronc de 1,35 m de longueur et d'un diamètre maximal de 30 cm (*cf.* pl. 61, p. 795). L'extrémité A présente une entaille pratiquée sur 5 cm de longueur en coupe radiale et 2 à 3 cm en coupe transversale au niveau de la zone la plus incurvée de la pièce qui correspond au cœur de l'arbre. Cette entaille a pu servir à canaliser le filet d'eau vers un puisard. La dosse a été entaillée avec un outil tranchant du côté débité de façon à former une coupe en vasque (coupe basse et très évasée). La surface de la face incurvée est vermoulue. Le même profil a été observé sur la pièce GF 18 qui présente des mortaises (*cf.* pl. 61, p. 795). Il est possible que cette pièce d'abord utilisé pour l'étaiement et/ou l'échafaudement du chantier ait servi dans un second temps de goulotte. Comme pour la pièce GF 5, la face incurvée est vermoulue sur quelques centimètres d'épaisseur. La pièce GF 44 montre les mêmes caractéristiques (*cf.* pl. 63, p. 797). Il s'agit d'un épais plateau (5 à 7 cm) obtenu par fente dans un tronc équarri mesurant 1,40 m de longueur et d'un diamètre minimal de 30 cm. Des arrachements sont visibles au niveau de l'extrémité A qui a souffert lors du comblement de la fosse tandis que l'extrémité B est taillée à plat avec une hache. La longueur actuelle de la pièce est probablement proche de celle du modèle originel. La face évidée avec un outil tranchant (herminette ou ébauchoir) présente le même profil en vasque typique. Comme pour la goulotte du Grand Puits, ces trois pièces prélevées dans la fosse pouvaient équiper le chantier

pour canaliser les eaux jusqu'à un puisard ou pour dériver les eaux de ruissellement en surface.

La dernière pièce pouvant se rattacher à la catégorie des « goulottes » a été retrouvée au fond de la Grande Fosse (GF 77) (*cf.* pl. 65, p. 799). La pièce est une épaisse *contre-dosse (1 à 2,5 cm d'épaisseur) débitée dans un tronc d'une longueur maximale de 1,35 m et d'un diamètre minimal de 16 cm. La face A présente des traces d'équarrissage (blanchissage) réalisé avec un outil tranchant de type hache de façon à former le dos légèrement bombé d'une vasque. La face B montre une coupe en L renversé et a été entièrement travaillée avec un outil tranchant de type herminette ou ébauchoir. Le dos de la pièce était recouvert d'une fine pellicule d'argile grise qui confirme son usage pour l'écoulement des eaux. Cette pièce moins volumineuse que les deux précédentes paraît avoir été conçue pour équiper le souterrain. Son emplacement originel n'est pas connu, mais il est très probable qu'elle ait servi à canaliser les eaux de ruissellement jusqu'à un puisard situé au fond la fosse. Une tentative de restitution pourra être proposée lorsque le fond de la fosse aura été entièrement fouillé.

À l'exception de la goulotte du Grand Puits caractéristique de modèles ethnographiques connus, les autres goulottes débitées dans d'épaisses dosses au dos plus au moins équarri sont faiblement incurvées, mais relativement larges. Elles sont théoriquement réservées à des débits moins importants que les goulottes profondes, mais surtout leur confection paraît plus rapide et moins laborieuse. Au regard de la rusticité des installations et de la taille des ouvrages, il est improbable que ces goulottes aient pu servir de canal d'amenée d'eau pour une roue hydraulique.

Dans cette mine, l'exhaure était donc réalisée par dérivation des eaux de ruissellement et d'infiltration dans des goulottes. Les eaux étaient conduites jusqu'à un puisard, écopées dans des contenants, puis évacuées vers la surface par treuillage ou portage à dos d'homme. Ce système prédomine dans les mines médiévales peu profondes, mais il n'avait encore jamais été retrouvé de tels équipements pour la dérivation des eaux. Les exemples de Fangeas enrichissent considérablement la typologie des goulottes découvertes jusqu'à présent. Dans les mines médiévales plus développées équipées d'ouvrages d'assistance, l'eau est habituellement canalisée dans des rigoles surcreusées dans le sol des galeries de circulation et d'exhaure.

III.3.2. Outillage, petit matériel et fournitures

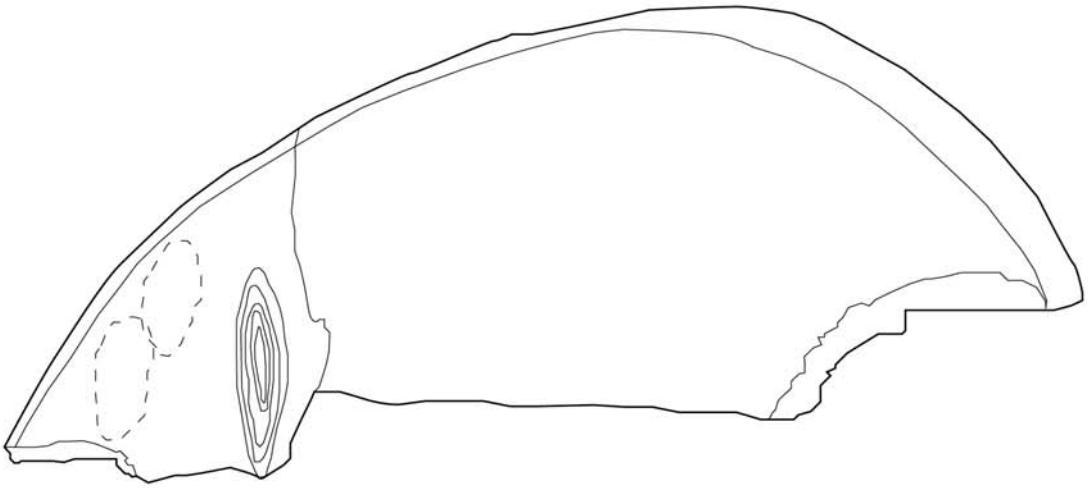
Éléments de cuveaux

Deux fragments de fonds de cuveaux monoxyles ont été découverts dans la Grande Fosse. Une première pièce en mélèze provient de la couche sombre qui tapissait le sol rocheux à l'entrée du chantier (*cf.* pl. 74, p. 853). Elle est brisée au niveau d'un grand nœud qui a sans aucun doute joué sur sa fragilité. Grâce à sa courbure, on peut néanmoins évaluer le diamètre complet du fond à environ une quarantaine de centimètres. Il correspond au diamètre potentiel du contenant qui a été cerclé au moyen d'un des deux fragments de « plèches » en frêne retrouvés dans les remblais noirs (RN 46). Taillées dans une jeune tige avec un outil tranchant associé à un outil à percussion, ces pièces mesurent 1,3 à 2 cm de largeur et 0,3 à 0,8 cm d'épaisseur. Leurs courbures est aujourd'hui très relâchée, mais on peut aisément cintrer le plus long brin, qui forme presque un demi-cercle relâché, jusqu'à obtenir un cercle d'environ 40 cm de diamètre. Les deux fragments retrouvés ensemble ont apparemment servi à cercler le même cuveau et à la même hauteur. Les « brins » devaient se chevaucher légèrement, l'un contre l'autre.

Le fond présente une épaisseur de 1 à 1,5 cm. Un chanfrein de 0,5 cm de largeur a été réalisé sur tout son contour extérieur pour être ajusté dans le jable des *douelles. L'arrondi de ce fond de cuveau n'est pas parfaitement régulier. Son débitage a été réalisé par percussion et par traction sur un outil tranchant (départoir). Des retouches du plan de fente ne sont pas exclues ne sont pas exclues. La *plane est l'outil le plus adapté pour obtenir un aplat régulier. Mais, il peut aussi s'obtenir avec la doloire. Le chanfrein a pu être taillé avec un ciseau à bois.

PLANCHE N°74 : DEMI FOND DE CUVEAU (59) DE LA GRANDE FOSSE

1. Dessin face a



2. Cliché face b

Dessin et cliché V. Py 2005

Le second élément de fond de cuveau provient des remblais noirs (RN7) (*cf. supra*, pl. 72, p. 842). Il s'agit d'un fragment brisé, au niveau d'un nœud, correspondant à la zone périphérique de l'objet mesurant 22 cm dans sa partie la plus longue et 9 cm dans la partie la plus large. La courbure du cercle permet d'évaluer son diamètre originel à un peu moins de 30 cm. Cette pièce appartient donc à un récipient de plus petite taille que le précédent. Elle montre une épaisseur qui varie de 2,5 cm à 1 cm. Le chanfrein est beaucoup moins régulier. À certains endroits, l'angle du rebord est presque à 90°. Son épaisseur varie entre 0,8 et 1,3 cm. Cette pièce a été confectionnée non pas dans du bois de Mélèze, mais dans du bois de Pin cembro.

Pour ces deux exemples, l'épaisseur du fond est irrégulière et le dessin du cercle est très approximatif. La question est de déterminer si ces objets ont été façonnés *in situ* et/ou s'ils proviennent d'un artisanat spécialisé. La réponse n'est pas évidente car le corpus n'est pas représentatif. Il faut souligner aussi la rareté des autres éléments constitutifs d'un cuveau, notamment des douelles. Quelques fines « planchettes » d'un à deux centimètres d'épaisseur peuvent être les vestiges de ces éléments de seaux ou de cuveaux (FP22, RN6) (*cf.* pl. 75, p. 855 ; pl. 76, p. 856). Les fragments retrouvés sont malheureusement brisés et n'ont pas permis de reconnaître de jable. L'un d'entre eux, le mieux conservé et le plus significatif, mesure un demi à un centimètre d'épaisseur (RN6). Il a été conservé sur 10 cm de largeur maximale et 22 cm de longueur. La pièce a été brisée sur sa longueur, mais sa largeur originelle paraît préservée. Elle est plus étroite d'un côté (6,5 cm) et ses bords sont légèrement chanfreinés. Les différences de largeurs sur la longueur de la douelle peuvent avoir servi à compenser le rond irrégulier du fond. Le façonnage de cette pièce est soigné : on ne note aucune trace d'impact d'outil. Son débitage témoigne d'un éclatement contrôlé dans le sens longitudinal des fibres du bois décollées à l'aide d'un départoir. Le nombre de pièces retrouvées pouvant se rapporter à des douelles, quatre en tout, est négligeable en comparaison avec le riche corpus découvert dans les mines médiévales de Donnerloch. Il faut croire que ce matériel était coûteux et entretenu. Abandonnés par les mineurs, les éléments retrouvés étaient irréparables et non-réutilisables, sauf pour une utilisation complètement indépendante de leur fonction originelle. Il est difficile d'évaluer le degré de technicité des fabricants à partir de ces informations laconiques. On peut juste remarquer que la rusticité de ces pièces ne doit pas masquer son évident savoir-faire pour la découpe et l'aplanissement des bois et leur assemblage. Les cuveaux devaient faire preuve de solidité et d'une bonne étanchéité pour limiter les pertes de liquide pendant le transport.

PLANCHE N°75 : PLANCHETTE, *KIENSPÄNE*, BOIS À PROTUBÉRANCE TERMINALE

RN 6 : planchette (douelle ?)
avec trace de carbonisation localisée

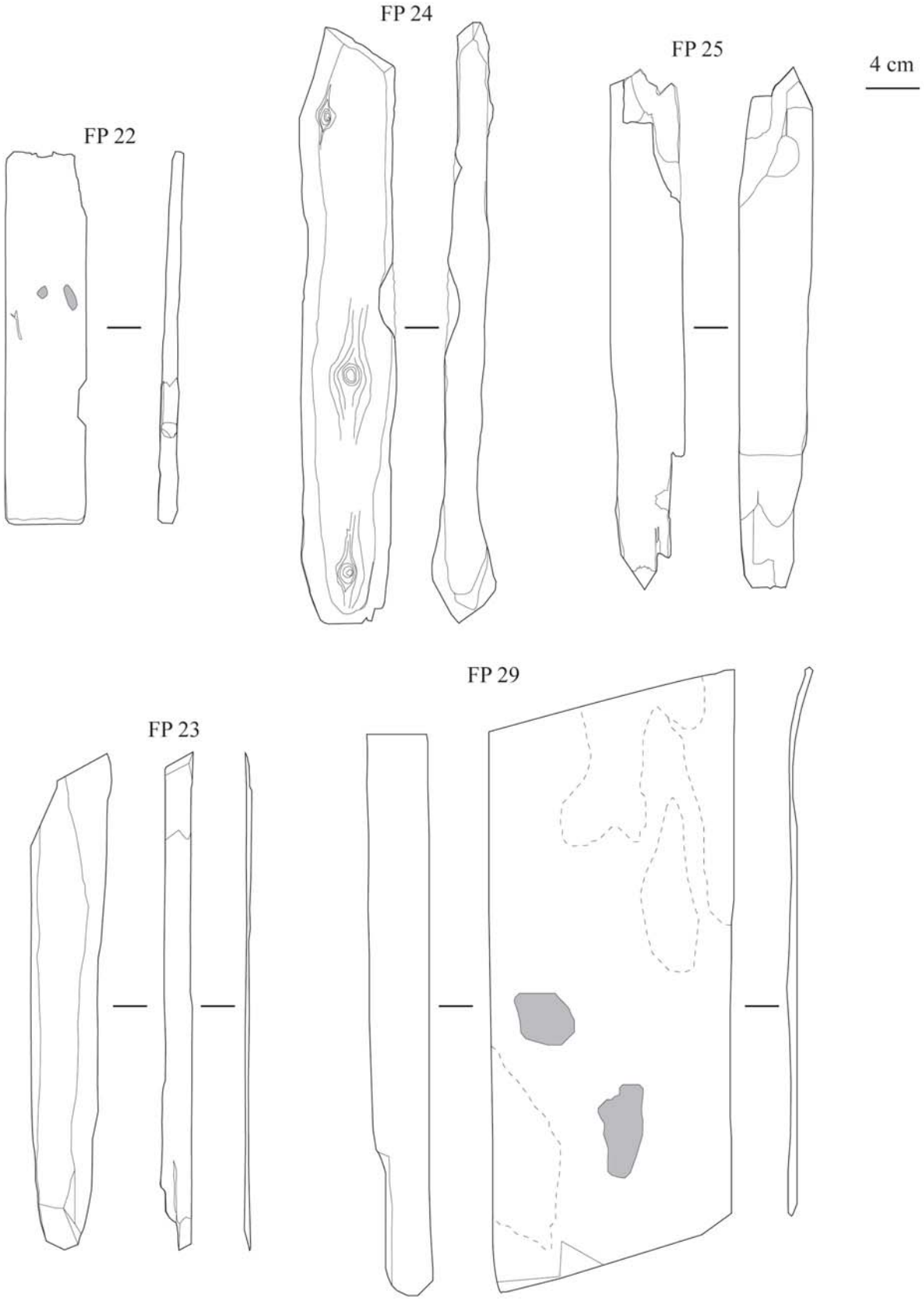
RN 17 : *kienspäne*

RN 21 : bois à protubérance
terminale face aplanie

RN 21 : face bombée

(cl. V. Py 2008)

PLANCHE N°76 : MENUS BOIS PROVENANT DE LA FOSSE DU GRAND PUITS
(C. 1-2, US 3)



Dessins V. Py 2005

Contrairement aux bois d'étayage et aux équipements de base dont la fabrication peut relever du savoir-faire de paysans polyvalents, nous pensons que la confection des seaux, barils, tines et autres contenants constitués de douelles (ou douguettes) et cerclés relève très certainement de l'artisanat de la tonnellerie et de l'œuvre de spécialistes au sein de l'équipe de mineurs ou de la communauté. Les découvertes de tels objets très diversifiés sur le site de Charavines, immergé brusquement vers 1035, suggèrent que cet artisanat était déjà très développé au XIe siècle. Au XIVe siècle, la production de ces divers contenants atteint des proportions industrielles dans les massifs boisés de la Chartreuse et du Vercors où l'on constate à travers la documentation écrite la plus forte concentration d'artisans du bois de tout le Dauphiné (Belmont 1998). Dans la Haute-Durance et de façon plus large dans les Alpes du Sud, on sous-estime trop souvent l'importance de la tonnellerie alors que dès le XIe siècle, les vignes s'agrippaient sur les versants d'adret et même d'ubac tout le long de la vallée de la Durance jusqu'aux portes du Briançonnais. La vocation vinicole de la Haute-Durance imposait la fabrication d'une vaisselle vinaire qui ne diffère guère de celle des contenants (seaux, barils, etc.) et dont la fabrication et le commerce sont extrêmement mal connus pour les périodes antérieures au XIIIe siècle. Dès cette époque, la ville de Manosque accueillait un des principaux marchés de la tonnellerie en Provence. Les actes de vente conservés (1310-1318) indiquent que la production provenait principalement des Alpes de haute Provence (vallée de Seyne) (Sclafert 1959, p. 67). L'acte de 1310 signale des tonneaux de mélèze d'une capacité de 20 à 25 hectolitres. Les « tines » mentionnés dans les actes étaient façonnées dans du bois de chêne ou de mélèze. On peut supposer que le bois de mélèze était privilégié dans les régions de montagne où il était de loin plus abondant que le chêne dont on a signalé plus haut le déboisement ancien en Haute-Durance. Les *plèches ou pléchons étaient généralement confectionnés avec des jeunes chênes. Les deux fragments retrouvés à Fangeas démontrent que les jeunes bois de frênes, à la fois souples et résistants, pouvaient tout aussi bien servir à cette fonction. L'hypothèse de la confection de ces objets par des spécialistes va dans le sens de l'attention portée à ce matériel qui constituait sans aucun doute un coût non négligeable suggéré par l'importante valeur de la vaisselle vinaire révélée par la documentation écrite.

Manches d’outils

Le fragment de manche n°1 (RN1) a été découvert sous le plancher de la Grande Fosse, au niveau du compartiment V vers – 4 m de profondeur (*cf.* pl. 77, p. 860). Il est de section rectangulaire. Il mesure 26,5 cm de longueur, 2,3 cm d’épaisseur et 3,6 cm de largeur. Ces proportions sont très proches de celles des manches de haches découverts sur le site de Paladru (largeur 3,5 cm pour 2,7 cm d’épaisseur) (Colardelle, Verdel 1993, pp. 246-247). Malheureusement, il n’est pas entier et il est impossible de reconstituer sa forme originelle avec certitude. Il est cassé à l’une de ses extrémités. Une des deux arêtes est entaillée transversalement à deux reprises avec une lame tranchante. La première entaille est entamée par la cassure. La seconde forme un creux de 1,7 cm de longueur et 1,5 cm de largeur sur un peu moins de 1 cm de profondeur maximale (encoche en retrait). Elle peut signaler l’emplacement d’un lien. L’autre extrémité du manche n’est pas parfaitement plane et finie. Elle a conservé des traces de coupes transversales réalisées avec un outil à tranchant. Elle présente au niveau de sa face A une encoche entaillée du côté gauche, à 1,5 cm de l’extrémité du manche et sur une profondeur de 0,3 à 1 cm. Elle peut avoir servi à fixer solidement un lien servant à garder l’outil au poignet ou à l’accrocher. Le travail de façonnage du manche est très soigné. À l’exception des traces de coupes transversales, l’on ne remarque aucune trace d’outil ayant servi à la finition de la surface du manche qui est presque parfaitement lisse. Les arêtes sont chanfreinées en quart-de-rond pour parfaire sa prise dans la main. Ces finitions sont nécessaires pour ne pas blesser les mains même les plus robustes (crevasses). Elles suggèrent l’utilisation d’un rabot à façonner les manches dont un exemplaire exceptionnel a été découvert sur le site de Paladru (Colardelle, Verdel 1993, pp. 246-247). Ce manche pourrait avoir servi à monter une lame de hache. En effet, la forme rectangulaire de la section des manches de haches de bûcheronnage munies d’un fer étroit est idéale pour assurer une bonne préhension et pour guider efficacement le tranchant lors de l’abattage (Colardelle, Verdel 1993, n. 8, p. 258). La forme rectangulaire avec les arêtes arrondies est typique des outils à percussion lancée. Le matériau choisi est du bois de feuillu, plus précisément du Frêne (*Fraxinus* sp.). Cette essence est encore utilisée de nos jours pour la confection des manches d’outils à frappe car elle a l’avantage d’être résiliente et d’amortir les vibrations. Les manches de haches et de marteaux découverts à Paladru ont été fabriqués avec cette essence. Le manche n°1 de Fangeas est confectionné dans un bois exempt de nœud pris dans le pied d’un jeune arbre. Le fil du morceau de bois sélectionné est droit et parallèle à l’axe du manche

de façon à offrir une solidité maximale. Le bois à façonner doit être bien sec. Sa réalisation implique un vrai savoir-faire.

Le manche d'outil n°2 (RN2) a été découvert à proximité du manche n°1 (*cf.* pl. 77, p. 860). Il est brisé en deux morceaux qui assemblés donnent la longueur maximale de 57,7 cm. Ce manche est différent du précédent. Il présente une section ronde et mesure 3 cm de diamètre dans sa partie la plus forte, c'est-à-dire au niveau de la cassure. Le diamètre se rétrécit significativement au niveau de l'extrémité A où il ne présente plus que 2,4 cm. Le manche présente des arrachements longitudinaux qui affectent une de ses moitiés sur quelques millimètres à deux centimètres d'épaisseur. Il n'est pas possible de dire avec certitude si ces arrachements correspondent à l'utilisation du manche ou s'ils sont préexistants. La première hypothèse est tout de même plus probable car le manche aurait été trop fragile. La coupe au niveau de l'extrémité B est nette et perpendiculaire au fil du bois. Cependant, il est très probable qu'elle indique une zone de cassure et non l'extrémité du manche complet. L'extrémité A est arrondie, comme émoussée. À 4 cm de son extrémité, la pièce est perforée d'un petit trou de 3 mm de diamètre réalisé au centre de l'arrondi. Le trou paraît traversant, mais les arrachements longitudinaux qui affectent un quart du cercle empêchent une bonne lecture. Malgré cela, ce trou paraît correspondre à l'emplacement d'une cordelette. Il peut aussi avoir servi à enfiler une sorte de petite cheville qui aurait servi à consolider l'emmanchement d'une pièce en fer ou en bois. De telles perforations ont été observées sur un manche de faucille protohistorique découvert sur le site de Hauterive-Champréveyres et sur un manche de faucille médiévale découvert à Paladru (Pillonel 2007, p. 214 ; Colardelle, Verdel 1993, p. 209). Pour le dernier cas, une perforation circulaire à 1,5 cm de la base de la lame permet le passage d'une « sorte de patte » dont la tête triangulaire et la pointe sont battues à angle droit (Colardelle, Verdel 1993, pp. 209-210). Cette technique de fixation du fer au manche n'a pas été observée sur les outils à percussion lancée.

PLANCHE N°77 : MANCHES D'OUTILS

RN 1

RN 1 : détail entailles

RN 2 : face polie

RN 2 : face affectée par des arrachements

RN 2 : détail perforation

(cl. V. Py 2008)

La section ronde du manche n°2 est problématique. Il pourrait avoir servi à l'emmanchement d'un outil à percussion posée ou plus certainement à un outil aratoire de type houe dont les douilles et les manches conservés, datés des XVIe, XVIIe et XVIIIe siècles, sont toujours de section ronde (Ancel 1990d, pp. 500-501). Mais cette hypothèse demeure incertaine car nous ne disposons pas d'élément de comparaison fiable pour l'époque médiévale. La houe agricole découverte à Paladru présente une douille ronde de 4,4 cm de diamètre. Le manche était manifestement plus robuste. Le matériau utilisé pour la confection du manche n°2 est, comme pour le manche n°1, du Frêne. Cette essence était utilisée de préférence pour les outils à percussion lancée. Mais, cette donnée croisée avec les maigres informations typologiques dont nous disposons ne permet pas d'avancer une hypothèse plus satisfaisante. Il faut aussi relever que les emmanchements des pics du XVIe siècle à douilles rondes, découverts dans les mines alsaciennes, étaient manifestement de section ronde (Ancel 1990d).

Torches et *Kienspane*

L'exploitation de la Grande Fosse a nécessité de l'éclairage, du moins dans la zone située sous le plancher. Les vestiges de baguettes de bois carbonisés à l'une de leur extrémité, reconnus comme étant des *Kienspane*, sont rares. Ils ont été découverts seulement dans les remblais noirs.

La pièce RN17, découverte dans les remblais noirs, sous le plancher au niveau des compartiments III et IV constitue l'exemple le plus caractéristique (*cf.* pl. 75, p. 855). La pièce est entière. Elle mesure 23 cm de longueur, 1,5 cm de largeur et 0,2 cm d'épaisseur. Elle a été débitée avec un outil tranchant dans le plan radial. Son extrémité carbonisée forme une pointe de flèche. L'essence utilisée est le Pin cembro. Le choix de cette essence, secondaire dans la biomasse ligneuse disponible par rapport au Mélèze, s'explique sans aucun doute par ses propriétés flammifuges. Les autres fragments de baguettes, assez proches de RN17 d'un point de vue typologique et avec une extrémité carbonisée (RN19bis, RN 35), pouvant se rattacher au groupe des *Kienspane*, sont taillés également dans du bois de Pin cembro.

D’autres pièces de bois à pointe terminale carbonisée peuvent être interprétées comme des torches et non pas comme des résidus de feu d’abattage. Les pièces RN 22 et 23 sont les plus significatives. Elles ont été retrouvées dans les remblais noirs, sous le plancher, au niveau du compartiment IV vers 3 m de profondeur. Il s’agit de bois refendus dans le sens longitudinal de 19 à 20 cm de longueur, de section quadrangulaire (4 x 1,7 cm / 2,5 x 2,1 cm) et présentant une pointe carbonisée à une de leur extrémité. Elles sont toutes les deux débitées dans du Pin cembro. L’utilisation comme torches de ces pièces de bois de refend, bien plus épaisses que les fragments de *Kienspane* à proprement parler, n’est pas improbable, même si elle est mal documentée.

Objets « insolites »

Une série d’objets, dont l’usage n’est pas parfaitement évident et dont nous ne connaissons pas de comparaison archéologique pour l’époque médiévale, a été classée dans la catégorie « objets insolites ». Leurs formes particulières a attiré notre attention et nous a incité à faire une analyse plus scrupuleuse. Malgré certaines évidences, les hypothèses émises demeurent incertaines.

Coupelle de lampe ou écope ?

Le premier objet est une sorte de coupelle monoxyle découverte dans les remblais noirs de la Grande Fosse sous le niveau de plancher (*cf.* pl. 70, p. 837). Elle présente une ouverture maximale de 33 x 15 cm et une profondeur maximale de 7 cm. Elle a été taillée dans une loupe (ou broussin) de Mélèze. La loupe correspond à une excroissance du tronc ou des branches d’un arbre, développée à la suite de la piqûre d’un insecte et donnant au morceau de bois une forme ronde et mamelonnée. La loupe est une pièce de bois très dur, particulièrement difficile à travailler, mais très recherché en ébénisterie pour ses veines tourmentées. Ici, la loupe prélevée à la base d’un tronc ou d’une branche charpentière a été simplement évidée avec un ciseau à bois et/ou l’herminette. Les traces de mise en forme sont en partie oblitérées par le travail de finition. Quelques traces d’outils persistent au fond de la partie évidée faisant pencher plus pour l’usage de l’herminette qui laisse des enlèvements en creux circulaires ou

ovalaires. La courbe externe de la pièce ne paraît pas totalement brute. Elle semble avoir été régularisée avec une plane. Le fond de la coupelle présente une trace de carbonisation nette, circulaire, mesurant environ 6 cm de diamètre et légèrement brillante. Un rebord présente des traces de carbonisation. La présence de ces traces nous ont permis de formuler deux hypothèses concernant l'usage de cet objet si particulier. Premièrement, cet objet pourrait être interprété comme étant une coupelle de lampe qui aurait contenu du suif ou de la graisse animale. En effet, la loupe offre un bois extrêmement dur conditionnant une carbonisation extrêmement lente. Si la flamme produite avec la matière inflammable déposée au fond de la coupelle ne léchait pas les parois du récipient et si le feu était réduit à une flamme régulièrement surveillée par le mineur, il n'est pas improbable que l'objet se soit maintenu de la sorte même après plusieurs utilisations. Or, seule une analyse des dépôts carbonisés conservés au fond de la coupelle permettrait de valider ou d'invalider une telle hypothèse ; chose que nous n'avons pas pu faire dans le cadre de cette étude.

Deuxièmement, les loupes étaient couramment utilisées au Néolithique pour la confection de récipients monoxyles. Elles paraissent délaissées par les artisans du Bronze final qui ont uniquement mis en œuvre sur le site de Hauterive-Champréveyres du bois de tronc débité sur plots (Pillonel 2007, 216). Or, à cette époque, les artisans ont eu recours exceptionnellement au feu pour le surcreusement de pièce de bois monoxyles. Cette technique était au Néolithique ordinairement réservée à l'évidage des pirogues (Pillonel 2007, 216). Les traces de feu utilisé pour la rectification du creusage de plat monoxyle sont curieusement similaires aux traces observées dans la coupelle de Fangeas (Pillonel 2007, p. 217, fig. 305). Dans ce cas, si le creusement de cet objet a bel et bien été rectifié au feu, son usage a pu être multiple : coupelle, écope, plat, etc.

Malgré les incertitudes concernant le façonnage de cet objet et son usage, cette découverte n'en demeure pas moins exceptionnelle. Elle prouve que l'usage des loupes pour la réalisation de récipient monoxyle a perduré jusqu'au XIIe siècle dans la haute montagne alpine.

Planchette d'allumage ou accident ?

Le fragment de planchette interprété plus haut comme un morceau brisé de douelle montre une trace de carbonisation superficielle (*cf.* pl. 75, p. 855). De prime abord, nous avons pensé avoir affaire à un réemploi de douelle pour servir de support d'allumage pour le frottement d'un bâton en bois. Or, dans ce cas, la cupule aurait été plus profonde et circulaire. La planchette aurait aussi pu servir à l'emplacement de débris d'amadou pour accueillir une étincelle obtenue avec le frottement d'une pierre et d'un silex. Or, cette hypothèse paraît trop incertaine, mais elle a le mérite de poser le problème de l'allumage qui sera repris dans la partie IV destinée à caractériser toute la chaîne opératoire de l'abattage par le feu. Il est par contre plus probable que cette douelle brisée ait été brûlée accidentellement par des braises encore chaudes retirées d'un front de taille et mêlées avec les déblais chargés dans le cuveau. Une telle hypothèse démontrerait que les foyers d'abattage n'étaient pas complètement refroidis lorsque les mineurs nettoyaient les fronts de taille. La question du rythme des feux d'abattage sera traitée de façon détaillée dans la partie IV.

Bois à protubérance terminale

La pièce RN21 est une branche de feuillu (Frêne ?) de 2,8 cm de diamètre minimal, légèrement courbe et retaillée sur une de ses moitiés pour former une surface plane (*cf.* pl. 75, p. 855). L'extrémité préservée forme un renflement terminal légèrement retaillé de forme tronconique. L'essence utilisée est la même que pour les manches d'outils. Or, la présence de la zone renflée exclut que cette pièce ait servi à un tel usage. Ce bois a par contre pu servir de poignée ou de levier à butée pour le portage d'une hotte ou d'un sac placé dans le dos (Pillonel 2007, p. 236, fig. 344). Des poignées analogues, sortes de bâtons cintrés à extrémités renflées, ont été recensées sur des sites du Néolithique moyen du Plateau suisse (Gonzenbach 1949, fig. 10/4 et 12/16 ; Waterbolk, Zeist 1991, fig. 133, 2-3). Une hotte en cuir retrouvée dans les mines de sel de Hallstatt est munie d'un levier de 40 cm qui agit en complément de la courroie de portage ajustée autour des épaules (Barth, Neubauer 1991, pl. 6). La pièce était placée en équilibre sur la clavicule. Le levier reçoit le fardeau sur l'extrémité munie de l'arrêt.

Le bras exerce une pression dans le sens vertical de façon à équilibrer la charge. La finition polie du façonnage permettait de préserver l'épaule du mineur. Cette interprétation basée sur la présence de la protubérance terminale aménagée, l'aspect cintré et le façonnage de la branche de Frêne, essence toujours utilisée pour la fabrication d'outil ou d'objet particulier, paraît plausible. Par contre, le manque d'éléments de comparaison médiévaux empêche d'être plus affirmatif.

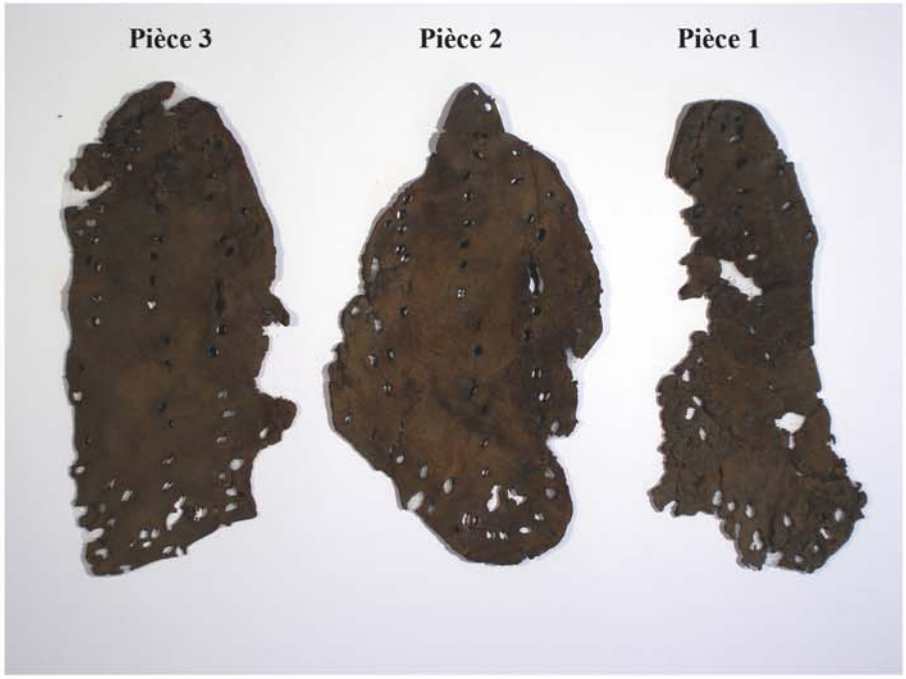
Les pièces en cuir

Le corpus de pièces en cuir de Fangeas se constitue d'un fragment de lanière, d'une pièce informe d'une vingtaine de centimètres de longueur repliée sur elle-même et d'un semelage. Les deux premières pièces ont été découvertes dans les remblais noirs de la Grande Fosse. Elles n'ont pas été étudiées car elles n'ont pas encore pu faire l'objet d'un traitement conservatoire. Elles sont apparues trop fragiles au moment de leur exhumation pour pratiquer des mesures et des observations techniques. Elles sont pour l'instant conservées humides dans des sacs hermétiques réfrigérés. La pièce informe peut avoir revêtu de multiples fonctions : fragment d'outre, de sac, de couverture, de cuir de garniture pour un coffre, de vêtement etc. Son traitement et sa restauration permettront d'identifier sa forme exacte et dans le meilleur des cas sa fonction.

Seul le semelage a été traité et restauré. Il a été découvert dans les remblais du Grand Puits (US 3/4, coupe 4). Il est constitué de trois pièces de cuir qui étaient cousues les unes sur les autres (*cf.* pl. 78, p. 866). La première pièce qui constitue la couche de cuir supérieure, mesure 15,7 cm de longueur et 4,4 cm de largeur à 3 cm de l'extrémité de la pointe. La forme de la pointe est conservée tandis que le talon (partie antérieure) est très dégradé. La pièce est incomplète. La coupe et la pointure ne peuvent pas être restituées. La pointe est étroite, droite, et de forme trapézoïdale avec les deux angles sommitaux arrondis. Ce modèle ne trouve pas de correspondance typologique dans le corpus de semelles découvertes à Paladru (Collardel, Verdel 1993, pp. 268 et suiv.). La semelle est percée de 43 trous répartis de façon hétérogène. Des concentrations de trous sont visibles surtout au niveau de la pointe, de l'extrémité antérieure et au centre de la pièce de cuir. Quatre trous ont conservé des fragments de lanières de cuir employés pour la couture.

PLANCHE N°78 : SEMELAGE EN CUIR RESTAURÉ (GRAND PUITS)

Les trois pièces de cuir assemblées



Cl. B. Ancel 2008

La couche de cuir intermédiaire mesure 16,5 cm de longueur, 9,4 cm de largeur dans sa partie la plus ample, 6,3 cm de largeur à 3 cm de l'extrémité de sa partie antérieure et 7 cm de largeur à 4 cm de la pointe. La partie antérieure est malheureusement incomplète. On décompte plus de 80 trous répartis de façon hétérogène au niveau des contours de la pièce et de son grand axe central. Les lanières de couture ont été conservées au niveau de 16 trous. La forme de la pointe est conservée. La semelle présente au bout de son extrémité arrondie une excroissance en pointe droite. Les pointes des semelles de Paladru présentent pour la plupart des excroissances (classes I et II) recourbées vers l'extérieur du pied (Colardelle, Verdel 1993, p. 269). La pointe apicale droite, absente de la collection de Charavines, a par contre été mise en évidence dans les semelles découvertes à Oslo. Ce type est considéré par les chercheurs scandinaves comme le plus précoce puisqu'il apparaît dès le IXe siècle pour être employé jusqu'au milieu du XIIe siècle (Schia 1977, p. 185 ; Colardelle, Verdel 1993, p. 270). Cette fourchette chronologique correspond parfaitement avec la durée d'exploitation du site minier.

La semelle inférieure mesure 17 cm de longueur. Sa largeur varie de 7 cm dans sa partie la plus ample à 6,2 cm à 2 cm de son extrémité antérieure coupée en biais. On décompte, comme pour la semelle de cuir précédente, 80 trous dont une douzaine a conservé les vestiges de la lanière de couture. La forme de sa pointe en amande rappelle celle des semelles de Paladru rangées dans la classe III qui regroupe les semelles sans cambrure avec le bout arrondi. Ce type n'a malheureusement pas pu être comparé avec les semelles découvertes dans d'autres sites. Il a, dans le cas de Fangeas, coexisté avec les deux modèles précédents.

Ce semelage était donc constitué de trois semelles de modèles différents cousues ensemble avec des fines lanières en cuir. La couture pratiquée entre les différentes couches de cuir est grossière : point sellier traversants ? Les arrangements de trous forment au niveau des semelles intermédiaires et inférieure trois alignements dans le sens de la longueur (du talon vers la pointe). Ils sont associés à des trous périphériques dont la répartition est hétérogène. Les semelles n'étant pas complètes, il est impossible de caractériser la forme des coutures entre la semelle et la tige. Au XIe siècle, la couture est réalisée très près du bord de la semelle (Colardelle, Verdel 1993, p. 270). Le type de semelage de Fangeas avec plusieurs semelles cousues de formes différentes n'est pas courant au Moyen Âge. Jusqu'au XVIe siècle, la cordonnerie se caractérise par la confection de chaussures à une seule semelle cousue ou retournée. Or, le même type de fabrication de semelage a été mis en évidence à Brandes en

Oisans (Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994). Les semelages de Brandes sont confectionnés avec plusieurs épaisseurs de semelles de formes différentes assemblées avec des cordelettes formant une épaisseur de cuir et de corde à la façon des espadrilles (communication M.-Ch. Bailly-Maître). Il semblerait que ce système, basé sur la récupération et l'empilement de semelles de cuir déjà usagées, permettait de protéger au mieux le pied du mineur soumis à rude épreuve sous terre : front de taille encore brûlants, cailloutis anguleux, plaquettes de roche coupantes etc. Les conditions de travail sous terre devaient forcément user rapidement les semelles de chaussures. Ces dernières étaient rafistolées de façon à épaissir le semelage, mais aussi à faire durer un maximum de temps le matériau.

Ce semelage appartient sans aucun doute à un modèle de chaussure très rustique adapté au travail minier, bien différent du modèle à empeigne très échancrée et décoration ajourée, découvert sur un plancher en bois du réseau minier de Brandes et daté du XIVe siècle qui a pu appartenir à un riche actionnaire en visite dans les travaux (Bonnot-Diconne 2008, p. 146).

- . -

Le matériel et les équipements en matériaux périssables de Fangeas sont relativement conformes aux impressions données par la documentation historique : omniprésence du bois pour la confection d'objets et d'outils de toutes sortes, coexistence de l'échelle et du *Kletterbaum* et utilisation probable du cuir pour les contenants en association avec le cuveau en bois. Les objets et les équipements reconnus qui accompagnent le mineur au quotidien sont le reflet d'un travail laborieux où domine l'effort : combinaison du portage à bras, à dos d'homme, et du treuillage avec une simple potence, écopage manuel et éclairage avec des torches en bois. Il est évident que les plus beaux objets ont été récupérés par les mineurs (cuveaux, coffres par exemple). L'utilisation du fer pour l'outillage et les équipements et probable, mais elle demeure secondaire au regard de la profusion du matériel ligneux. Comme au Fournel, tout le matériel recyclable a été récupéré. Nous avons juste retrouvé une agrafe en fer de menuiserie, ordinairement utilisée pour des assemblages, qui sous-entend une utilisation d'objets plus élaborés que ceux découverts jusqu'à présent.

III.4. MENUS BOIS ET DÉCHETS

L'étude du mobilier périssable ne serait pas complète sans l'analyse des menus bois et des macrorestes – tronçons de gaules, de perches ou de branches, de baguettes et fragments d'éléments refendus longitudinalement, copeaux – englobant 753 échantillons (*cf.* annexe, les tableaux d'inventaires 7, 8, 9, 10 et 11). Elle doit permettre d'améliorer notre perception des techniques de travail du bois et d'affiner la caractérisation des maillons de la chaîne opératoire. L'étude de ce matériel demeure partielle en raison du manque pour ne pas dire de l'absence totale de référentiels publiés pour l'époque médiévale. Nous avons tout de même cherché à dégager son intérêt et des perspectives d'études à travers les quelques résultats obtenus grâce à l'observation des plans de fente et aux mesures réalisées sur les déchets.

III.4.1. Absence de référentiel archéologique et expérimental pour l'époque médiévale

L'étude des déchets du travail du bois et des menus bois de refend englobant les macrorestes (copeaux, branchettes et brindilles), nécessite non seulement une bonne connaissance du matériau bois et de son travail, mais aussi un support de comparaison archéologique et expérimental. Ce support n'existe pas pour l'époque médiévale. Les déchets produits pour la confection du mobilier et du bois de construction dans les sites humides médiévaux n'ont pas fait l'objet d'une étude approfondie. Tel est le cas de Charavines où la richesse du mobilier ligneux façonné souvent parfaitement conservé a certainement limité ou exclu l'étude des pièces « informes », des débris et des chutes jugée laborieuse et inutile. Il faut donc se tourner vers les recherches archéologiques et expérimentales concernant des périodes plus hautes. L'étude des menus bois et des chutes de coupes et de refends du site Âge du Bronze de Champréveyres, éclairée par une approche expérimentale, est la plus aboutie (Pillonel 2007). Ce travail publié en langue française en 2007 est à l'heure actuelle un des seuls à fournir une base méthodologique de référence pour toute personne souhaitant

approfondir la question du travail du bois à partir des vestiges ligneux[129]. Les outils utilisés par les artisans du bois à cette période préfigurent les outils de l'époque médiévale, mais ils sont de types différents. Les divergences sont surtout liées au métal utilisé, à son forgeage et au mode d'emmanchement. Les techniques d'abattage et de débitage sont malgré tout très proches. Sans permettre une identification précise des outils utilisés puisqu'ils sont différents, l'étude comparative des déchets de Champréveyres et de Fangeas peut non seulement offrir des indications sur les modes de travail et les techniques de débitage et de façonnage mis en œuvre, mais aussi faire apparaître un type particulier de production recherchée. Cette approche est complétée par l'observation des déchets et des produits de refend obtenus lors de la construction expérimentale d'un chaland gallo-romain, dont quelques clichés sont publiés (Arnold 1992). En effet, les outils utilisés pour cette expérimentation sont très proches de ceux dont pouvaient disposer les mineurs de Fangeas : haches à tranchants plus ou moins larges et à joues plus ou moins longues, herminettes, scies.

À Champréveyres, le corpus de pièces non identifiées comme des déchets de fabrication et d'ajustage est constitué pour la majorité par des pièces fendues (15,4 %), refendues (43,9 %) et éclissées (éclatées) (8,3 %). L'observation des sections transversales a mis en lumière une systématique de débitage. Les pièces obtenues par fente radiale ou tangentielle sont fréquemment fendues secondairement sur un axe opposé produisant le plus souvent des sections quadrangulaires orientées la plupart du temps selon un axe radial (72,5 %). Les pièces à section triangulaires sont débitées par fente radiale. Les pièces pourvues d'aubier proviennent d'un débit en quart et les autres peuvent provenir de l'abattage d'un angle vif supprimé au niveau d'une partie anguleuse. Leur épaisseur et leur orientation indiquent qu'une majeure partie des éclisses a été produite lors de l'aplanissement ou de l'amincissement de planches débitées par fente radiale. Les éclisses à section quadrangulaire peuvent provenir de la refente tangentielle en quartier ou de la fente radiale de planches obtenues par fentes tangentielles. La séparation des déchets pouvant provenir de l'exploitation systématique par attaque périphérique et juxtaposition des plans de fente pour obtenir des matériaux de petites sections, et les produits recherchés, souvent comparables, n'a pas été possible (Pillonel 2007, p. 189). Le caractère répétitif des axes de débitage et des dimensions relevées a démontré que les matériaux refendus n'étaient pas de simples déchets, mais le

[129] Ce type de matériel a été très sommairement étudié pour des sites néolithiques et âge du Bronze anglais et allemands afin d'étayer un discours concernant le travail du bois (Müller-Beck 1965, pl. 28-29 ; Wyss 1976, fig. 42-43 ; Gollnisch-Moss 1999, p. 116 ; Fischer 1998, fig. 10-12 ; Orme, Coles 1983, fig. 16, 17, 45).

résultat d'une action volontaire pour la production de combustible (Pillonel 2007, pp. 186-189).

Les chutes de taille de bois de construction, contrairement aux menus bois de refend, présentent des coupes biseautées à leurs abouts et/ou au niveau de leur périphérie. Les plus volumineux déchets de taille sont caractérisés par des dimensions importantes (largeur moyenne comprise entre 4 et 9 cm et longueur moyenne entre 8 et 18 cm) et une forme polyédrique. Les sections sont rectangulaires, trapézoïdales, carrées et plus rarement triangulaires et hémisphériques. Les extrémités sont terminées par des biseaux simples ou doubles et par des coupes perpendiculaires. Sur la base de l'évaluation de la nature du support d'origine et l'observation des abouts, il est apparu que les supports travaillés étaient en majorité des bois de refend et que les déchets issus de l'entaillage et du calibrage des planches sont nombreux. Lors de la construction, les bois à section ronde ont rarement été retouchés en longueur. L'examen des déchets a donc démontré que le calibrage du bois d'œuvre par clivage ou façonnage particulier était réalisé sur un chantier extérieur. Au moment de la mise en œuvre des bois de construction, les reprises d'amincissement et l'ajustage seuls étaient réalisés *in situ* (Pillonel 2007, pp. 190-196).

Ces référentiels et cette base de réflexion méthodologique permettent d'interpréter en termes d'organisation du travail du bois sur le carreau de la mine avec ses modalités et ses produits, les données de l'étude partielle des menus bois et des déchets de Fangeas.

III.4.2. Première approche morphométrique des déchets et des menus bois de Fangeas

Les branchettes et les brindilles

Les menus bois et les déchets prélevés dans la Grande Fosse et le Grand Puits sont toujours associés à des branchettes et des brindilles arrachées au niveau de leurs extrémités ou parfois sectionnées. Ces vestiges ligneux ont toujours été découverts dispersés dans les remblais. Aucun dépôt homogène typique des clayonnages, couvertures ou paillasses, composé presque uniquement de branches, branchettes et brindilles, n'a été retrouvé.

Les branchettes et les brindilles provenant de la fosse du puits ou de la Grande Fosse ont un diamètre maximal majoritairement compris entre 1 et 3 cm. Les points dispersés au-delà de 5 cm de diamètre, très minoritaires, sont des branches à proprement parler. Les points dispersés entre 0 et 1 cm de diamètre sont à classer dans la catégorie des brindilles qui ne représente que 34,5 % du corpus (fig. n°42, p. 873).

Le corpus du Grand Puits dont la dispersion des points de diamètres est très proche de celle du corpus de la Grande Fosse a fait l'objet d'une étude morphométrique plus poussée (fig. n°43, p. 873). Les longueurs des branchettes et brindilles sont majoritairement comprises entre 20 et 40 cm (53 %). 24 % des branches présentent au moins une de leur extrémité coupée en biseau ou à angle droit. 72,2 % présentent des arrachements ou des cassures à leurs extrémités. Seulement 1,8 % des branchettes sont appointées et 7,4 % sont fendues.

Une partie des branches aux extrémités arrachées ou cassées peut provenir de leur élagage naturel ou de leur arrachage accidentel des arbres situés aux abords du site. Cette hypothèse est alimentée par la présence dans les remblais de dépôts ponctuels de feuilles et de cônes de Mélèze et de graines de Pin cembro. Or, il est facile de sectionner intentionnellement par arrachage manuel une branche dont le diamètre est inférieur à 3 cm. Les branches ne présentant pas de traces de coupes à leur extrémité ont donc très bien pu faire l'objet d'un abattage par arrachage. Ce corpus de branche peut alors provenir de trois types de production : branchage pour le tressage de panneaux clayonnés, pour la production de combustible d'allumage, ou encore pour assainir des zones humides ou boueuses.

Les brindilles avec un diamètre inférieur à 1 cm sont peu utiles pour l'architecture. Leur présence paraît accidentelle plutôt que liée à une stratégie d'exploitation. En effet, leurs proportions sont trop faibles pour caractériser une gestion des brindilles pour le combustible d'allumage. Par contre, les branchettes avec un diamètre compris entre 1 et 3 cm peuvent avoir été récoltées pour la confection de panneaux clayonnés, de couvertures ou de calfatages. Mais, les données archéologiques ne valident pas une telle hypothèse. Par contre, comme les remblais noirs et le comblement superficiel du Grand Puits proviennent de déblais et de déchets remobilisés pour clore les travaux, ils peuvent très bien contenir des débris de structures en branchages détruites. Enfin, on ne peut pas exclure qu'une part plus ou moins importante de ces branchages était destinée à confectionner du petit bois d'allumage.

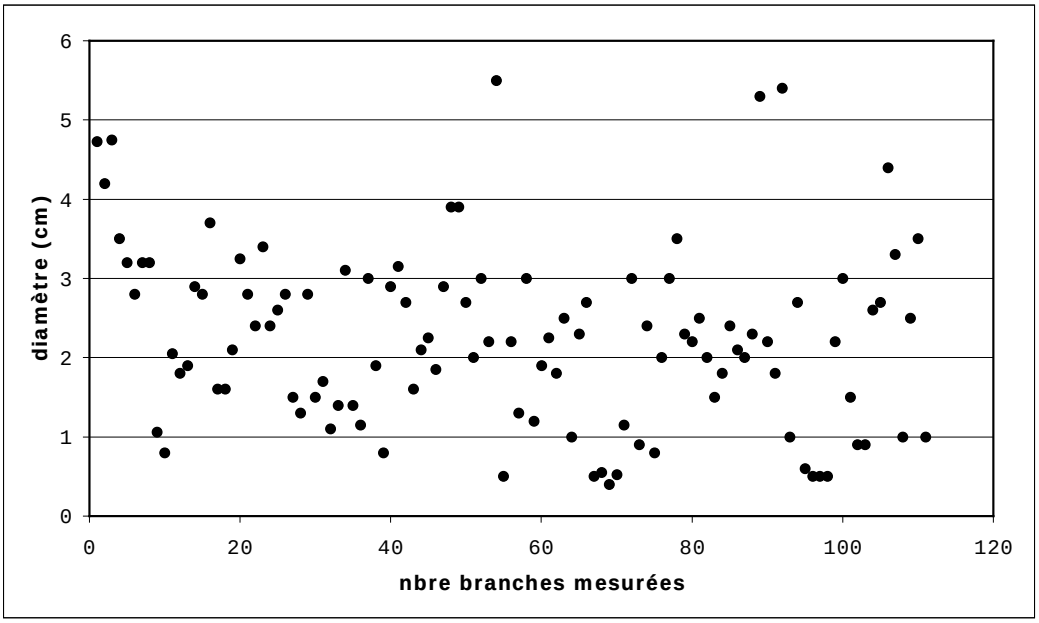


Fig. n°42 : Diamètres en cm des branches provenant de la Grande Fosse et du Grand Puits (un point = un échantillon).

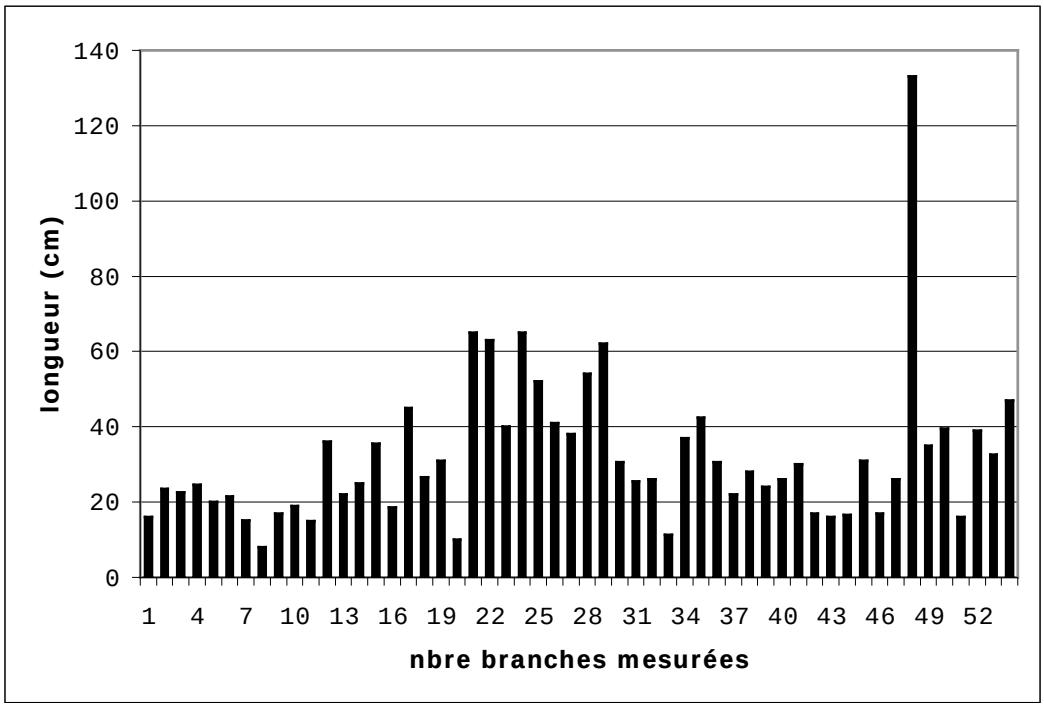
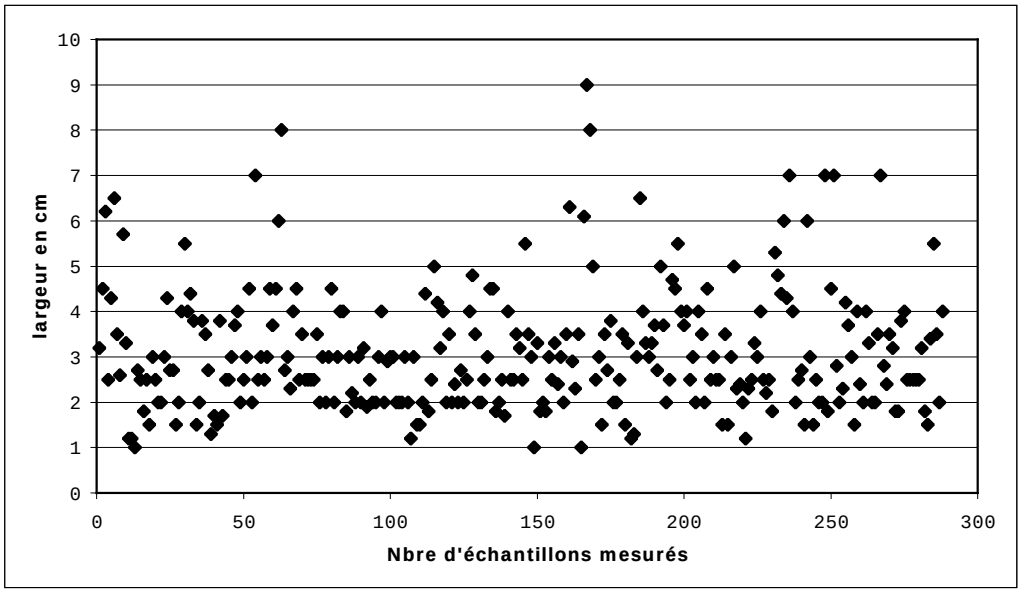


Fig. n°43 : Longueurs en cm des branches provenant de la fosse du Grand Puits (un barre = un échantillon).

Les déchets du travail du bois

Les déchets et les menus bois provenant de la Grande Fosse et du Grand Puits sont traités distinctement car ils ne proviennent pas du même contexte de dépôt et du même fait archéologique. Les 169 échantillons du Grand Puits sont issus de la portion de l'unité 3 située entre les coupes 1 et 2 (*cf.* annexe, tableau 9). Le reste des échantillons provient de la Grande Fosse. Une première série de 177 pièces a été prélevée dans la couche riche en bois qui tapissait le sol rocheux au niveau de zone d'entrée et sur le plancher (*cf.* annexe, tableau 10-11). Une seconde série de 361 pièces provient des remblais noirs (*cf.* annexe, tableau 8). La grande dispersion des menus bois et des déchets dans les remblais noirs rend délicate une interprétation compartiment par compartiment ou suivant les variations de profondeur. La réflexion se limite à une approche générale regroupant pour cette ébauche d'étude technomorphologique les différentes phases d'exploitation. Parmi ce corpus, seul un échantillon de 46 pièces exceptionnelles ou significatives d'un type a bénéficié d'une détermination xylologique (*cf.* annexe, tableau 7). À l'intérieur de cet échantillon, 15 pièces sont des déchets de travail du bois et le reste est composé de fragments de branches et d'objets particuliers décrits *supra.*

L'ensemble des pièces fendues, refendues et éclissées, prélevées dans les remblais noirs ont fait l'objet d'une étude morphométrique des sections (largeur et épaisseur) (fig. n°44, p. 875). Les pièces présentant des coupes apicales ont été jointes au corpus car elles sont très secondaires. Elles sont pour la plupart sous la forme de sections quadrangulaires ou d'éclisses et plus rarement de sections triangulaires.



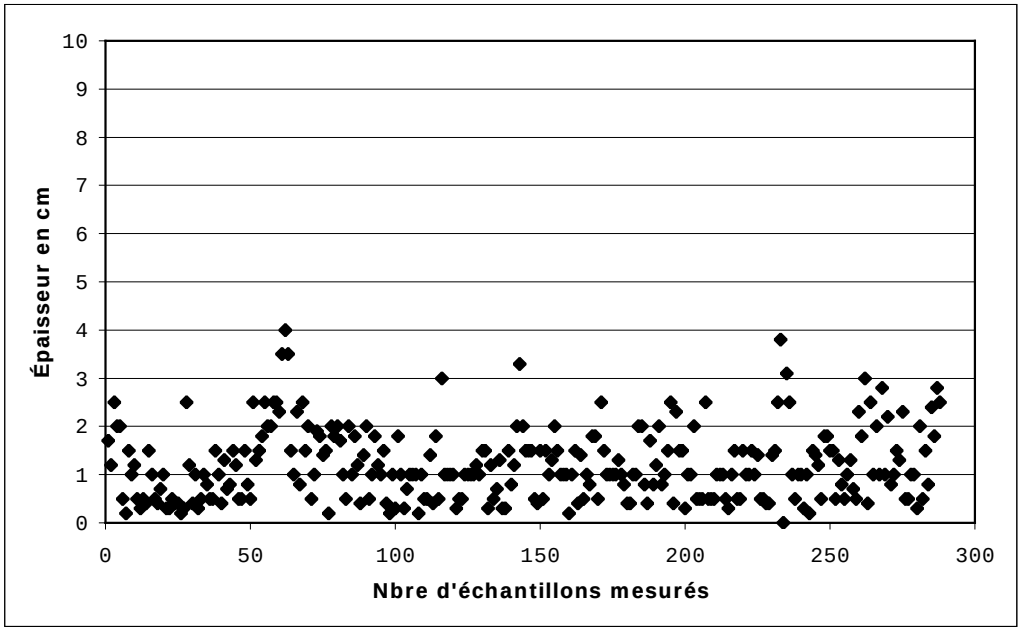


Fig. n°44 : Graphique du haut : largeurs en cm des menus bois et des déchets provenant des remblais noirs ; Graphique du bas : épaisseurs en cm des menus bois et des déchets provenant des remblais noirs (un point = un échantillon).

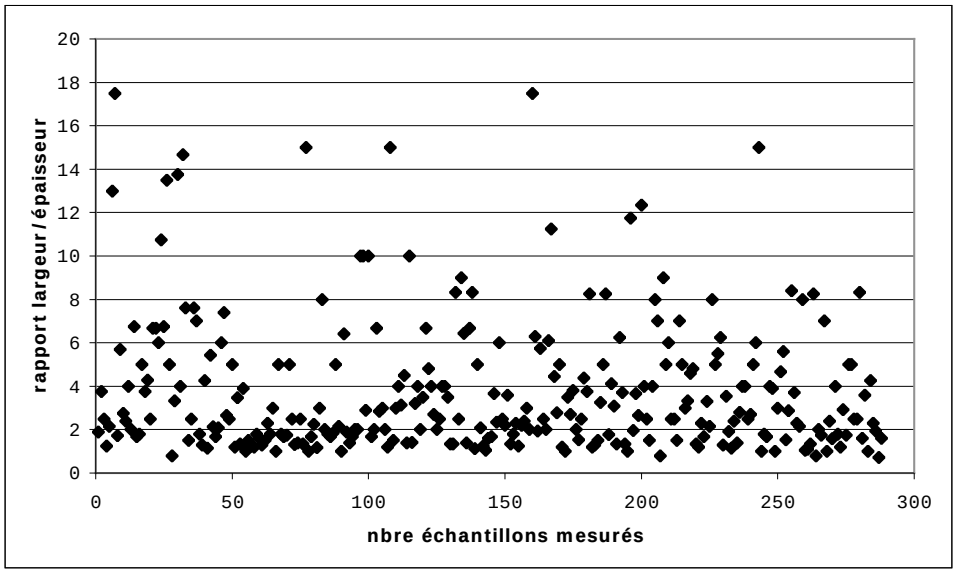


Fig. n°45 : Rapport largeur en cm / épaisseurs en cm des menus bois et des déchets provenant des remblais noirs (un point = un échantillon).

Seulement 16,6 % des pièces mesurées présentent une largeur supérieure à 4 cm (fig. n°44, p. 875). Toutes les autres pièces du corpus ont une largeur comprise entre 1 et 4 cm. 27,7 % d'entre elles ont une largeur comprise entre 1 et 2 cm. Plus de la moitié des pièces, soit 55,5 % ont une largeur comprise entre 2,1 et 4 cm. En moyenne, la largeur des pièces est de 3,09 cm ± 1,35 cm. On observe donc une standardisation des largeurs. La moyenne a probablement été artificiellement abaissée avec la prolifération des petites sections pouvant provenir de la refente longitudinale accidentelle de pièces plus larges. En effet, lors de la fouille, nous avons remarqué la fragilité de certaines pièces de refend, les plus fines notamment, qui pouvaient parfois se briser en deux voire en plusieurs morceaux dans le sens de largeur et diminuer la section de moitié ou des trois quarts.

Les épaisseurs des pièces fendues, refendues et éclissées, sont comprises très majoritairement entre 0 et 2 cm (fig. n°44, p. 875). 10 % des pièces ont une épaisseur supérieure à 2 cm. 35,4 % des pièces ont une épaisseur inférieure à 1 cm et 54,6 % ont une épaisseur comprise entre 1 et 2 cm. En moyenne, l'épaisseur des pièces est de 1,19 cm ± 0,73 cm. Il existe donc, comme pour la largeur, mais de façon plus prononcée, une standardisation des épaisseurs et cela quel que soit le mode de débit (longitudinal radial, tangentiel ou oblique). Le rapport de la largeur sur l'épaisseur permet d'apprécier ce phénomène de standardisation avec une concentration forte des valeurs entre 1 et 3 (fig. n°45, p. 876). L'étalement des valeurs du rapport au-delà de la barre des 4 s'explique par la présence de pièces plus larges et extrêmement fines.

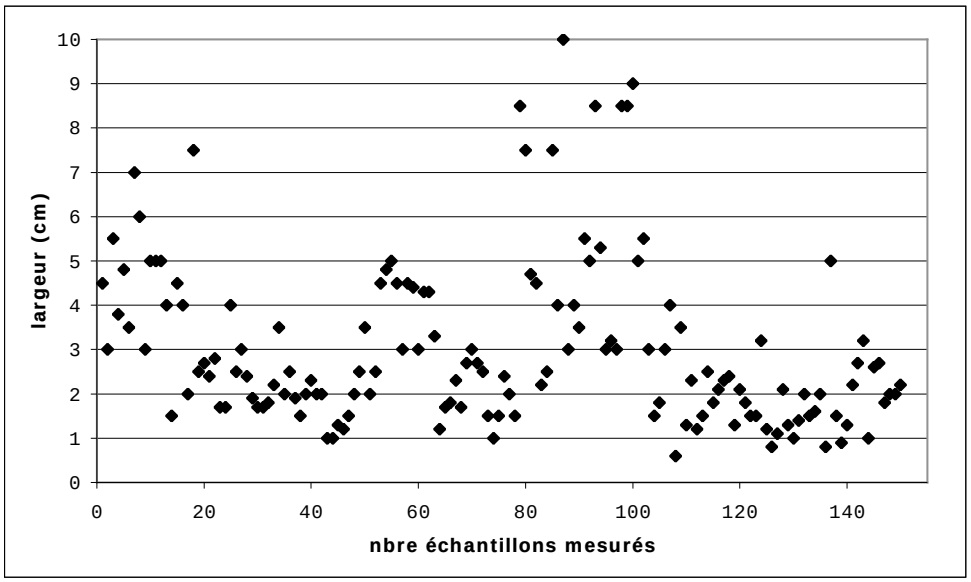


Fig. n°46 : Largeurs en cm des menus bois et des déchets provenant de la couche tapissant le sol rocheux à l'entrée et sur la margelle de la Grande Fosse.

La comparaison de ces données avec les résultats obtenus à Champréveyres révèle que les pièces de Fangeas fendues, refendues et éclissées, sont en moyenne de sections moindres. L'épaisseur moyenne est notamment deux fois moins importante (2,6 ± 0,9 cm). Cette différence peut s'expliquer par la différence du type de produit recherché.

Il paraît évident qu'une grande partie du corpus étudié provient du débitage de bois de feu et dans une moindre mesure du débit de long des pièces de construction. Mais, comment différencier les déchets de débit de la production de combustible ? L'étude des grands bois a démontré que les pièces fendues et refendues étaient dominantes et que seule une petite partie semble destinée au bois de feu. En partant de ce postulat, on peut supposer un calibrage du menu bois pour le fourrage des bûchers d'abattage. Le reste des pièces, notamment celles qui présentent un rapport élevé entre la largeur et l'épaisseur pourrait provenir du débitage des pièces planes. La faible épaisseur moyenne des pièces de ce corpus en comparaison à celle de Champréveyres peut s'expliquer par la différence du produit désiré, en l'occurrence du bois d'allumage à Fangeas et du bois de feu à Champréveyres. Les données anthracologiques confortent cette hypothèse. À Fangeas, elles ont démontré l'extrême rareté des branches, des brindilles et des bois de feuillus qui sont plus productifs en branchages parce qu'ils rejettent de souche ou peuvent être entretenus en taillis. Le bois d'allumage et de lançage du feu était donc produit principalement à partir de la refente de grosse section.

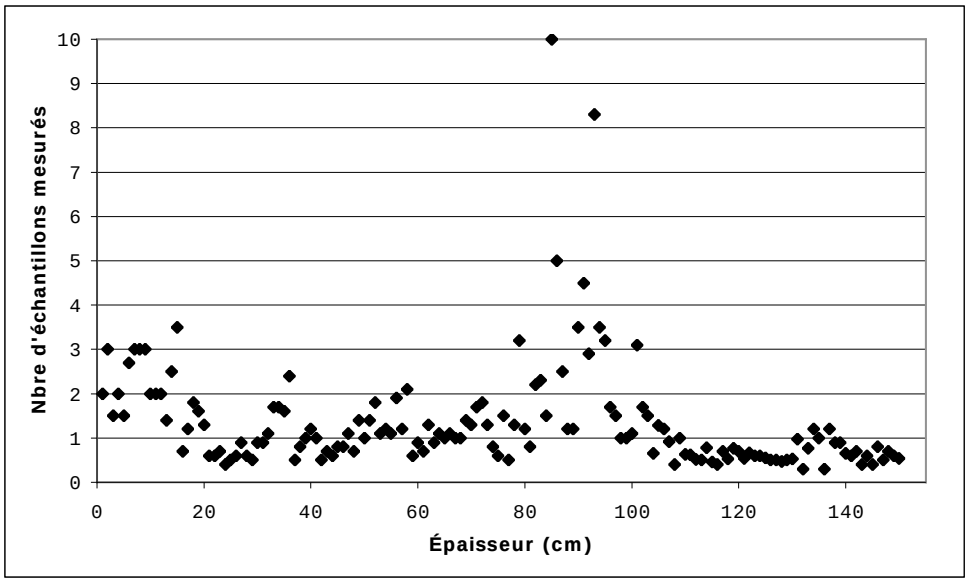


Fig. n°47 : Épaisseurs en cm des menus bois et des déchets provenant de la couche tapissant le sol rocheux à l'entrée et sur la margelle de la Grande Fosse.

Les résultats morphométriques obtenus pour les pièces prélevées sur le sol rocheux situé au niveau de l'entrée et de la margelle de la Grand Fosse sont très proches (fig. n°46-47, p. 877-878). On note une concentration des largeurs entre 1 et 3 cm. La largeur moyenne des pièces est de 3,02 ± 1,42 cm. La dispersion des points au-delà de 4 cm et surtout dans la tranche comprise entre 5 et 10 cm est liée à la présence de pièces de refend débitées au niveau de nœuds. Comme pour les bois des remblais noirs, les épaisseurs sont très majoritairement comprises entre 0 et 2 cm avec une très forte concentration des points entre 0 et 1 cm. L'épaisseur moyenne est de 1,36 cm ± 0,76 cm. Comme pour les largeurs, l'augmentation de l'épaisseur moyenne par rapport aux pièces des remblais noirs est liée à la présence de nombreuses pièces de refend débitées au niveau de nœuds.

Les déchets de fabrication et d'ajustage reconnus dans le corpus de pièces du Grand Puits et de la Grande Fosse sont peu nombreux. On note la présence de pointes de petites dimensions provenant de la zone apicale de piquets sectionnée secondairement (4 pièces pour la Grande Fosse et 3 pièces pour le Grand Puits). Les pointes RN3 et RN4 présentées plus haut dans le paragraphe consacré aux chevilles sont caractéristiques. La pièce FP1, un tronçon de rondin présentant une longueur de 17,5 cm et un diamètre de 11,5 cm, est une chute de segmentation d'un poteau ou d'un étai. Elle se caractérise par un biseau double à chacune de ses extrémités, caractéristique du tronçonnage des pièces de sections rondes. En effet, les

coupes à 90° étant plus difficiles à exécuter en percussion lancée, les coupes obliques étaient plus souvent pratiquées. Cette pièce est unique. Elle tendrait à démontrer la rareté des retouches en longueur des pièces d'étayage lors de leur mise en place dans les mines. Or, compte tenu qu'une grande partie des rejets a pu être employée pour alimenter les feux d'abattage, il ne faut pas perdre de vue que les vestiges de taille retrouvés ne sont pas représentatifs de toutes les opérations conduites sur le chantier ou dans la mine.

Une série de déchets de taille correspond au tronçonnage de planches de dosses pour rectifier leur longueur avant la pose. Les traces de coupes et l'orientation des sections indiquent un plan de coupe légèrement oblique. Les longueurs de découpe sont comprises en 38 et 43,5 cm. Les autres chutes de taille à sections quadrangulaires et plus rarement triangulaires se terminent le plus souvent par des biseaux simples et plus rarement par des coupes perpendiculaires, à biseaux doubles ou pyramidaux. Il faut souligner que les coupes à 90° sont dépourvues de macrotraces comme cela a déjà été souligné par D. Pillonel pour les chutes de tailles de Champréveyres (Pillonel 2007, p. 194). Quelques rares pièces présentent des entailles sur leur longueur, caractéristiques de la réduction du volume d'un bois par enlèvement de blocs (RN19). La majeure partie de ces pièces identifiées comme des déchets de taille proviennent de bois refendus. En l'état actuel de l'analyse, il n'est pas possible de caractériser la forme du support d'origine. De plus, il est difficile de différencier les chutes provenant des opérations de tronçonnage et d'ajustage d'une coupe dont les résidus sont de forme très proche. Les orientations des sections étant généralement tangentielles et radiales, la plupart de ces chutes doivent provenir du dégrossissage de pièces refendues. Une interrogation demeure pour les petites chutes et les copeaux qui peuvent provenir d'un tronçonnage éclat par éclat (ajustement des longueurs) ou de la reprise d'épaisseur d'une pièce refendue.

Le temps imparti à cette recherche, la découverte tardive de ces vestiges, et l'absence de référentiels archéologiques et expérimentaux, ne nous ont pas permis d'achever cette étude. Pour qu'elle soit complète et pour préciser nos interprétations concernant les pièces de refend et les éclisses (minoritaires) issues du calibrage du combustible et des pièces planes, il faut faire un classement des pièces par forme de section (ronde, fendue, refendue, éclissée) et par orientation de la section (radiale, tangentielle, oblique). De plus, il faut compléter l'observation des sections transversales et l'enregistrement des longueurs pour préciser le mode de débitage. Enfin, pour compléter l'approche des modes de gestion forestière pour la mine, il faut tenter une évaluation du diamètre des bois d'origine, réaliser la détermination

xylologique de toutes les pièces et comparer les proportions des taxons avec celles qui ont été obtenues pour les charbons de bois issus du combustible et les grands bois de construction et d'étayage. Les chutes de tailles des bois de construction et d'étayage devront être traitées avec beaucoup d'attention car leur étude permettrait de préciser les étapes du travail de façonnage réalisé sur le carreau de la mine. Nous préconisons un classement des déchets en fonction des coupes apicales, la forme de la section et son orientation. Il devra être accompagné d'une évaluation du calibre du support d'origine et de la détermination xylologique de toutes les pièces. Pour compléter l'étude des chutes de taille, il faudra lui adjoindre l'étude morphométrique des copeaux.

Cette approche est prévue dans le cadre de la poursuite des opérations à Fangeas en 2010.

III.5. LES MAILLONS DE LA CHAÎNE OPÉRATOIRE TECHNIQUE DU BOIS À FANGEAS AUX XIe-XIIIe SIÈCLES

Ébauchée avec l'étude de la documentation archéologique et historique acquise jusqu'à présent, l'histoire de la forêt et de ses usages miniers prend une dimension nouvelle avec l'étude morpho-technologique des bois de Fangeas. Elle permet de s'introduire dans le quotidien des mineurs aux XIe-XIIIe siècles, dans la forêt, sur le carreau de la mine et dans la mine. Des opérations apparemment aussi simples que l'abattage, le transport ou le débitage d'un arbre sont d'une importance capitale. Elles relèvent de la maîtrise de techniques et d'un véritable savoir-faire. Jusqu'au XIIIe siècle, les sources écrites suggèrent que ce sont surtout des hommes de la campagne et non des artisans spécialisés qui travaillent dans les forêts de montagne pour y prélever et y façonner les matériaux nécessaires à la construction de l'habitat et à l'aménagement du territoire (ponts, barrières, poteaux, goulottes, etc.). Pour autant, il ne faut pas exclure la polyvalence des hommes qui travaillent la terre et élèvent les troupeaux. Certains ont pu, parallèlement à leur activité agropastorale, se spécialiser très tôt dans un artisanat du feu ou du bois, et par conséquent dans un artisanat minier. À la lueur de données techniques précises, parfaitement cernées par la chronologie, il est enfin possible de caractériser le niveau de technicité, et les modalités du « travail forestier » de mineurs exploitant au coeur de la haute montagne un gisement de métaux précieux de faible envergure.

III.5.1. De la forêt au chantier

L’acquisition

Sélection des bois et marquage

La première étape qui précède l’abattage à proprement parler est le choix des arbres destinés à la coupe. Les diamètres sélectionnés sont variables suivant les besoins des mineurs. Ils ont pu être évalués pour seulement une partie des bois exhumés : les rondins, les dosses, les planches et les quartiers. Les bois destinés à être utilisés bruts pour l’étayage et la construction, sont choisis parmi des peuplements plutôt jeunes avec des individus âgés d’au moins 20-25 ans et des peuplements plus matures avec des individus âgés de 45-50 ans. Les bois destinés au débitage de long pour la production de pièces planes (planches, dosses) utilisées pour la construction et l’étayage sont choisis quant à eux parmi des peuplements âgés et matures avec des individus atteignant au moins 75 à 100 ans. Mais ces derniers ne constituent qu’une petite partie des boisements exploités. Les bois destinés à la chauffe (quartiers courts) sont débités plutôt dans des bois âgés de 75-100 à 150-200 ans. Ce choix pour le combustible des feux d’abattage est en partie confirmé par l’analyse anthracologique. Comme il n’est pas toujours possible d’évaluer le diamètre des arbres à l’origine des charbons de bois récoltés dans les remblais, on sous-estime sûrement l’exploitation de peuplements âgés pour l’activité d’extraction. Ces données, qui devront être impérativement étoffées dans les années à venir, permettent néanmoins de se faire une idée sur un échantillon des boisements exploités et sur les modalités de leur exploitation.

Dans une logique d’exploitation forestière, pour une coupe, on choisit les vieux arbres, ceux qui dépérissent et ceux qui sont trop serrés. Certains textes sud-alpins mettent en évidence à partir de la seconde moitié du XIVe siècle la multiplication des limitations de coupes avec la désignation des bois qu’il était permis d’abattre, supposant la préservation des *baliveaux pour la reproduction et l’abattage des individus arrivés à maturité (Bernardi 2008a, p. 51). Les mineurs de Fangeas ont exploité de façon limitée les arbres matures, voire très âgés, pour la construction (étayage, équipements), pour limiter le travail de transformation. Les bois jeunes utilisés bruts pourraient provenir d’éclaircies pour favoriser le

développement des plus beaux bois. Or, il semble que le bois de chauffe pour les feux d'abattage provienne surtout de vieux arbres, plus rentables que les jeunes pour produire les grandes quantités de combustible nécessaire pour alimenter les foyers. Apparemment pas conforme à certains préceptes de gestion forestière, cette stratégie répond surtout à un souci d'optimiser les rendements de la mine.

D'après l'ethnographie et les sources écrites modernes et contemporaines, les bois réservés ou destinés à une coupe sont martelés ou marqués. Cette opération est généralement pratiquée « hors sève », c'est-à-dire en hiver. L'écorce de l'arbre est entamée à la hache ou avec la hachette du marteau de martelage jusqu'à l'aubier, formant un *blanchis ou flachis, sur lequel une empreinte est appliquée au moyen d'un poinçon. Deux marques peuvent être exécutées : l'une à la base du tronc, là où le bûcheron doit réaliser l'abattage, et l'autre, à hauteur de bras (environ 1,30 m) (Nicolas 2008b, p. 63). Concernant les habitudes pour le bois de mines, les textes indiquent que dans certaines régions, comme à Allevard, son abattage était réalisé librement – le martelage n'était *a priori* pas nécessaire – tandis que dans d'autres, les bois destinés à la mine étaient réservés dans les forêts seigneuriales ou royales. Quoi qu'il en soit, les forêts faisaient l'objet d'une gestion raisonnée pour l'industrie minière, attestée pour la mine du Fournel, impliquant une sélection des quartiers de bois à couper ou des bois à abattre pour l'étayage des fosses ou la production de combustible. Dans ces conditions, il est plausible que les bois préalablement sélectionnés étaient marqués.

Le corpus de bois découverts à Fangeas ne présente pas de telles marques à proprement parler. On ne peut pourtant pas totalement exclure leur disparition après le blanchissage ou l'équarrissage grossier de la bille, ou avec l'enlèvement de l'écorce si les entailles n'étaient pas profondes au point de mordre le bois. On note pourtant une exception, mais qui est incertaine. La pièce GF 53 – un tronc de 1,55 m de longueur – a conservé sur son fût des marques de coups de hache donnés perpendiculaires au fil du bois, qui peuvent être interprétées comme les vestiges d'une opération de marquage de type marque à la « griffe ». Elles sont en effet trop localisées pour correspondre à des marques de billots (Pillonel 2007, pp. 209-210). Cette pièce difficile à interpréter par manque d'éléments de comparaison, a aussi été classée par prudence et réserve dans la catégorie des bois à entailles et encoches. D'autres rares troncs portent des traces d'outils – des enlèvements circulaires d'une lamelle d'aubier épais de quelques millimètres – indiquant plus certainement une opération d'écorçage pratiquée jusqu'à l'aubier à coup de hache. Les marques repérées ne sont en effet pas régulières et peuvent se trouver à différentes hauteurs sur la circonférence du tronc. Elles

sont le résultat d'un travail à la cognée dont la forme étroite de son tranchant en fer est adaptée au blanchissage.

Le bois de mine est normalement mis en œuvre presque immédiatement après l'abattage (Maggiori 2001, pp. 20-21). Ici, la question est de déterminer la saison d'abattage des bois exhumés à Fangeas de façon à étayer l'hypothèse d'une exploitation saisonnière de la mine et de préciser les choix opérés par les mineurs. Les bois échantillonnés pour la dendrochronologie ont rarement conservé leur écorce dont seule la présence détermine de façon certaine la saison d'abattage. Or, l'écorce a souvent été conservée pour la confection de bois d'étayage. Mais, elle s'est naturellement détachée des bois durant leur séjour en milieu humide. Il est donc probable pour la plupart des bois non refendus que le dernier cerne de croissance observable soit aussi le dernier cerne conservé. Les bois pour lesquels cette détermination a été possible ont été abattus en automne-hiver (bois final). Ils constituent pour l'instant un corpus qui n'est pas statistiquement fiable, mais à partir duquel on peut dégager quelques pistes de réflexion. En haute montagne, autour de 2000 m d'altitude, cette période de dormance s'étend de fin octobre-début novembre à fin mai, c'est-à-dire sur sept mois (Ozenda 1994, p. 179). En se basant sur le postulat d'une mise en œuvre presque immédiate des bois dans la mine, après leur abattage et leur transformation, les mineurs auraient travaillé à la mine de Fangeas durant la « saison morte ». Cette donnée correspond parfaitement au mode d'exploitation traditionnelle du bois d'œuvre abattu de préférence durant la période hivernale lorsque les arbres ont moins de sève. Les textes médiévaux hauts alpins et provençaux ne cessent d'exprimer cette exigence (Bernardi 2008b, pp. 69-70). La sève peut nuire au travail du bois et elle favorise les attaques fongiques et la prolifération des insectes saprophages. Au Moyen Âge, et bien avant comme le révèlent les traités antiques ayant trait au travail du bois, notamment le *De architectura* de Vitruve (Ier siècle av. J.-C.), la saison n'était pas la seule considérée à avoir une influence sur la montée et la descente de la sève : il y avait la lune (Bernardi 2008b, pp. 69-70). On préconisait en général de couper les bois à la « lune vieille » ou descendante. La tradition provençale est plus subtile sur ce point. Il est recommandé d'abattre les feuillus à la lune descendante et les conifères à la lune montante (Bernardi 2008b, p. 70). Mais, rien ne permet de supposer que les mineurs respectaient scrupuleusement ce principe régional qui n'est pas fondé. On peut juste souligner l'existence de cette croyance.

Étant donné que les bois de mine sont exposés à certaines attaques fongiques, un taux faible de sève ne pouvait que renforcer leur longévité. Un abattage des bois durant la saison

morte est donc avantageux. Si les mineurs respectaient les principes du travail du bois de mine dès cette période (mise en œuvre de bois « verts »), la reconnaissance de la saison d'abattage des arbres est un bon moyen d'affirmer l'hypothèse d'une exploitation saisonnière de la mine, insérée dans le calendrier des activités agropastorales. Cette hypothèse sera peut-être validée avec l'acquisition d'un corpus statistiquement plus fiable. En outre, la présence plus ou moins abondante de sève dans le bois n'est pas le seul paramètre à faire varier sa putrescibilité, il y a aussi l'essence. Suivant la norme française actuelle qui a établi une échelle de 1 à 5 du degré de putrescibilité des espèces exposées aux intempéries – de très durable (classe 1) à non durable (classe 5) – le bois de chêne est considéré comme durable (classe 2), tandis que les résineux sont considérés comme faiblement durables (classe 4). Aussi, les exemples archéologiques publiés et celui des mines de Fangeas révèlent une utilisation récurrente des résineux et particulièrement de *Larix-Picea* (91,1 % des grands bois contre 8,9 % pour *Pinus cembro*). Ce choix doit être en grande partie imputé aux disponibilités environnementales, facteur prédominant sur le choix des espèces. Mais la nette surreprésentation de *Larix-Picea* peut aussi s'expliquer en termes de choix prioritaire de l'essence pour ses qualités intrinsèques car le Mélèze est réputé dans les régions de montagne pour son imputrescibilité. Il est utilisé pour les ouvrages extérieurs exposés aux intempéries, tout particulièrement les couvertures en bois. De plus, la durabilité moyenne à faible des résineux par rapport au Chêne, a pu être en partie compensée par la faible contenance en sève des bois abattus à la saison morte, et le changement des pièces défectueuses. Mais encore faudrait-il pouvoir déterminer avec précision l'âge de bois.

Préparation de l'arbre

La seconde étape composée de l'ébranchage et de l'éhoupage – ou écimage – consiste à débarrasser l'arbre de ses branches et de sa houppe à la hache, à la hachette, ou à la cognée. Ces opérations pratiquées certainement depuis fort longtemps sont mentionnées tardivement dans la documentation écrite médiévale alpine. On les trouve énumérées – *exbranchare, excimare* – dans un embannement prononcé par la communauté de Briançon en 1492[130]. Elles sont facultatives pour les arbres de faibles diamètre et hauteur (*cf.* par exemple GF 3). Par

[130] A.D.H.A., A.C. Briançon DD 4, 20 mars 1492.

contre, elles sont obligatoires pour les sujets de futaies. L'ébranchage peut être réalisé jusqu'à mi-hauteur pour les jeunes arbres. Cette opération périlleuse pour les grands arbres était généralement réalisée par un bûcheron élagueur-éhoupeur. À Fangeas, les troncs de grandes dimensions[131] qui ont subi d'autres transformations importantes n'ont malheureusement pas conservé les traces de ce maillon de la chaîne opératoire. Les autres troncs abattus par les mineurs de Fangeas dont le diamètre est surtout compris entre 5 et 12 cm sont tous ébranchés et n'ont pas été éhoupés à l'exception peut-être des troncs les plus forts[132]. Les traces d'arrachement observées à la tête de la plupart des troncs ayant conservés des traces d'abattage[133] peuvent indiquer que la cime ou la houppe des arbres abattus se soit brisée ou moment de leur chute. Les coupes d'élagage ou d'ébranchage sont en général pratiquées au ras de la bille. Dans ce cas, elles ont pu être opérées avec une hache ou un émondoir. Les petites branches qui sont coupées à quelques ou plusieurs centimètres du fût présentent des coupes en biseau simple caractéristique de l'usage de la serpe. L'emploi de cet outil et de l'émondoir est assez étonnant. Ce travail pourrait être réalisé très facilement à la scie (Pillonel 2007, p. 53).

Toutes les branches conservées sur les troncs[134] sur plusieurs centimètres de longueur ont manifestement rempli une fonction particulière et indiquent que les bois à abattre n'étaient pas tous complètement ébranchés en vue d'une utilisation. Par exemple, les fourches situées dans le prolongement du tronc pouvaient s'avérer très intéressantes pour la réalisation d'assemblage.

Rien ne permet d'affirmer que ce travail d'ébranchage est strictement pré- ou *post*-abattage. Des traces d'usures au niveau des nœuds pourraient indiquer un ébranchage avant déplacement. Mais, aucune trace remarquable n'a pu être identifiée. Les billes ont manifestement été transportées à l'échelle du versant ou du vallon sur de courtes distances. Les bois abattus à Fangeas sont pour la plupart de jeunes troncs ne présentant pas de branche charpentière, difficile à abattre lorsque l'arbre est toujours sur pied, et dangereuse lors de leur chute. La pièce GF 13b, la seule à présenter un départ de branche charpentière, indique que cette dernière n'avait pas été coupée à ras avant l'abattage. Sa fonction est difficile à

[131] GP poutres 1, 2 et 3 et GF 21.

[132] GF 28, GF 73 par exemple.

[133] GP 5, GF 7, GF 8, GF 22 par exemple.

[134] GF 25, GF 65, GP 17 et GP 21.

déterminer. Mais, il semblerait que cette pièce ait été destinée à alimenter les feux d'abattage puisque le tronc est découpé en quartier. La majorité des branches élaguées ou ébranchées, apparemment de petites tailles au regard du faible diamètre des troncs abattus et des départs de nœuds, ont été abattues d'un seul coup d'outil (on ne note pas de coups multidirectionnels). Elles ont pu servir pour le bois de feu – ramilles, branchettes et rondins – tandis qu'une autre partie a pu servir pour la confection d'étais, de perches, piquets, chevilles, etc.

Abattage

L'abattage englobe l'ensemble des opérations nécessaires pour provoquer la chute de l'arbre. C'est normalement le travail du bûcheron ou du fustier[135] (ou fûtier). La chute peut avoir été provoquée naturellement lors d'intempéries (vent, tempête, foudre, ravinements) ou d'avalanches. Mais, l'utilisation de *chablis ou de *volis pour le bois de mine à Fangeas est impossible à déterminer avec certitude. Cet usage n'est pas exclu car le site est en haute montagne où la chute accidentelle d'arbre est fréquente. Le corpus de bois étudiés n'a pas permis d'identifier de *culée ou de souche à proprement parler. La reconnaissance de ces parties de l'arbre permettrait d'identifier l'utilisation de bois abattus naturellement. Seule la coupelle de lampe taillée dans une souche (ou une loupe) permettrait d'avancer une telle hypothèse. Il existe aussi une incertitude pour le bois GF 84 qui paraît avoir été débité dans la culée d'un arbre. Quoi qu'il en soit, les bois abattus par la foudre ont certainement été exclus pour la confection des boisages (étais, poteaux), car ils sont généralement fragilisés au cœur et résisteraient mal aux efforts de compression longitudinale[136] exercés par la roche. Mais, ils peuvent avoir été utilisés comme bois de feu. Dans ce cas, notre chance de les repérer de façon fiable est très faible.

Les techniques d'abattage sont différentes pour les jeunes tiges, les troncs de faible diamètre et les troncs de fort diamètre. Cette opération est réalisée à la hache ou à la cognée

[135] Dans les pays de langue d'oc, les fustiers sont les travailleurs du bois. Le terme recouvre au Moyen Âge une large palette de professions : menuisiers, tourneurs, tourneurs, charpentier, etc. (Leroy 2008, p. 89). Mais, en général, ce terme désigne plus précisément le bûcheron spécialisé dans l'abattage et le débit du bois d'œuvre.

[136] La défaillance sous compression longitudinale se manifeste par un *flambement latéral (Götz *et al.* 1988, p. 29).

pour les arbres matures et à la serpe ou à la hachette pour les très jeunes arbres. En principe, la serpe est employée pour les arbres de moins de 5 cm de diamètre. À Fangeas, on suppose son utilisation pour l'élagage des petites branches ou la coupe des tiges de petites dimensions conjointement à la hache ou à la cognée. Les branches certainement taillées à la serpe présentent une seule coupe nette en biseau simple. Elles sont moins sujettes aux arrachements périphériques. Les arrachements présents aux extrémités de nombreuses jeunes tiges ou branches suggèrent un abattage par arrachement manuel. Des stigmates d'arrachage d'une branche à la périphérie d'un tronc ont été observés sur la grume GP 8. Dans ce cas précis, l'arrachage manuel est précédé d'un ou deux coups de hache.

Les branches élaguées à la hache présentent une coupe en biais nette d'un côté et un arrachement de l'autre (GP 9). Les jeunes troncs abattus à la hache[137] montrent en général deux traces de coupes. Il s'agit d'encoches opposées. Les biseaux peuvent être d'égale longueur, mais ils sont généralement plus longs d'un côté que de l'autre. Une première entaille dite de direction est pratiquée en biais d'un côté du tronc en dépassant le centre de l'arbre et une seconde entaille est opérée du côté opposé, au même niveau, pour provoquer la chute de l'arbre du côté de l'entaille de direction (*cf.* dessins détail coupe abattage GP 8). La deuxième entaille peut nécessiter plusieurs coups d'outil. L'observation fine du biseau du bois GP 5 qui mesure 8 cm de diamètre à sa base permet d'identifier cinq coups sous formes d'enlèvements. Guère plus ont été nécessaires pour provoquer la chute de l'arbre. Les coups ont été donnés légèrement en biais. Les traces sont caractéristiques de la hache ou de la cognée qui enlèvent des éclats. Le nombre de coups nécessaires augmente en proportion du grossissement du diamètre du tronc à abattre.

L'abattage des gros arbres se faisait à la cognée (manche droit et taillant à double biseau), mais sans l'usage combiné de la scie passe-partout[138] qui se diffuse timidement à partir du XVe siècle, moment où l'on invente l'*avoyage des dentures, et qui se généralise pour l'abattage au XVIIIe siècle. On peut juste remarquer que la scie passe-partout n'est jamais représentée par Heinrich Groff dans ses scènes forestières. Ses traces aisément reconnaissables par des stries profondes, larges, grossières et non parallèles entre elles, n'ont jamais été repérées sur les abouts des billes et des bois débités de Fangeas.

[137] GF 7, GF 3, GF 14, GF 22, GF 61, GP 8, extrémités A.

[138] La scie passe-partout se caractérise par une grande lame n'excédant pas 2 m avec une très forte denture. Chaque extrémité est garnie d'une poignée en bois permettant son maniement qui nécessite deux personnes.

L'opération d'abattage se fait habituellement en trois temps. On pratique d'abord l'égobelage de la souche qui consiste à réduire les empattements à la hache (ou à la cognée), on réalise ensuite l'entaille de direction puis l'abattage. Quelques troncs et pièces de bois exhumés à Fangeas montrent encore les marques de l'égobelage : série d'entailles tangentielles plus ou moins régulières qui couronnent la base du tronc (GF 73, GP Goulotte). L'entaille de direction est opérée du côté où l'arbre doit tomber. Elle ne pénètre pas au-delà du tiers du diamètre. Le trou obtenu par cette entaille pouvait être provisoirement calé avec des coins pour éviter les arrachements au cœur de l'arbre lors de l'abattage, fréquent chez les grands individus. L'arête intérieure a une forme d'arc de cercle, forme conservée par ce côté de la charnière. L'abattage est réalisé du côté du tronc non entaillé. La nouvelle entaille est opérée légèrement au-dessus de l'entaille de direction vers la charnière en réduisant son épaisseur avec des coups de cognée obliques et perpendiculaires au fût créant des éclats. Le tronc est ainsi entamé jusqu'à la charnière dont on conserve une épaisseur plus grande du côté où l'arbre doit tomber. La base du tronc abattu est par conséquent légèrement oblique[139] ou en V lorsque les entailles sont réalisées au même niveau. À titre d'exemple, l'extrémité A du *Kletterbaum*, qui n'a probablement pas été rectifiée après abattage, est significative.

Transport et débardage

Débarrassé d'une partie ou de toutes ses branches et de sa houppe pour les plus grands, l'arbre abattu est débardé tel quel, ou bien il est préalablement découpé au pied et à la cime, ou en tronçons aisément transportables. Dans certains cas, la *grume, désormais appelée «* bille », est écorcée de façon à éviter la propagation des parasites saprophages (Chiorino 2008, p. 75). À Fangeas, une grande partie des bois n'a manifestement pas été écorcée. Les bois installés rapidement sous terre ne sont plus en proie à certains insectes xylophoges ou saprophages. Les bois vermoulus sont d'ailleurs très rares (GF 18, GF 68). Ils ont pu servir un temps à des aménagements de surface. Certaines pièces retrouvées dans les remblais, les grandes poutres du puits par exemple, perdaient leur écorce en paquets lors de la fouille. Pour quelques pièces, un écorçage (pelage) a pu être réalisé. Cette opération est suggérée par quelques traces d'outils relevées à la périphérie de troncs (enlèvements ovalaires ou

[139] Comme nous pouvons l'observer pour les pièces GF 8, GF 17, GF 18, GF 25, GF 56, GF 53, GF 77.

macrotraces parallèles ou légèrement obliques par rapport au fil du bois). Mais, pour le cas des bois dépouillés de leur enveloppe corticale, elle a le plus souvent été en partie ou en totalité débarrassée lors de l'opération de blanchissage ou d'équarrissage pratiquée de façon grossière pour façonner une pièce (*cf.* pl. 79, ph. 1 et 2, p. 891). Il ne s'agit pas là d'une intention d'écorçage à proprement parler.

Les plus gros troncs ont pu être débités en tronçons (billes, sur-billes) sur le lieu d'abattage, comme, par exemple, ceux qui ont servi à façonner les trois poutres du Grand Puits. Les tronçons n'ont pas été débités à la scie à cadre ou au passe-partout. Le bois debout a été tronçonné intégralement à la hache ou à la cognée. Aucune trace de scie caractéristique – stries étroites et peu profondes rarement parallèles à la section du bois pour la scie à cadre – n'a été repérée jusqu'à maintenant au niveau des découpes de pied ou de cime. Couper du bois debout à la hache est une opération aujourd'hui inconcevable par les charpentiers ou les bûcherons. Elle était pourtant extrêmement courante au Moyen Âge. On la trouve illustrée dans le graduel de Saint-Dié. Elle implique un savoir-faire aujourd'hui perdu et des bras vigoureux. Les coupes observées à Fangeas ne sont jamais parfaitement planes, certaines sont en biais, d'autres sont légèrement bombées ou convexes avec une arête centrale saillante et arrondie. Traditionnellement en montagne où le débardage est délicat, on découpe les billes par « troncs » de 4 m jusqu'à l'endroit où elles n'ont plus que 25 cm de diamètre. À Fangeas, les plus longs tronçons de billes mesurent moins de 3 m de longueur et peuvent provenir d'une segmentation des longueurs sur le carreau de la mine.

PLANCHE N°79 : TRACES D'OUTILS

1. Dosse FP29, enlèvements ovalaires, traces d'écorçage ? (cl. V. Py 2005).

2. Dosse FP 29, détail enlèvement et traces d'outils (stries : irrégularités du tranchant), traces d'écorçage ? (cl. V. Py 2005)

3. Bois FP 30 (dosse) impacts outils,
traces d'ébranchage et/ou écorçage ? (cl. V. Py 2005)

Les essences des bois utilisées pour les grands bois et pour les pièces de mobilier indiquent un approvisionnement local en Mélèze et/ou Épicéa (78,5 %), Pin cembro (16,5 %) et plus rarement Frêne (3,6 %) et Bouleau (1,4 %). Les feuillus sont réservés pour la confection d'objets particuliers. À l'exception de quelques pièces de choix (poutres, goulottes, *Kletterbaum*), les troncs n'ont probablement pas été débardés sur un important dénivelé et de très longues distances (d'une vallée à l'autre par exemple) : cent à deux cents mètres de dénivelé et un kilomètre tout au plus. En montagne, les techniques traditionnelles de débardage, adaptées aux terrains pentus, sont le « lançage » et le « câblage ». La première technique consiste à aménager un couloir dans un terrain en pente pour y lancer les grumes dirigées par un ou plusieurs hommes munis d'un solide bâton en bois ou d'un « picon » avec une pointe en fer perpendiculaire au manche. Le lançage pouvait aussi être pratiqué sur certaines portions de chemins évitant la création de couloirs. Il était considérablement facilité en hiver contrairement à ce que l'on pourrait croire (Sclafert 1959, p. 74). Lorsque le couloir de neige était suffisamment damé, les troncs glissaient aisément sans accrocher les pierres et les aspérités du terrain. Dans les terrains très escarpés, la grume est retenue par une corde attachée autour du fût et coincée dans une encoche, avec un coin en fer ou tout simplement une branche. Lorsque le terrain n'est pas adéquat, les bois enlacés de cordes, ou munis de la *sapie, étaient traînés par des animaux ou, pour les petites billes et les fagots de branches, par des hommes, comme cela est toujours pratiqué dans la région de l'Argentière. Le débardage par flottage[140] dans les torrents de montagne est attesté au Moyen Âge. Le flottage sur le Guil est mentionné dans un acte de 1299 où l'archevêque d'Embrun autorise les habitants à couper du bois d'œuvre – *meariam* – dans la forêt de Riou-Sec qui sera transporté au Guil, *portando ad aquam*[141] (Brès 1993, p. 56). En montée, les grumes lourdes étaient aussi tractées par traînage ou par des charrettes à deux essieux, appelées aussi « trinquebille » ou « trinqueballe », et tirées par un attelage de bêtes de somme. Mais, compte tenu du coût de ce dernier mode de transport, d'ailleurs difficile à mettre en œuvre dans les sentiers de montagne, augmentant considérablement le prix de revient du matériau, les mineurs devaient préférer exploiter des bois situés en amont de la mine plus qu'en aval. Ils devaient avoir

[140] Au XVIIIe siècle, les grumes mesurant plus de 13 m de longueur étaient tronçonnées pour être déplacées dans le Buëch (Nicolas 2008, p. 97).

[141] BUFFAULT (P.), Les forêts et pâturages…, 7 [110] ; GUILLAUME (P.), *Guillestre et ses environs*, collection « Monographies des villes et villages de France », rééd. de l'éd. de 1906, Paris, 1991.

recours à des moyens de traction beaucoup plus simples comme le traîneau de débardage ou les griffes de traînage dont le chargement est tracté par des animaux de trait.

Le corpus de bois de Fangeas ne permet pas de déterminer avec fiabilité le mode de débardage emprunté par les mineurs. La question du débardage dans les forêts de montagne au Moyen Âge central est peu étudiée. Les modèles supposés et proposés sont tirés de l'iconographie de la Renaissance et des Temps Modernes et de l'ethnographie (Nicolas 2008, p. 62). Il est en effet fort plausible que dès cette époque, le traînage, le lançage et le câblage, relayés dans certains cas par le flottage, aient été privilégiés. Le recours aux mulets plus qu'aux animaux de trait est probable pour les bois courts comme pour les grumes grâce à la technique du bât ou du harnais de traînage. D'ailleurs, la traction animale avec le mulet ou l'âne a été abandonnée tardivement au profit des charrettes, tirées par des animaux de trait, qui nécessitaient l'entretien régulier de pistes carrossables (Manuel 1993).

L'étude des pieux du site de l'âge du Bronze de Hauterive-Champréveyres a mis en évidence des stigmates de transport liés au traînage. Les abrasions ont été observées sur 15 % des pieux. La proportion de pieux portant des stigmates est plus élevée pour les pieux refendus tirés de bois de plus fort diamètre (24 %) que sur les pieux circulaires (14 %) (Pillonel 2007, p. 91). Deux types d'usures ont été reconnus : les usures primaires observées sur la périphérie des bois bruts, en relation avec le transport depuis la forêt jusqu'au chantier, et les usures secondaires, localisées sur la partie travaillée des pointes en relation avec transport *post*-façonnage, du chantier au village. Les usures primaires atteignent dans la majorité des cas l'aubier sur quelques centimètres de profondeur au niveau du côté cime du pieu. La partie souche aurait donc été surélevée lors du déplacement sur un char à deux roues. La faible représentation des usures de transport sur les bois d'un diamètre inférieur à 10 cm a été interprétée comme le résultat d'un transport à l'épaule (Pillonel 2007, p. 94). Les usures secondaires localisées au niveau des pointes de pieux atteignent quelques millimètres de profondeur. Elles ont été mises en rapport avec l'existence d'un chantier de mise en œuvre des bois de construction situé à proximité du village (Pillonel 2007, p. 96).

Aucun stigmate de transport lié au traînage, similaire à ceux observés à Champréveyres, n'a été identifié sur les grands bois de Fangeas. Les bois de section circulaire, mis en œuvre sans travail de blanchissage ou de façonnage, et présentant un diamètre rarement supérieur à 10 cm, ont très bien pu être transportés à l'épaule. Cette hypothèse va dans le sens d'un approvisionnement local (à l'échelle du versant ou du vallon) déjà suggéré par le corpus de taxons identifiés. Les bois de plus forts diamètres ont généralement été débités en planches ou

plateaux. Certains ont été grossièrement équarris ou ouvragés. Il est donc fort probable que les traces de transport, s'il y en a eu, n'ont pas été conservées. De plus, si la vidange d'une coupe de bois pour la mine a été réalisée à une saison où l'humus est épais (automne) ou lorsque le sol est couvert d'un manteau neigeux (automne-hiver), comme le suggèrent les saisons d'abattage, les risques d'usures sont très limités. Enfin, dans ces conditions, les abrasions liées au traînage ont pu se limiter à la couche d'écorce supprimée lors de la transformation des bois ou décollée naturellement de son support après l'abandon du site. Une série de billes de mélèzes fraîchement débardées par lançage, destinées au chauffage d'une habitante du hameau de Dormillouse, a pu être observée lors de la campagne de fouille 2008. Les bois provenaient de 200 m de dénivelé en amont du village. Ils avaient conservé une bonne partie de leur écorce et aucune trace d'abrasion emportant une partie de l'aubier n'a été observée. Le débardage en forêt, et ce fait a déjà été souligné par D. Pillonel, ne laisse que peu de traces. Les attaques du bois sont rares. Il faut aussi croire que le lançage des billes dans les pentes, quand il est parfaitement contrôlé, réduit les possibilités d'usure et d'abrasion de la périphérie du tronc.

Ces remarques concourent à nourrir l'hypothèse d'un approvisionnement en bois local (versant) à extra-local (vallon). Les billes de faible diamètre pouvaient être transportées à l'épaule et les plus forts troncs étaient débardés par lançage associé au traînage sous couvert forestier.

III.5.2. Le chantier sur le carreau de la mine : les étapes de transformation

Préparation des billes

Le traitement ou la préparation des billes destiné à préparer les opérations de transformations (segmentation, débit de long) est limité. Les billes ou les grumes stockées sur le chantier étaient probablement déjà débarrassées d'une grande partie de leurs branches dont la conservation aurait gêné le débardage. Un raclage secondaire des bases épatées de certaines branches à l'aide d'une hache ou de l'herminette n'est pas exclu, mais les macrorestes

associés à cette pratique sont rares. La plupart des bois exhumés n'ont pas fait l'objet d'une opération d'écorçage à proprement parler. Les traces pouvant être associées à cette pratique indiquent un pelage ponctuel et localisé (GF 72). Deux types de traces reconnues sur la même pièce de bois sont associés à cette opération : des petits enlèvements ovalaires, mordant sur une très faible épaisseur le bois, et des fines stries obliques par rapport au fil du bois, stigmates des aspérités du tranchant utilisé pour décoller l'écorce jusqu'au cambium (*cf.* pl. 79, p. 891). À ces observations, il faut ajouter la découverte, aussi bien dans la Grande Fosse que dans le Grand Puits, de nombreux fragments d'écorces apparemment décollés des rondins enchevêtrés dans les remblais ou restés en place. La présence dans le corpus de quelques pièces de bois[142] issues clairement de l'étêtage du houppier suggère leur segmentation sur le chantier de la mine. Le blanchissage destiné à dégager des faces planes pour la confection de poutre ou de poteau ou pour préparer le débit des pièces planes est pratiqué de façon très ponctuelle. Les principales activités de transformation attestées sur le site de la mine grâce à la morphologie des bois et aux déchets sont le débit de long et dans une moindre mesure le tronçonnage.

Tronçonnage (segmentation)

Le moment du tronçonnage des rondins et des billes destinés au débit de long est difficile à caractériser à partir des stigmates de découpe. Il n'est, en effet, guère possible de les placer avec sûreté dans la chronologie des différents maillons de la chaîne opératoire (avant ou après débardage). Cependant, les rondins assignés à l'étayage et aux boisages affectant une longueur inférieure à 1,50 m voire à 2 m, et les billes destinées au débit des pièces quadrangulaires, ont de toute évidence été calibrés sur le lieu de leur utilisation, c'est-à-dire le carreau de la mine. La calibration des rondins produits des déchets caractéristiques – parties sommitales fourchues ou courts segments de rondins ou de perches – reconnus dans le corpus de grands bois[143]. La pièce GF 4, qui porte des stigmates de coups de haches localisés sur une de ses faces formant des stries perpendiculaires à son axe, a pu servir de billot pour le tronçonnage de rondins. Aucun autre cas de ce genre n'a pas été reconnu. Les coupes sont

[142] GF 55, GP 17, GP 19.

[143] GF 13, GF 13b, GF 19, GF 55, GF 65, GP 16, GP 19, GP 17 et GP 20.

perpendiculaires ou en biseaux simples ou doubles. Les biseaux doubles sont le résultat de coupes par entailles opposées réalisées à la hache d'abattage qu'il ne faut pas confondre avec des stigmates d'abattage (présence de charnière).

Le tronçonnage des billes de forts diamètres est attesté sur les pièces fendues et refendues, et particulièrement les dosses et les planches, par des coupes obliques[144], perpendiculaires[145] ou en biseaux doubles avec un angle d'ouverture très évasé[146]. Leur forme dépend de l'emplacement de la pièce débitée dans la bille d'origine. Elles sont le résultat d'un tronçonnage par entailles opposées et symétriques. Cette technique bien connue par des hommes de l'âge du Bronze économise de l'énergie et de la matière. Par rapport à une coupe en biseau simple, elle réduit de moitié le volume de bois à enlever et diminue dans une proportion égale l'impact de la coupe en bout de bille (Pillonel 2007, pp. 60-61).

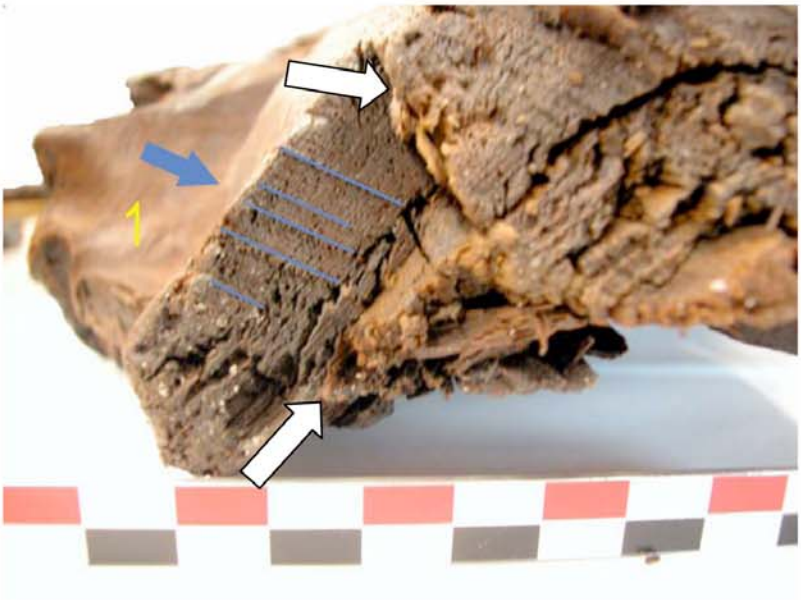
Les macrotraces associées au tronçonnage sont plutôt rares pour les coupes parfaitement perpendiculaires. La caractérisation de l'utilisation de la hache ou de l'herminette n'est pas toujours évidente. Certains bois présentent néanmoins des traces de coupes et des macrotraces de tranchant très caractéristiques comme le bois FP30 étudié par D. Pillonel à partir de deux clichés (*cf.* pl. 80, p. 897). Une première série de stigmates (stigmates 1) donne la direction du coup de hache, légèrement oblique par rapport aux cernes annuels. Un deuxième stigmate indique la largeur minimale du tranchant qui est de 6 cm environ. Le coup porté est toujours légèrement oblique, mais l'angle d'attaque change légèrement. Enfin, un troisième stigmate montre que l'opérateur a changé de côté ou a fait rouler la pièce d'un quart de tour. L'empreinte du tranchant est un peu plus importante. Sa largeur minimale est de 7 cm.

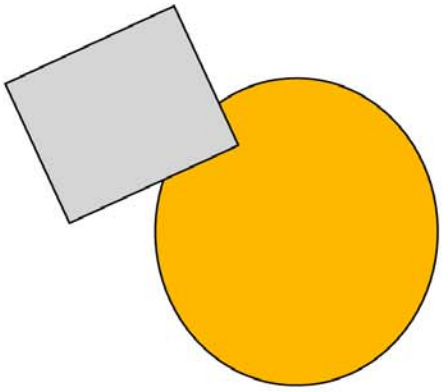
[144] GP 24, GP 25, GP 26, GF 66, GF 77.

[145] GF 62, GF 66, GF 70, GF 71.

[146] GF 18, GF 62 par exemple.

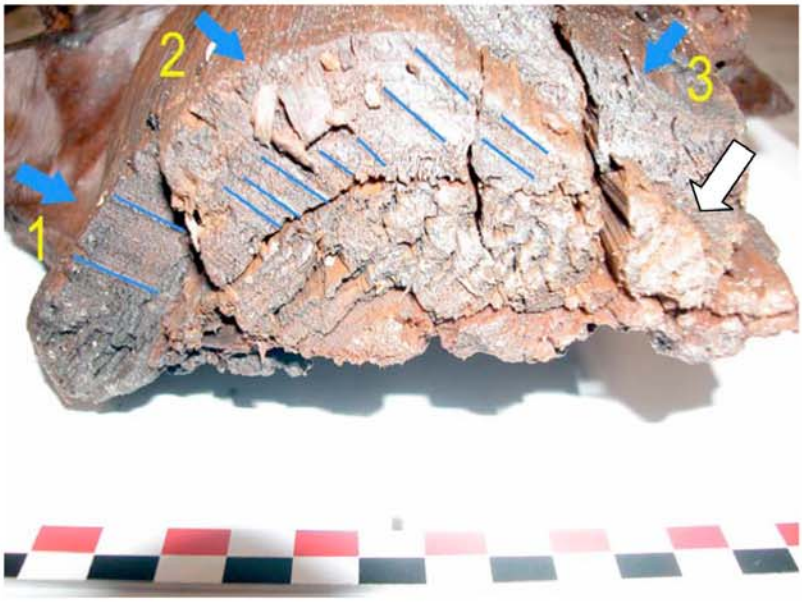
PLANCHE N°80 : TRACES DE TRANCHANT DE HACHE SUR L'ÉCHANTILLONS FP 30

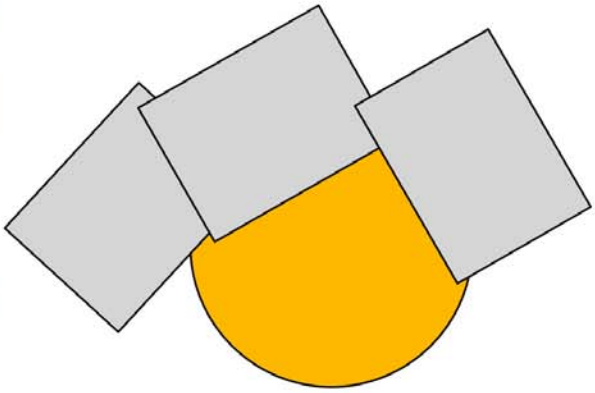




position lame/tronc (1)

Stigmate n°1 , les macrotraces (traits bleus), légèrement obliques par rapport aux cernes annuels, soulignent la direction du coup (flèche bleue). À droite et à la base de l'enlèvement, la trace du tranchant est probablement conservée (prolongement des flèches blanches).





position lame/tronc (1,2,3)

Sigmate 1, cf supra.

Stimates 2, largeur minimale du tranchant 6 cm, le coup est porté depuis le même côté que pour le stigmate 1 ; mais l'angle d'attaque change légèrement.

Stigmate 3, l'opérateur a changé de côté ou a fait rouler la pièce d'un quart de tour. L'empreinte de tranchant, largeur minimale 7 cm, est marquée à la base de l'enlèvement.

Analyse D. Pillonel, le 16 février 2009.

PLANCHE N°81 : CHUTES
BOIS PROVENANT DE L'US 3 DU GRAND PUITS

1. Chute rectification longueur par entailles opposées (cl. V. Py 2005).

2. Bois FP94, détail petits enlèvements (cl. V. Py 2005)

Pour les coupes par entailles opposées, l'utilisation de la hache et dans certains cas de l'herminette est attestée par des séries d'enlèvements plus ou moins profonds tangentiels et obliques (*cf.* pl. 81, pièce FP1, p. 898).

Le débit de long : la technique de la refente

L'équarrissage était une opération proscrite. Aucun bois n'atteste directement cette technique. Les bois à section quadrangulaire ou les planches sont tirés du débitage des billes par fentes radiales ou tangentielles. Ils ne présentent jamais d'arêtes vives, typiques des pièces débitées dans des billes proprement équarries. La technique adoptée par les mineurs de Fangeas était la refente. Elle consiste à débiter des billes ou des rondins en moitié[147], en quartiers[148] ou en planche par décollement des tissus ligneux dans le sens de la longueur. Cette technique lorsqu'elle est maîtrisée permet de conserver la résistance et l'élasticité du bois (Pillonel 2007, p. 61).

La majorité des pièces de bois planes de sections quadrangulaires ou triangulaires proviennent du débitage par fente tangentielle (présence généralisée de rives pour les grandes planches) ou radiale de billes ou de grumes pas ou faiblement blanchies. Le débit par fente tangentielle permet de tirer pleinement partie du volume de la bille pour réaliser une série de pièces planes (deux dosses et une série de plateaux). Le débit par fente radiale est plus adapté pour la production de planchettes dont la section en forme de long triangle isocèle peut être rectifiée par le décollement d'éclisses.

L'extrême irrégularité de la surface des plateaux – appelés par abus de langage « planches » – exclut totalement l'utilisation de la scie à bras (type niargue) et le débitage à la scie hydraulique qui produirait des pièces bien mieux calibrées et sans arrachement. Les nombreux nœuds indiquent un choix de bois de « seconde classe », impropres à la construction de charpente traditionnelle. Ils auraient pu conduire à l'éclatement et à la grande irrégularité de la surface de certaines des pièces pendant leur sciage avec des outils à dentures

[147] GF 26, GF 64, GF 66.

[148] GF 12, GF 13b, GF 69.

grossières[149]. Or, même la grossièreté de l'outillage ne peut justifier la présence de nombreuses pièces planes très irrégulières issues de l'éclatement d'une pièce débitée par fente tangentielle ou radiale. De plus, l'usage de la scie de long aurait pu être déterminé par la reconnaissance de ses traces : stries de profondeur moyenne, droites et très parallèles repérables sur les faces aplanies.

À Fangeas, les mineurs ont débité de long, seulement à l'aide de coins, de la masse (ou du merlin ?) et d'une hache, des billes pouvant atteindre plus de 30 cm de diamètre et 2 m de longueur. Cette technique de débit, facile à mettre en œuvre lorsque le bois est dépourvu de défauts, s'apparente volontiers au procédé de refente du bois de chauffe adopté par les bûcherons, mais elle est exécutée dans des billes de plus fort diamètre et sur des longueurs plus importantes et doit permettre de réaliser des pièces planes. Elle consiste à battre avec une masse en bois des coins placés dans une fente amorcée à la hache de façon à forcer la séparation longitudinale. Les mineurs pouvaient utiliser des coins en fer ou de simples coins en bois renforcés ou non avec une plaque de fer à leur extrémité biseautée. Des traces de coins ont été relevées sur certaines pièces de bois dont la section est proche de celle d'une planche. De simples éclats de bois faisant office de coins peuvent suffire pour refendre un rondin de faible diamètre en deux parties.

Les « planches » ou planchettes présentant une section triangulaire (merrains) ont été débitées « sur maille en rayon » ou fente radiale. Cette technique paraît plus simple à mettre en œuvre, mais nécessite pour des pièces longues et de fort diamètre un véritable savoir-faire (précision du geste et force du coup). Elle consiste à débiter avec une hache des planchettes en suivant les rayons médullaires du bois, axes de fente naturels rayonnant depuis la moelle. Pour les billes plus importantes, il est nécessaire de loger des coins à l'about de la bille. Pour obtenir des pièces régulières, il est impératif d'utiliser des billes sans nœud dont la présence peut provoquer des éclatements et l'extrême irrégularité des pièces. Ce mode de débit était généralement mis en œuvre dans les mines romaines et médiévales pour le garnissage des cadres de soutènement. Il a été mis en évidence à Brandes pour le coffrage de la Galerie de l'Ecluse. Le débitage par fente radiale permet aussi d'obtenir des quartiers de sections

[149] On lit souvent que l'avoyage des dentures de scie a été inventé au cours du XVe siècle. Or, on trouve déjà des scies à dentures avoyées au Bronze final, mais c'est surtout à l'époque romaine que le principe devient courant (dentures de différentes tailles, limes tiers-point et tourne-à-gauche) (Duvauchelle 2005, pp. 40-43). Pour l'époque qui nous concerne, les données sont maigres. L'absence de son usage pourrait se justifier, non pas par la grossièreté de cet outillage (dentures non avoyées), mais par le coût élevé de l'achat d'un tel outil réservé à des artisans aisés.

triangulaires ou trapézoïdales. Pour ces derniers, le débit par fente tangentielle ou oblique a été utilisé en complément pour faire tomber la moelle et des angles aigus. La technique a servi au débitage de rondins issus du tronc, mais aussi des pièces ramifiées et tenaces du houppier (GF 13b). Elle paraît avoir été privilégiée pour la production du bois de feu de fort calibre. Mais, certaines pièces en partie carbonisées montrent aussi le recours au débitage par fente tangentielle produisant aussi du combustible de très fort calibre (GF 70 et GF 71 par exemple). Par contre, la fente et la refente des menus bois destinés au fourrage des bûchers et à allumage sont réalisées sur des plans multiples.

Le façonnage, finition et pose

Le façonnage des bois de mine inclut les différentes opérations qui consistent à obtenir un produit dont la forme est ainsi gardée de façon définitive. Elles touchent autant la structure de la pièce que sa surface. Les pièces sont façonnées par enlèvement de matière pour donner à la pièce débitée de long ou simplement ébranchée et tronçonnée une forme particulière. Le façonnage englobe les entailles et les percements destinés à faire des assemblages (entaille, embrèvement, chevillage, mortaise).

Les bois classés dans le groupe des rondins ne font pas ou peu l'objet d'opération de façonnage. On ne note pas de traces de fendage, consistant à séparer les fibres sous l'action de la hache, de l'herminette ou de coins. Décrite par D. Pillonel, cette technique utilise des plans de progression orientés de façon radiale, tangentielle ou oblique. Elle peut aussi être exécutée à l'about de la pièce, en frappant le tranchant parallèlement à l'axe des fibres (Pillonel 2007, p. 63 et fig. 11, 71). Quelques rares pièces témoignent d'un entaillage qui consiste en l'enlèvement successif de matière sous la forme d'éclats et de gros copeaux (*cf.* pl. 81, FP94, p. 898). Suivant le sens de coupe, les traces laissées par l'outil et la forme du copeau sont différentes. L'entaillage se résume à quelques coups de hache inclinée de façon tangentielle oblique pour la réalisation des encoches d'embrèvements. Les autres opérations d'entaillage les plus courantes sont la coupe perpendiculaire en bois debout pour le calibrage des longueurs pouvant être réajustées au moment de la pose. Légèrement décalés latéralement, les coups de hache sectionnent les fibres ligneuses perpendiculairement. Le tronçonnage, par entaillage, est aussi pratiqué par entailles opposées. Le façonnage du *Kletterbaum* associe la

coupe longitudinale et la coupe perpendiculaire, avec une légère oblicité, pour l'entaillage des marches. La forme incurvée du fond des entailles suggère l'utilisation d'une herminette.

Les opérations de façonnage concernent les pièces refendues destinées à la construction et à l'étayage. La technique de fendage est utilisée pour rectifier la surface des planches, des planchettes et des pièces à section quadrangulaire obtenues par débit radial et/ou tangentiel. Les traces d'outils observées sur quelques pièces débitées par fente tangentielle témoignent aussi d'un façonnage de surfaces planes par entaillage. Une partie des menus bois refendus et éclissés provient de cette opération de fendage exécutée sur le carreau de la mine. Les pièces d'équipement façonnées ont été exécutées par la technique d'entaillage. La coupe longitudinale est systématique pour le façonnage du dos des goulottes et l'appointage des piquets. Les déchets levés à la suite d'un dégrossissage par entaille longitudinale sont plus larges que longs. L'évidement de la zone d'écoulement est réalisé à l'herminette par entaillage tangentiel et perpendiculaire. Le creusement des orifices d'insertion est réalisé par entaillage perpendiculaire, le plus souvent légèrement oblique, et longitudinal. Les fibres sont sectionnées perpendiculairement grâce au tranchant étroit d'une hache. Certaines pièces témoignent de l'usage d'un ciseau à bois dont les traces caractéristiques sont bien visibles dans les trous d'insertion de la pièce GF 18 (*cf.* pl. 69, p. 834).

Les pièces d'étayage et de boisage ne présentent pas de traces de travaux de finition à proprement parler. On les trouve surtout sur certaines pièces de mobilier et l'outillage. Les traces d'outils sont très discrètes sur les manches, bois à protubérance, douelles et fonds de cuveaux. La volonté de faire disparaître les aspérités liées au façonnage du produit est toujours motivée par l'amélioration du confort de préhension ou l'efficacité de l'assemblage de pièces entre elles. Les stigmates du façonnage paraissent régularisés au rabot ou à la plane sur les manches d'outils et les douelles. L'impact de la lame est difficilement perceptible sur les pièces les mieux polies.

Les chutes de tailles retrouvées dans les comblements des travaux indiquent que toutes ces opérations étaient réalisées sur le carreau de la mine. Leur étude approfondie permettra de préciser le travail de façonnage (angles d'attaque) et la gamme d'outils utilisés (largeurs de tranchants). Les déchets de rectification de longueurs de rondins sont rares. Cela suppose que les pièces étaient tronçonnées à leur bonne longueur avant la pose. Les pièces légèrement trop courtes pouvaient être bloquées grâce au système de calage en force réalisé avec des cales ajustées à la bonne largeur par refente tangentielle ou radiale. Les pièces d'étayage retrouvées en place ont été simplement calées en force sans utilisation de calfatage.

- . -

La plupart des maillons de la chaîne opératoire technique étant réalisés aux abords directs des sites d'extraction, le carreau de la mine était un véritable chantier de charpenterie et de bûcheronnage (tronçonnage et refente du bois de chauffe) à ciel ouvert. Tous les outils caractéristiques de la charpenterie de mine, depuis l'Antiquité jusqu'à la Renaissance, sont réunis à Fangeas, à l'exception de la scie, littéralement proscrite. Outil de patience et de minutie, outil d'entretien délicat, outil du menuisier ou de l'ébéniste, la scie n'a pas sa place sur le carreau de la mine où prédomine force, rapidité d'exécution et rusticité. Elle est remplacée par la hache pour le tronçonnage, et par les coins et la masse pour le débit de long. Aussi bien pour l'abattage que pour le débit, ou encore que pour la confection d'assemblage, le mineur de Fangeas applique des techniques de travail ancestrales, attestées pour la plupart dès le Néolithique ou l'âge du Bronze. Il en est de même pour l'élaboration des principaux équipements de la mine qui sont connus depuis l'Antiquité et même pour la plupart depuis la protohistoire : *Kletterbaum*, plancher avec étais calés en force, goulottes, torches en bois etc. La longévité de techniques et de certains usages est le résultat d'une application en contexte minier d'un savoir-faire de charpenterie grossière, maîtrisé par des paysans polyvalents, et de la persistance d'une tradition du travail du bois basé sur une parfaite maîtrise du maniement de la hache. Cet outil suit le mineur dans toutes les étapes de la chaîne opératoire minière. Nous avons d'ailleurs probablement retrouvé dans la mine de Fangeas les vestiges d'un manche de hache, plutôt que ceux d'un pic ou d'une pointerolle. Ces remarques vont dans le sens d'une occupation inter-saisonnière adaptée au calendrier des activités agricoles. Une campagne de travaux pouvait théoriquement durer depuis le tout début de l'automne (septembre) jusqu'à ce que le manteau neigeux constitue un handicap. Mais, encore faut-il pouvoir démontrer avec certitude que ces conditions, qui nous apparaissent extrêmes, aient réellement rebuté des montagnards à cette époque. Nous pensons que non. De plus, le travail par le feu est plus facile à gérer en hiver lorsque l'air extérieur est plus froid que dans la mine, facilitant la circulation de courants d'air et l'aérage.

Ces considérations conduisent à étudier les autres modes d'occupation et d'exploitation saisonnière de la haute montagne à travers l'étude de l'habitat et des modalités

d’approvisionnement en bois pour l’agropastoralisme. Comment s’articulent les espaces agropastoraux et miniers au sein d’une même montagne ?

IV. À L'INTERFACE DES ESPACES MINIERS ET AGROPASTORAUX : ÉVOLUTION DU PAYSAGE DE HAUTE MONTAGNE SUD-ALPIN ET GESTION DES RESSOURCES FORESTIÈRE AU MOYEN ÂGE ET AU DÉBUT DES TEMPS MODERNES

> « Mine et métallurgie, quel que soit le degré des investissements techniques et financiers, sont des activités rurales, qui se sont insérées dans le calendrier des travaux agricoles, ou qui ont profondément transformé les rapports de l'homme et de son milieu dans des districts dépendants de l'ouverture sur le marché urbain et de la pénétration du capital d'affaires » (Braunstein 1990, p. 130).

Contrairement aux mines du Fournel, les mines de Fangeas-Faravel ont été ouvertes au cœur d'un terroir encore exploité pour le fourrage au XIXe siècle. Il fait la transition entre les pelouses subalpines et alpines vouées au pastoralisme et le mélézin de reconquête accueillant le troupeau en début et en fin d'estive entre 1800 et 2000 m d'altitude.

La conjugaison des travaux archéologiques et paléoenvironnementaux réalisés sur le secteur dans une perspective diachronique replace la mine au sein d'une dynamique générale de mise en valeur du milieu amorcée dès la Protohistoire. Mentionnée plus haut, la citation de Ph. Braunstein soulève le problème de la relation entre l'exploitation des gisements métalliques et celle des ressources agrosylvopastorales dans un territoire de haute montagne excentré. Est-ce que le mineur est aussi l'agropasteur ? Comment sont organisés les calendriers des activités rurales ? Comment ces activités interagissent-elles et se conjuguent-elles ? Quel poids ont-elles eu sur l'évolution du paysage et sur la forêt ? Pour répondre à ces

questions, il est nécessaire de se pencher en premier lieu sur la question de l'habitat qui participe à la mise en place et à la structuration d'un paysage et reflète l'appréhension et les modalités de gestion d'un terroir par les communautés.

IV.I. EXPLOITATION DU MINERAI ET FIXATION D'UNE HABITAT MINIER EN HAUTE MONTAGNE : LE CAS DE LA VALLÉE DE FREISSINIÈRES

La question de la relation de l'exploitation précoce du minerai (X^e^ et XIIe siècles) avec la fixation d'habitats en montagne a été soulevée à la fin des années 70 par M.-Ch. Bailly-Maître et J. Bruno pour le cas des mines de plomb argentifère de haute montagne de Brandes dans l'Oisans grâce aux recherches archéologiques conduites parallèlement à l'étude des données textuelles (Bailly-Maître, Bruno 1977 ; 1979 ; 1983 ; Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994). L'exploitation des mines, échelonnées entre 2000 et 2500 m d'altitude, a donné naissance à une agglomération d'habitats permanents comparés à une organisation en coron, mentionnée pour la première fois en 1261 (Bailly-Maître 2008, p. 36). Malgré des conditions climatiques rudes, la permanence de l'habitat est attestée, d'une part, par les archives, et d'autre part, par le statut paroissial de l'église, entourée de sa nécropole, et par l'architecture des maisons. Le village est dominé par un site fortifié qui occupe le sommet du rocher Saint Nicolas. Il constitue le symbole du pouvoir delphinal et un point de guet exceptionnel (Bruno Dupraz 1994 ; Bailly-Maître 2008, pp. 32-33). La création d'un site de type castral en relation avec l'activité minière rappelle, parmi d'autres[150], le cas du Fournel. L'implantation d'un point de fixation du pouvoir seigneurial sur la butte d'Urgon peut être indépendante de la mine alors que le développement du *castrum* a été clairement mis en relation avec l'accroissement de l'activité minière qui bat son plein entre les XIe et XIIe siècles et se

[150] Comme, par exemple, Largentière et ses châteaux en Ardèche (Bailly-Maître 2007, pp. 36-40) ; Castel-Minier à Aulus (09) (Bailly-Maître 2007, p. 45) ; et les cas languedociens (Amado 1977).

poursuit, probablement en discontinu, jusqu'à la fin du XIIIe siècle (voire de façon intermittente durant la première moitié du XIVe siècle).

Par le biais de la documentation écrite, F. Menant établit ce lien pour le cas des vallées minières des Alpes lombardes (Menant 1987, p. 781). En Haute Lombardie, les mines attaquent un grand filon qui s'étend sur une soixantaine de kilomètres d'ouest en est et que coupent les vallées dans leur partie supérieure, c'est-à-dire entre 600 et 1500 m d'altitude. Dans la haute Valbrembana, les mines se localisent dans les alpages, entre les derniers habitats permanents (1500 m d'alt.) et la chaîne de sommets qui les domine (2200 m d'alt.). Dans cette tranche altitudinale, la fixation d'habitats parfois importants a été démontrée (Toubert 1960 ; Menant 1987, p. 781). Cette répartition suggérée par les textes rappelle l'étagement des mines de la haute Durance : elles ont été ouvertes au bord du torrent du Fournel, vers 1000 m d'altitude, dans les escarpements de quartzites, jusque vers 1500 m d'altitude, et dans la montagne agropastorale de Dormillouse entre 1900 et 2100 m d'altitude. Les conditions environnementales de ce site de haute montagne ne sont pas sans rappeler celles de Brandes (enneigement total de décembre à mai/juin, tourbières nombreuses sur le plateau de Fangeas). Or, les travaux miniers sont plus anciens et l'activité est florissante aux XIe-XIIe siècles. Les mines sont la propriété de familles locales et de l'Église d'Embrun. Le comte d'Albon peut prétendre à une portion des revenus (1/20e) seulement à partir de la deuxième moitié du XIIe siècle. Le cadre chronologique, politique, et certainement juridique, diffère donc de celui des mines de Brandes.

L'existence de structures d'occupation en relation avec l'activité minière est supposée, mais elle n'a jamais été clairement démontrée avec des données écrites ou archéologiques claires et fiables. Pour éclaircir ce point, nous proposons une analyse croisée de la documentation archéologique et paléoécologique, produite grâce aux travaux de prospections et de sondages archéologiques réalisés par l'équipe de K. Walsh et Fl. Mocci entre les années 1998 et 2000 et par notre équipe en 2004 et 2005, dans le cadre des trois programmes de recherches pluridisciplinaires conduits dans ce secteur entre les années 2000 et 2008.

IV.I.1. Résultats synthétiques des prospections archéologiques : données sur l'habitat médiéval dans la vallée de Freissinières

La campagne de prospection archéologique inventaire conduite en 1998 par l'équipe de K. Walsh et Fl. Mocci a inventorié une série de sites d'occupation, échelonnés entre 1226 et 2190 m d'altitude, rattachés de façon incertaine à l'époque médiévale (Walsh, Mocci 1998 ; Walsh, Mocci 2003a). Les datations et la caractérisation de la nature des structures sont principalement basées sur l'appréciation du niveau de conservation et d'enfouissement des vestiges visibles, sur leur morphologie, leur oragnisation, et leur architecture. Aucun matériel n'a pu être découvert. Il est utile de rappeler que les maigres données textuelles conservées pour les XIe-XIIIe siècles ne sont d'aucun secours. La fouille archéologique seule aborde de manière frontale cette question épineuse.

Un premier site, appelé Sus le Moulin I (F04), a été repéré à 1226 m d'altitude au-dessus de la petite plaine de Pallon et du val de la Durance. Il présente des aménagements et des structures en pierre sur une butte qui domine le hameau de Pallon (Walsh, Mocci 1998). Les vestiges avaient d'abord été identifiés comme ceux d'une « maison-forte ». Puis, le site a été identifié par l'équipe de K. Walsh, avec réserve, comme une motte castrale. Mais aucun spécialiste des mottes ne l'a encore étudié ou seulement visité. Il n'a jamais bénéficié de travaux archéologiques, par contre il est connu depuis fort longtemps par les gens de la vallée et a fait l'objet de nombreux sondages clandestins. Ce site pourrait correspondre à un point de fixation d'un pouvoir local qui relaierait le château de Rame situé dans le fond de la vallée. Grâce à sa situation topographique dominante, il pouvait constituer un signal visuel fort et contrôler le passage situé à l'entrée de la vallée de Freissinières.

Un second site, appelé La Bastie (F58), situé à 1820 m d'altitude, a été interprété par l'équipe de K. Walsh, toujours avec réserve, comme un établissement perché de type motte castrale (Walsh, Mocci 1998) (*cf.* carte 2, p. 547). Ses dimensions n'ont pas été relevées. Les vestiges dominent l'actuel hameau de Dormillouse et l'entrée de la vallée de Chichin. Des structures partiellement enfouies de forme radioconcentriques occupent une vaste butte structurée en terrasses. Des vestiges d'aménagements au sol (structures en pierres sèches) ont été repérés sur le plateau sommital. D'après nos observations, ils pourraient correspondre à

une enceinte qui cernait le sommet de la butte du côté d'une pente douce qui surplombe les aménagements des terrasses. Seule la réalisation de travaux archéologiques confirmera la chronologie de ce site et précisera la nature de l'occupation qui demeure problématique.

Un troisième site, appelé La Balme (F 59), situé à 1820 m d'altitude dans la première portion de la vallée de Chichin (*cf.* carte 2, p. 547), comprend les vestiges d'une quarantaine de structures (cabanes) réparties sur trois terrasses qui forment un site homogène. Trois zones ont été caractérisées. La première est composée de six structures implantées juste au sud du sentier qui conduit à Dormillouse. À 50 m au nord de cette zone, un ensemble d'une vingtaine de structures est délimité par un fossé recouvert par des dalles pour faciliter le passage. Sur le versant nord de la seconde zone, un groupement de quinze structures a pu être caractérisé. Cet ensemble important a été interprété comme pouvant être en relation avec l'exploitation minière du vallon de Chichin (Walsh, Mocci 1998). Or, les vestiges miniers repérés dans cette zone par le B.R.G.M., non loin du lieu-dit le « Minier d'argent », paraissent limités à des travaux de recherches localisés. Il est donc peu probable qu'ils aient généré la création d'un groupement de structures d'habitat aussi important. Malgré l'absence de matériel archéologique en surface, sa relation avec les activités agropastorales saisonnières est plus probable.

Un quatrième site, appelé Pré Gauthier (F57), situé à 1800 m d'altitude, non loin du site de La Bastie, est composé de nombreuses structures en élévation – cabanes, murets, enclos – formant un vaste hameau dont l'occupation, d'après l'équipe de K. Walsh, paraît contemporaine du site de La Bastie (Walsh, Mocci 1998 ; *cf.* carte 2, p. 547). Cette hypothèse est basée sur la seule observation de l'organisation des aménagements et de l'architecture des structures d'habitat. Le toponyme rappelle le nom d'un seigneur de Freissinières, Gauthier, mentionné en 1275-1280[151], mais rien ne permet d'établir avec certitude le lien chronologique entre ces structures d'occupation et ce seigneur local pour lequel nous ne bénéficions d'aucun autre renseignement que sa signature apposée dans quelques actes.

Un cinquième site, appelé Coste de Tonis I (F67), situé à 2240 m d'altitude, en amont des mines de Faravel I, a été interprété comme étant potentiellement en relation avec l'exploitation des gîtes de galène argentifère (Walsh, Mocci 1998 ; *cf.* carte 2, p. 547). D'après le rapport de prospection, il se compose de dix structures d'occupation très similaires. La plupart sont rectangulaires (10-15 m x 5 m) avec des murs constitués de gros blocs. Une

[151] ROMAN (J.), *Tableau historique…*, I, p. 57.

des structures avec des murs bien bâtis comporte une partition. Un autre, située à l'extrémité sud-ouest, a conservé des éléments de toitures en lauzes. Dans plusieurs de ces structures, la présence de niches construites dans un des murs internes a été relevée. Les bâtiments sont semi-enterrés et occupent un replat qui présente une pente naturelle orientée du nord vers le sud. Les structures sont bâties très proches les unes des autres et constituent des groupements de trois à cinq bâtiments.

Ce site paraît se rattacher à la même dynamique d'occupation et d'exploitation de la montagne que le sixième site, appelé Coste de Tonis II (F68), situé à 2010 m d'altitude (*cf.* carte 2, p. 547). Il est composé de vingt-huit structures dont les caractéristiques sont très similaires avec celles de Coste de Tonis I. Trois structures de cet ensemble sont plus enfouies et paraissent plus anciennes. Mais, en l'absence de matériel et sans l'acquisition d'éléments chronostratigraphiques fiables, rien n'autorise à valider cette chronologie relative.

La relation possible entre ces deux établissements et la mine, fondée sur des critères strictement morphologiques – les structures identifiées comme étant pastorales, généralement rattachées à des périodes plus hautes, sont le plus souvent circulaires, quadrangulaires, et isolées ou rattachées à des enclos – ne s'appuie sur aucun autre critère, sinon leur proximité géographique avec les mines et leur ressemblance avec les structures d'habitat de Brandes-en-Oisans (Walsh, Mocci 1998).

Un septième site, nommé Fangeas IV (F14), situé à 2010 m d'altitude sur le plateau de Fangeas, a également été mis en relation (toujours très hypothétique) avec l'activité minière (*cf.* carte 2, p. 547). Il s'agit d'aménagements structurés en blocs et dalles de pierre. Une seule habitation relativement vaste (ou un groupe de cabanes aux dimensions modestes) a été identifiée. Aucun élément archéologique fiable ne permet cependant d'affirmer sa relation avec l'activité d'extraction (Walsh, Mocci 1998).

Enfin, le dernier site rattaché à l'époque médiévale et/ou à l'époque moderne, appelé Faravel X (F65), situé sur le plateau de Faravel à 2190 m d'altitude, est un ensemble de sept structures pastorales (*cf.* carte 2, p. 547). Une première structure de 20 x 6 m, avec une prolongation des murs vers le nord, a été identifiée comme un enclos. Une seconde structure plus complexe est composée de deux pièces dont une d'entre elles est partitionnée. Plus à l'est, une structure rectangulaire de 4 x 3 m, a été interprétée comme un habitat lié à l'exploitation minière (Walsh, Mocci 1998). Au nord, il existe une autre structure de 20 x 5 m

avec une partition à l'est. Les trois autres structures identifiées sont quasiment toutes identiques : rectangulaires (15-20 m x 5 m) et pour la plupart partitionnées en deux espaces.

- . -

Avec cependant des réserves, les résultats de ces prospections mettent en évidence quatre type d'habitats susceptibles d'être médiévaux. Le premier est un habitat fortifié qui constitue un point de guet et de symbole d'un pouvoir. Le second est un habitat groupé et perché structuré autour d'un point de fixation d'un pouvoir seigneurial. Le troisième est un habitat groupé associé à des aménagements pastoraux (enclos) en connexion probable avec l'exploitation des prés d'altitude et des pâturages. Mais, pour ce dernier type de site, il n'est pas possible de vérifier si toutes les structures, identifiées comme faisant partie d'un seul site, étaient occupées au même moment et avaient la même fonction. Enfin, le dernier type est un habitat groupé composé de cabanes rectangulaires semi-enterrées bien bâties, en relation purement hypothétique avec l'activité minière. Or, les vestiges archéologiques visibles en surface notamment ceux qui sont situés à proximité des gisements métallifères n'apportent aucun élément chronologique ou stratigraphique caractérisant de façon fiable la nature des constructions et les modalités d'occupation.

Les travaux d'A. Durand sur l'exploitation et la gestion du paysage médiéval de haute montagne (Durand 2004, I), et nos travaux sur les modalités d'exploitation des ressources minières et forestières à la même époque, ont donné lieu à plusieurs opérations programmées[152] (principalement des sondages). L'objectif était de recueillir des informations archéologiques et d'obtenir des éléments de datation fiables (Walsh, Mocci 2003a ; Py 2005 et 2006b). Soupçonnés comme étant en relation avec l'activité minière, les sites choisis prioritairement pour une investigation archéologique plus approfondie sont tous situés en haute montagne, non loin des sites d'extraction majeurs.

[152] Les campagnes de fouilles archéologiques réalisées par K. Walsh et Fl. Mocci visaient en priorité des sites de datation plus ancienne (préhistoire – antiquité).

IV.1.2. Investigations sur le site de Coste de Tonis I

Prospecté par l'équipe de K. Walsh en 1998, le site de Coste de Tonis I a attiré en premier lieu notre attention. La relation possible entre cet établissement et la mine était à établir avec des éléments archéologiques fiables ou à invalider grâce à l'ouverture de sondages.

Organisation générale du site

Effectué en 2004 par B. Ancel, le relevé topographique du secteur apporte des précisions sur l'organisation spatiale de ce site. Il met en évidence plusieurs groupements de structures implantées sur une série de replats étagés sur une pente orientée nord-sud. Un premier replat situé à 2200 m d'altitude comprend une série de sept structures réparties de part et d'autre du sentier pédestre actuel (*cf.* fig. n°48, p. 913). La structure CT1, la plus à l'est, est orientée nord-nord-ouest/sud-sud-est. Elle est de forme rectangulaire et partitionnée en deux pièces. L'entrée est située à l'extrémité sud-est. À l'ouest, un ensemble de cinq structures rectangulaires à carrées semi-enterrées, homogènes, orientés nord-ouest/sud-est (CT2, CT3, CT4, CT5 et CT6) s'étend d'ouest en est. Les structures CT2, CT3 et CT4 sont accolées comme pour faire front à la dureté du climat. Les structures CT5 et CT6 sont mitoyennes. Toutes les entrées sont aménagées au sud-est. La dernière structure, CT7, paraît isolée de ce groupement. Elle est orientée nord-sud. Elle est de forme rectangulaire et partitionnée en deux pièces avec une entrée au sud.

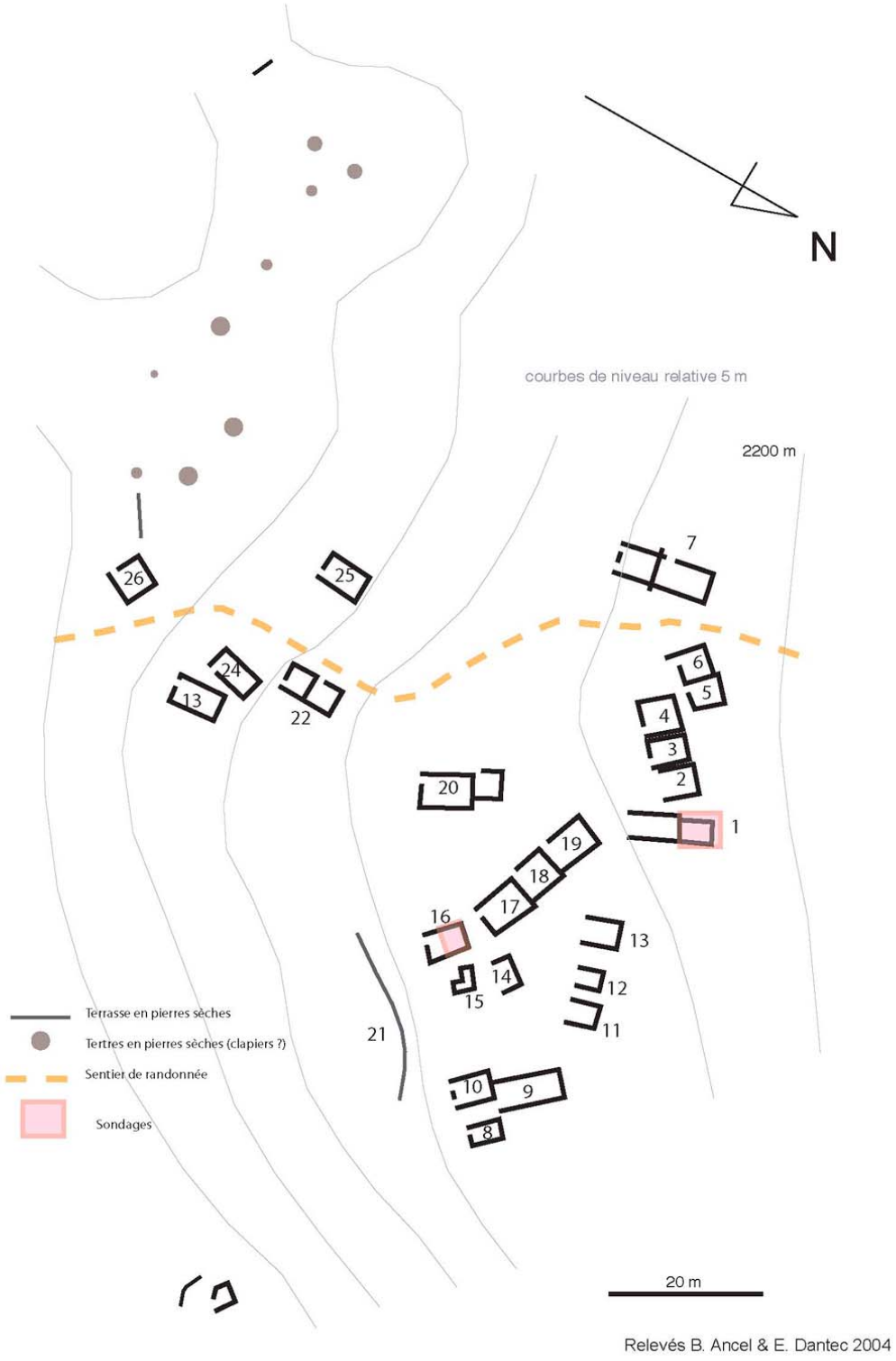


Fig. n°48 : Relevé topographique et localisation des structures du site de Coste de Tonis I.

Le second replat situé 5 m plus bas est jalonné d'une série de 14 structures. La rupture de pente située juste en aval est marquée par un alignement de blocs qui s'apparente à une terrasse en pierres sèches (CT 21). Ce replat offre un point de vue remarquable sur la terminaison de la vallée de Freissinières. Les trois structures les plus à l'est forment un ensemble homogène (CT8, CT9, CT10). Elles sont orientées nord-ouest/sud-est. Deux petits bâtiments de forme rectangulaire et ouverts au sud-est (CT8 et 10) sont accolés à l'extrémité sud-est d'un bâtiment rectangulaire plus vaste (CT9). À l'ouest, une série de trois structures rectangulaires alignées, orientées nord-sud, constituent un autre groupement homogène (CT11, 12, 13). Plus à l'ouest, trois bâtiments rectangulaires accolés alignés sur un axe nord-ouest/sud-est (CT17, 18, 19) forment un autre groupement apparemment homogène. Au sud-est de cet ensemble, trois structures de petite taille : un bâtiment rectangulaire orienté nord-ouest/sud-est (CT16) ; un petit bâtiment en L (CT15) et une petite cabane rectangulaire ouverte au SE (CT14) constituent un groupement hétéroclite. Toujours en direction de l'ouest, on trouve une structure isolée de ces groupements orientée nord-nord-ouest/sud-sud-est. Elle est de forme rectangulaire et partitionnée en deux pièces avec une ouverture au sud.

Le dernier groupement de cabanes se trouve plus en aval à 2190 m d'altitude. Les cinq structures aménagées sur une série de petits replats sont orientées nord-sud (CT22, 23, 24 25, 26). Elles sont toutes de forme rectangulaire avec une entrée au sud. Seule CT22 est partitionnée en deux pièces. Elles dominent un vaste replat jalonné de tertres en pierres sèches et de petites terrasses qui rappellent les aménagements des prés de fauche.

Toutes ces structures dont les phases d'occupation sont inconnues possèdent des particularités communes. Elles sont semi-enterrées. La partie enterrée est toujours bâtie contre la pente creusée verticalement. De cette manière, les bâtiments émergent à peine du sol et sont protégés des vents dominants. La pente naturelle du versant assure un bon drainage des sols, mais les maisons devaient conserver une certaine humidité. L'entrée est toujours ouverte au sud ou au sud-est comme pour faire entrer un maximum de lumière et de chaleur dans la maison durant la journée.

La morphologie des cabanes, l'état de conservation des vestiges et la mémoire de la population locale qui décrit ce site comme un lieu où l'on exploitait l'herbe depuis toujours et encore avant la seconde guerre mondiale, suggéraient au moins trois grandes périodes d'occupation dans ce secteur : contemporaine (XIXe s.), moderne (XVIIIe s.), et une phase plus ancienne (médiévale ?). Sans être des indices probants, deux pièces de mobilier métallique retrouvées fortuitement et hors contexte sur le Replat aux tertres attestent la

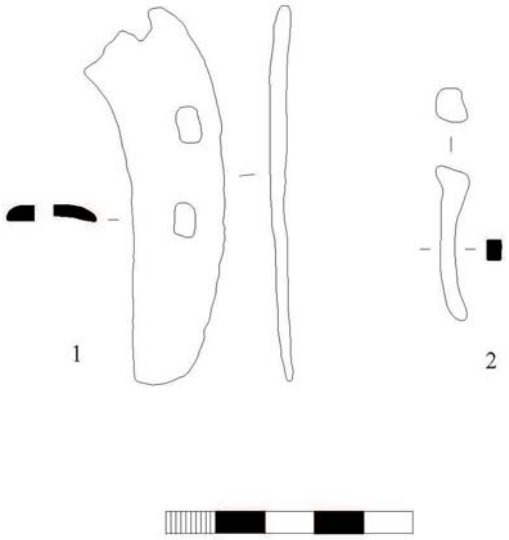


Fig. n°49 : Branche de fer à mulet de Replat aux tertres (Thuaudet 2007).

circulation d'animaux de bât dans le secteur à la fin du Moyen Âge. La première est une branche de fer à mulet avec une éponge sans talon et arrondie (1). Trois étampures, petites et rectangulaires, ont été conservées. Des débordements de matière consécutifs au travail de forge sont nettement visibles sur ses rives. Ils indiquent que cette pièce a peu servi. Elle est à rapprocher du type 3b de Rougiers qui apparaît au XIVe siècle. La seconde pièce est un clou de ferrure à tête plate de section carrée, et à tige de section rectangulaire (2). Des exemplaires similaires se retrouvent à Essertines depuis le XIVe jusqu'à la fin de l'occupation, au XVe siècle, et à Fangeas X aux XVe-XVIe siècles (*cf.* fig. n°49, p. 915) (Thuaudet 2007).

Malgré une homogénéité apparente, ces structures constituent des petits groupements, surtout différenciés par leur implantation topographique et leur orientation. Ils ont pu être occupés les uns indépendamment des autres, d'une génération à l'autre ou d'une période à l'autre. Il est évident que toutes ces structures sont le reflet de différentes phases d'occupation et de mise en valeur de l'espace, d'une organisation économique et sociale que nous sommes incapables d'appréhender sans l'apport de la fouille. La question de la saisonnalité de leur occupation est posée. Cette dernière est probable si on s'appuie sur des données ethnographiques concernant l'estive. Mais, les seules données sur l'habitat minier montagnard (Brandes) indiquent le contraire : des structures très similaires présentent une occupation permanente en relation avec l'activité d'extraction (Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994).

Les sondages archéologiques, réalisés en 2004 pour deux des structures les plus enfouies du site, CTI-1 et CTI-16, avaient pour objectif de démontrer les liens éventuels entre ces structures et l'exploitation des gisements métalliques. Parallèlement, il était indispensable de confirmer et de préciser la chronologie de l'établissement, d'appréhender l'organisation spatiale des vestiges au sein d'une structure et d'obtenir des données sur les modalités de l'occupation et de la gestion de cet espace de haute montagne aujourd'hui voué au pastoralisme. Enfin et surtout, nous souhaitions retrouver des dépôts carbonisés d'origine

domestique ou artisanale, datés, pour réaliser une étude anthracologique comparative avec les dépôts issus de l'activité minière.

Sondage de la structure de Coste de Tonis I-1 – 2200 m d'alt.

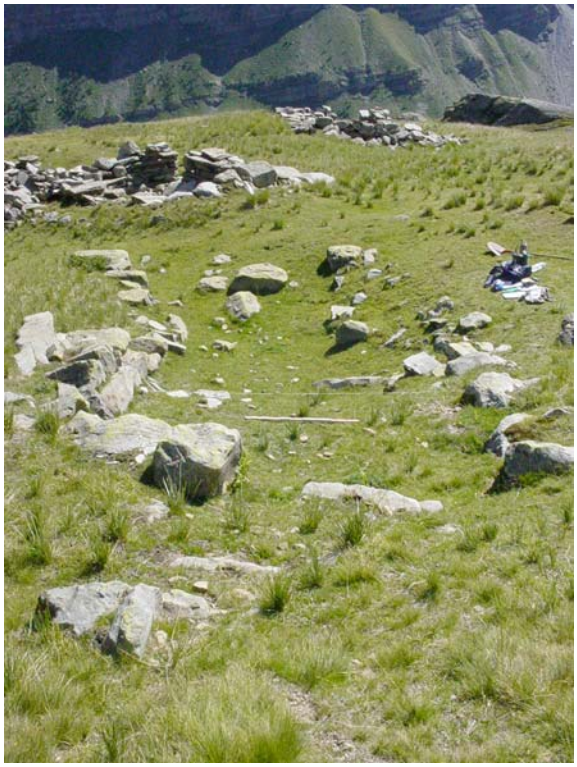


Fig. n°50 : Vue de la cabane depuis le nord, avant la fouille (cl. V. Py).

La première structure sondée (CTI-1) est une cabane rectangulaire semi-enterrée orientée nord-nord-ouest/sud-sud-est (fig. n°50, p. 916). L'élévation du mur de soutènement orienté est-ouest est assez bien conservée (fig. n°51, p. 917). Il mesure 3,3 m de longueur et présente une forme légèrement absidale. Le tracé des murs latéraux est perceptible grâce à quelques gros blocs alignés, en partie dissimulés sous le tapis d'herbacées. Le tracé du mur ouest est visible sur 11,2 m de longueur et celui du mur est sur 12,7 m de longueur. La cabane semble subdivisée en deux cellules assez distinctes. De telles structures à forme absidale ont été repérées dans des sites montagnards (1500-1700 m d'altitude) du vallon du Fournel et de ses abords susceptibles d'être médiévaux et/ou modernes (Py 2002 ; 2003) et sur le plateau de Fangeas à 2000 m d'altitude (Walsh, Mocci 1998).

La zone de fouille (3 x 3,25 m) orientée dans l'axe de la structure concerne la pièce aménagée contre la pente. Notre choix a été déterminé par l'emplacement habituel des foyers domestiques installés dans le fond des cabanes et non pas du côté de l'entrée (Walsh, Mocci 2002). Un élargissement de la zone de fouille de 1 x 1 m a été réalisé au sud-est pour confirmer le partitionnement de la structure en deux cellules ou pièces. Il est attesté par un mur transversal de même facture que les murs latéraux. La pièce ouverte au sud est plus spacieuse que la pièce située au nord qui forme une sorte de petite terrasse surélevée car le substrat rocheux remonte à cet endroit. Habituellement, la pièce opposée à l'entrée équipée d'un foyer était destinée à l'activité domestique (préparation et prise des repas) et la seconde

pièce est réservée au stockage et/ou à rentrer quelques têtes de bétail pour la nuit. Pour le cas de CTI-1, la pièce à vivre étant fort petite pour le coucher (même si la position allongée n'est pas obligatoire), une cohabitation avec les animaux la nuit doit être envisagée dans la pièce plus spacieuse. Cette structuration de l'habitat en deux pièces diffère de celle de l'habitat du mineur à Brandes où les maisons de plain-pied ne comportent en général qu'une seule pièce où aucune cohabitation avec les animaux n'a été décelée (Bailly-Maître 2008, p. 38).

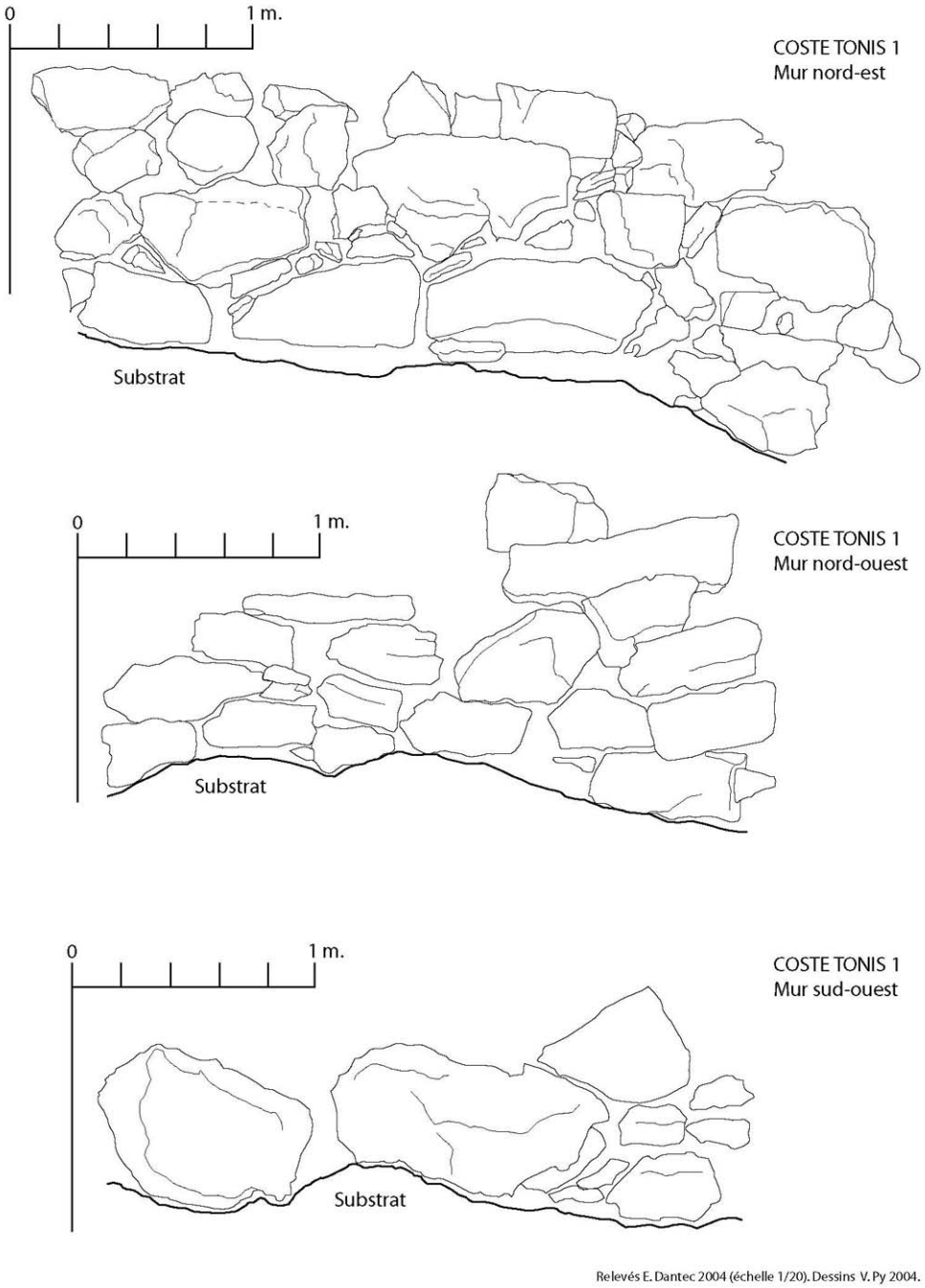


Fig. n°51 : Relevé des murs de CTI-1.

À CTI-1, la petite pièce à vivre a connu deux phases d'occupation caractérisées par deux foyers, l'un situé contre le mur ouest (foyer 1) et l'autre contre le mur est (foyer 2), de part et d'autre d'une butte du substrat morainique orientée nord-sud, en léger décalage avec l'axe de la cabane. Peu de temps paraît séparer leur utilisation puisque aucune couche d'abandon ou de remblai entre les deux phases d'occupation n'a pu être caractérisée. Mais, cette hypothèse est à nuancer sachant que la toiture constituée de lauzes – très abondantes dans la couche d'effondrement de la toiture – a pu rester en place pendant plusieurs années, voire des dizaines d'années, et protéger le sol de la cabane entre deux ou plusieurs occupations. Les deux foyers présentent une typologie similaire. Ils sont lovés dans une petite dépression du substrat rocheux rubéfié, ramassés dans un petit carcan de pierres et de petites dalles plates aménagées grossièrement en forme quadrangulaire et adossés contre la base d'un mur. Le foyer 2 est légèrement surélevé. Le fond des foyers repose presque directement sur le substrat rocheux, dont le niveau est égalisé dans les zones nord et nord-est avec un léger remblai de terre battue très compacte. Les occupants ont vécu directement sur le sol rocheux dans la partie centrale de la cabane (aucun lambeau de sol n'a été reconnu sur le rocher) et sur ce remblai dans les parties latérales.

Les arases, les substructions et la couverture sont en pierre, mais l'utilisation de matériaux périssables est probable pour les élévations supérieures (pans de bois). Les gros fragments de charbons de bois et le morceau de rondin carbonisé, découverts dans la couche d'effondrement des élévations et du toit de la cabane, seraient les résidus d'éléments de charpente ou d'élévation incendiés (*cf.* fig. n°52, p. 919). La construction des substructions, faites de gros blocs irréguliers et de dalles plates provenant d'une carrière naturelle située juste en amont du site, est très sommaire. Les murs ne sont pas fondés, mais reposent sur une assise de base constituée de gros blocs de pierre. Comme à Brandes, les portions de murs conservées ne présentent pas de parements. La grosseur des blocs donne une importante épaisseur aux murs qui approche parfois le mètre (80 cm en moyenne) et suffit à assurer l'isolation de la maison (Bailly-Maître 2002, pp. 170-171). Par endroits, des petites pierres ont servi à combler les trous et de la terre a servi à colmater les jointures des parements internes. Les blocs ne sont pas ou sont très peu retaillés. Les habitants ont construit les murs de leur habitat avec les pierres dont ils disposaient sur place sélectionnées en fonction de leur morphologie.

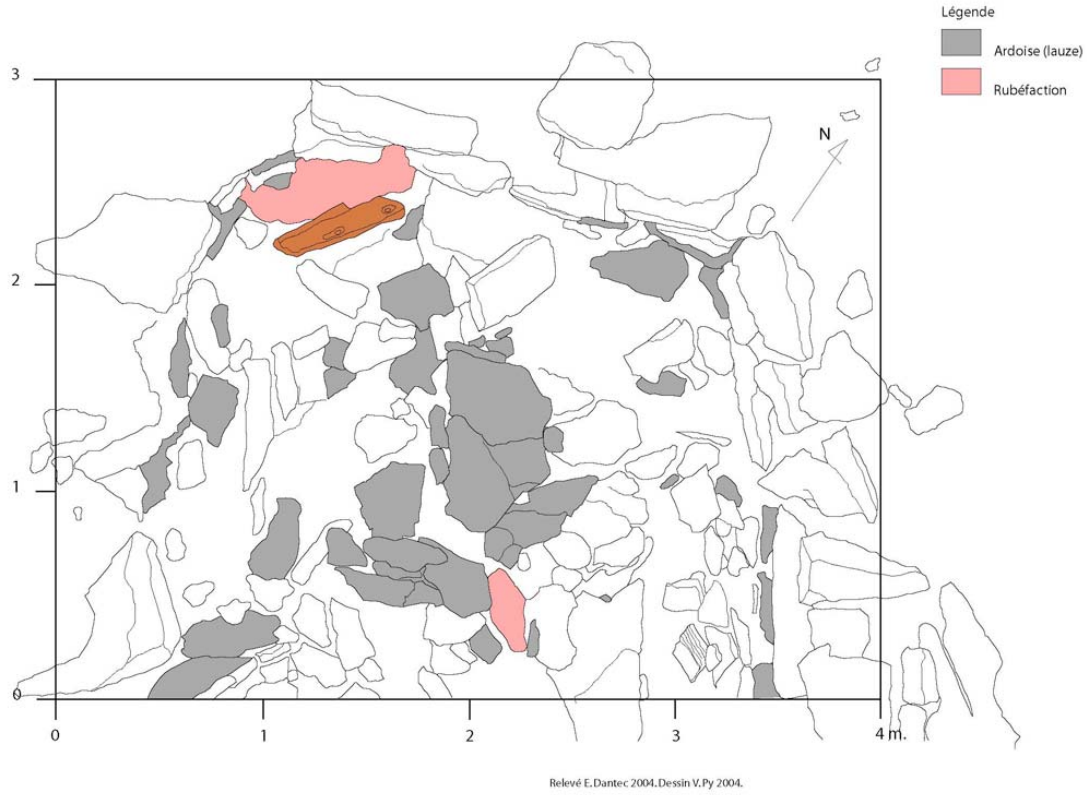


Fig. n°52 : Relevé en plan de l'US 105 avec localisation des lauzes et d'un bois à demi-carbonisé.

Fig. n°53 : Mortier en pierre in situ (cl. V. Py).

Les foyers sont à vocation domestique car aucun élément fiable lié à la métallurgie ou à un autre artisanat du feu n'a été repéré. Un mortier en pierre avec un bec piqueté a été retrouvé dans l'épandage du foyer 2 (fig. n°53, p. 919). Les traces de feu et les quelques tâches vitrifiées visible à l'intérieur du récipient démontrent qu'il a servi à cuire. L'absence de déchets provenant d'une activité métallurgique, aussi limitée soit-elle, ne permet pas d'avancer l'hypothèse d'un usage artisanal (fonte de minerai).

L’échantillonnage anthracologique a été conduit dans toutes les unités présentant des dépôts carbonisés. L’analyse concerne la couche d’épandage du foyer 1 et la couche d’épandage du foyer 2. Une datation radiocarbone classique réalisée à partir des derniers cernes de croissance d’une branche carbonisée date la dernière utilisation du foyer 2 de la première moitié du XVe siècle, âge calibré (1405-1447 ap. J.-C.).

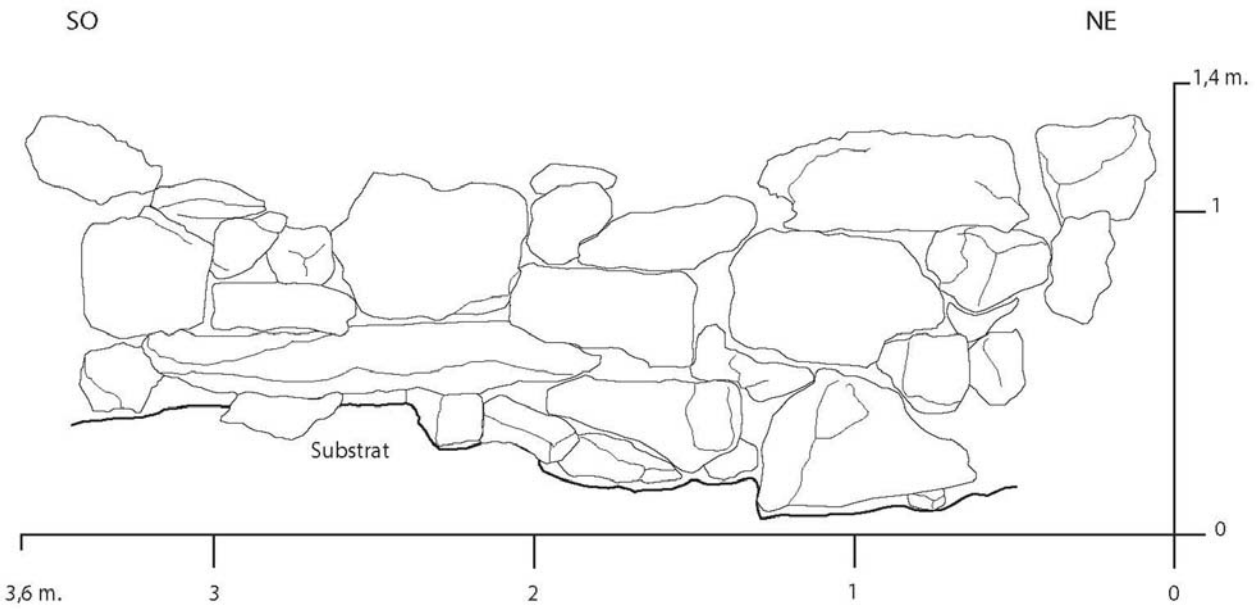
Sondage de la structure de Coste de Tonis I-16 – 2190 m d’alt.

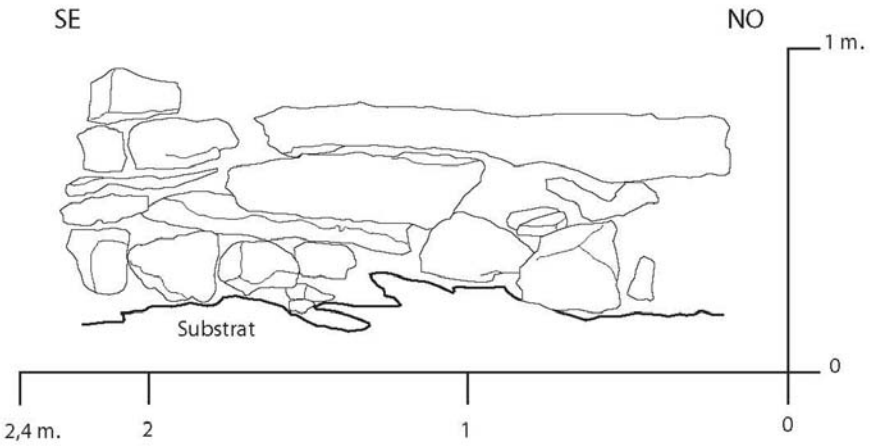
Fig. n°54 : Vue du site depuis le NO avant la fouille (cl. V. Py).

La seconde cabane qui a fait l’objet d’un sondage (CTI-16) est de forme rectangulaire. Elle est constituée d’une seule pièce d’environ 14 m^2 (fig. n°54, p. 920).

Son emplacement est surtout perceptible grâce à une dépression formée par son implantation semi-enterrée, orientée nord-ouest/sud-est. Elle mesure environ 3,2 m de largeur et 4,4 m de longueur. Au nord-ouest, la partie enterrée est adossée contre la pente où l’élévation du mur de soutènement est assez bien conservée. Après dégagement, elle atteint une hauteur maximale de 1,2 m (fig. n°55, p. 921). Le tracé du mur sud-est est perceptible par quelques gros blocs alignés. Le tracé du mur nord-est est visible au nord-ouest grâce à une belle dalle calcaire de 1,25 m de longueur. Dans sa portion sud-est, seuls quelques blocs alignés trahissent la présence d’un mur. Enfin, le mur sud-est présente une entrée, large d’environ 80 cm, adossée perpendiculairement contre la terminaison du mur sud-ouest.

Le sondage a été implanté dans la moitié nord-ouest de la cabane, contre le mur de soutènement. Il a révélé une seule phase d’occupation matérialisée par les vestiges ténus d’un foyer. Le remplissage de la cabane se compose essentiellement de dépôts liés à la sédimentation naturelle et au colluvionnement (US 202 à 203) (fig. n°56, p. 922).





Relevé E. Dantec 2004 (1/20). Dessin V. Py 2004.

Fig. n°55 : Relevé des murs NO et NE.

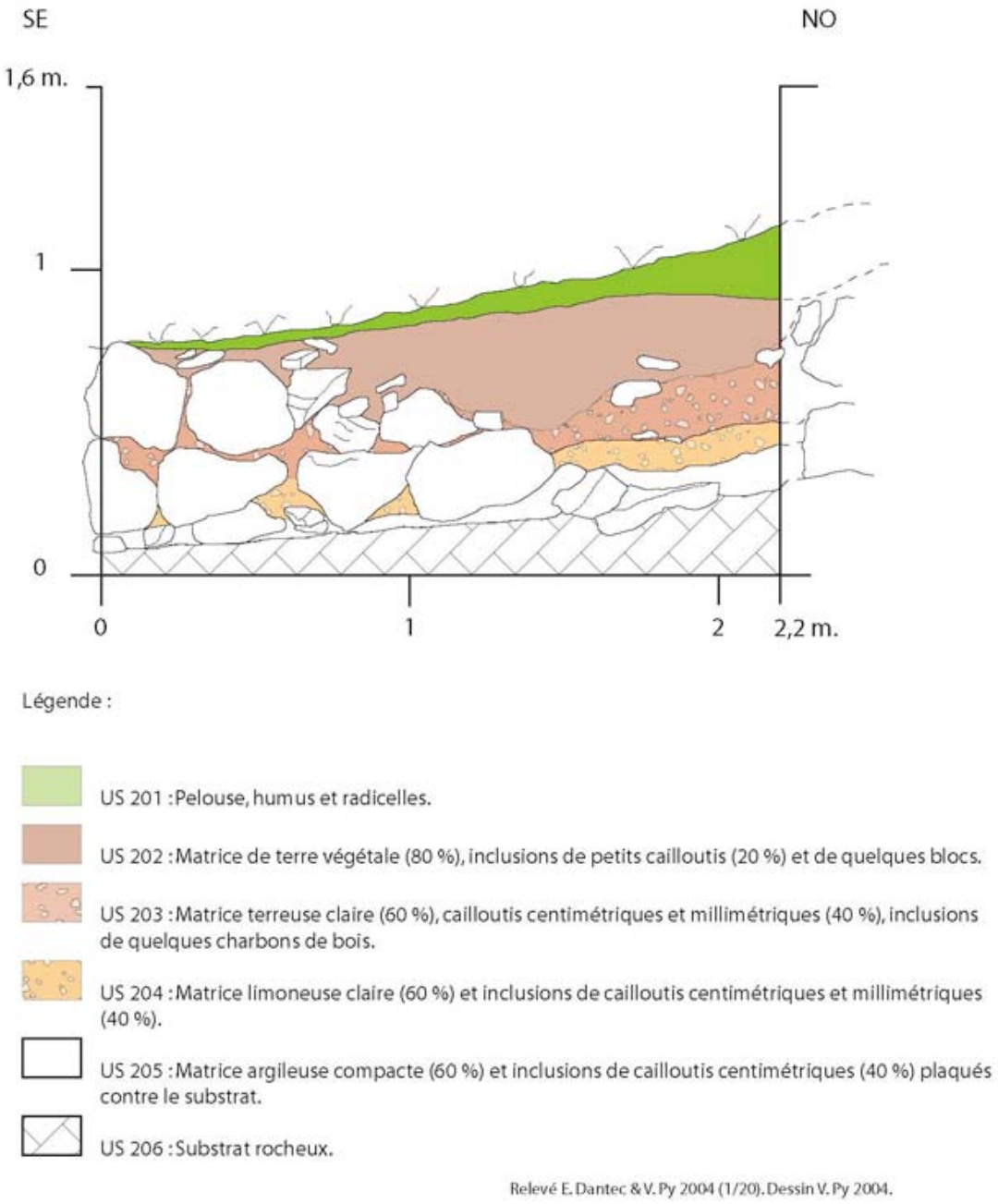


Fig. n°56 : Relevé de la stratigraphie au niveau du mur SO.

La fouille n'a pas montré une phase de destruction nette avec des éléments de toitures effondrés comme dans le sondage précédent. Cette stratigraphie peut indiquer un remploi des éléments de charpente et de toiture. Mais, l'absence de matériaux de construction et de couche de destruction caractéristique est très probablement le résultat archéologique de l'emploi unique de matériaux périssables pour la fabrication des élévations (pans de bois ou terre), de

la charpente et de la toiture (bois, chaume). Le foyer, marqué par une zone rubéfiée circulaire et de rares dépôts carbonisés dispersés, était lové dans une dépression du substrat rocheux. Le sol d'occupation est directement posé sur le substrat (unité 205). Il se caractérise comme pour le sondage précédent par une fine couche de terre battue. Aucun fragment de céramique n'a été retrouvé. Les traces d'occupation sont extrêmement ténues. L'allure de ces vestiges est probablement le résultat d'un mode de vie très rudimentaire à l'image de celui des agropasteurs qui occupent la montagne de façon saisonnière.

Seules deux couches ont fourni des dépôts carbonisés. La première, l'unité 203, située directement sous les couches de sédimentation naturelle (colluvionnement) correspond à la phase d'abandon du site. Le tamisage à la maille 4 mm de la totalité de la couche fouillée a recueilli des petits charbons de bois très dispersés. Ils peuvent provenir des vestiges d'un incendie des structures en élévation. Seuls ces dépôts ont été analysés. La seconde, l'unité 204bis, correspond à une faible concentration de charbons de bois résiduels provenant d'un foyer très mal conservé.

Les charbons de bois n'ont pas été datés par le radiocarbone car le budget attribué à cette opération était trop limité. Aucun élément de datation absolue n'est disponible à ce jour pour ce site qui paraît, au regard de son état de conservation, plus ancien que le site CTI-1. Par contre, il n'a pas encore été démontré que les cabanes couvertes de lauzes étaient plus récentes que les cabanes dont seules les substructions sont en dur. De plus, la présence ou non d'une toiture en pierre pose le problème d'une potentielle conservation différentielle des maisons couvertes de bois ou de pierre construites et occupées à la même époque.

IV.1.3. Investigations sur le plateau de Fangeas

Dans le cadre de la prospection inventaire diachronique du plateau de Fangeas (secteur de l'Abri de Fangeas) réalisée en 1998, l'équipe de K. Walsh et Fl. Mocci a inventorié une importante série de sites (substructions et/ou élévations en pierres sèches) (22 au total). La plupart paraissaient liées à l'exploitation de prés de fauche, encore attestée par des canaux d'irrigation et des clapiers, et à la production de fromage (Walsh, Mocci 1998). La morphologie des structures, leur état de conservation et quelques rares fragments de céramiques établissent deux grandes phases d'occupation et d'exploitation de cet espace. Une

première située entre la fin du Moyen Âge et le XVIIIe siècle et une seconde aux XVIIIe-XIXe siècles. Aucun site à concentrations d'éclats et d'outils de silex n'a été repéré. Ce plateau paraissait donc avoir été fréquenté, occupé et exploité tardivement malgré la présence des gisements métallifères, contrairement au plateau de Faravel fréquenté depuis le Mésolithique (Walsh, Mocci 2003a, p. 190). Cette zone humide et marécageuse qui forme un étroit vallon orienté nord-sud, dominé à l'ouest par le plateau de Faravel, à l'est par la Crête des Uvernaus et au nord par les falaises des Balmettes, a pu constituer à certains moments un espace répulsif pour les agropasteurs, du moins pour l'implantation d'une lieu d'occupation, depuis la fin de la préhistoire jusqu'à l'optimum médiéval, et durant le XIIIe siècle (dégradations). Pour vérifier cette hypothèse et confirmer l'absence de structures d'occupation en relation avec l'exploitation des gisements métallifères voisins, deux campagnes de sondages archéologiques ont été réalisées. Une première en 2002 sous la direction de K. Walsh et une seconde en 2005 sous notre direction (Walsh 2002 ; Py 2006b). Les sites nettement plus enfouis, arasés et isolés topographiquement des structures encore en élévation, ont été choisis en priorité. Les résultats obtenus nuancent les premières impressions.

Fangeas VI – 2010 m d’alt.

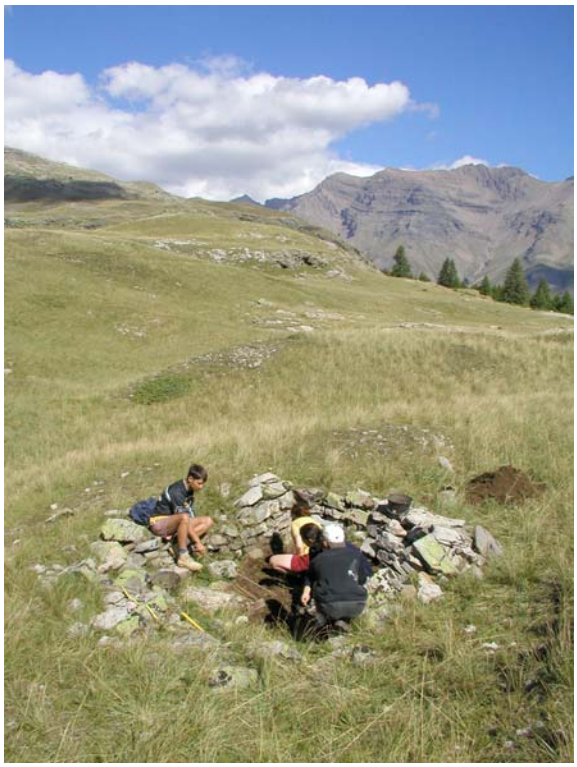


Fig. n°57 : Sondage dans la structure Fangeas VI par l’équipe de K. Walsh.

Le site de Fangeas VI (F16) est situé à 2010 m d’altitude dans la partie septentrionale du vallon de Fangeas. Il est constitué d’une seule structure d’une superficie de 7,60 m^2 (fig. n°58, p. 926). Elle est semi-enterrée, de forme presque carrée et orientée nord-sud. Sa moitié septentrionale a été sondée en 2002 par l’équipe de K. Walsh (Walsh 2002 ; fig. n°57, p. 925). Les substructions sont bâties en gros blocs de schiste non équarris et non liés. Elles reposent directement sur le substrat morainique. Les élévations sont conservées sur cinq à sept assises plus ou moins structurées. Le versant nord de la butte morainique où la cabane est insérée a été surcreusé de façon à protéger la cabane des vents dominants. Ce mode de construction est identique au mode adopté à Faravel et Coste de Tonis au Moyen Âge et à l’époque moderne. La cabane était couverte de lauzes dont de nombreux vestiges ont été retrouvés dans le niveau de destruction.

La fouille a mis en évidence une seule phase d’occupation caractérisée par un foyer aménagé contre le parement interne nord de la cabane. Un fragment de céramique glaçurée daté de la fin du Moyen Âge (XVe-XVIe siècle) a été retrouvé au contact du foyer avec quelques scories de plomb dont la présence est problématique. Leur nombre n’est pas assez élevé pour attester une activité métallurgique (réduction du minerai de plomb), mais il peut être le résultat d’essais de réduction pratiqués sur des fragments de minerai récupéré lors de prospections. En effet, il était courant de procéder à des essais de minerai avant tout développement de travaux miniers pour évaluer les teneurs en métal. L’analyse chimique de ces scories serait d’un grand secours pour préciser leur nature. Il n’est pas inutile de rappeler que le XVe siècle se caractérise dans les Alpes par une véritable fièvre de prospections et une vague de tentatives de reprise de très anciennes entreprises, notamment les mines d’argent

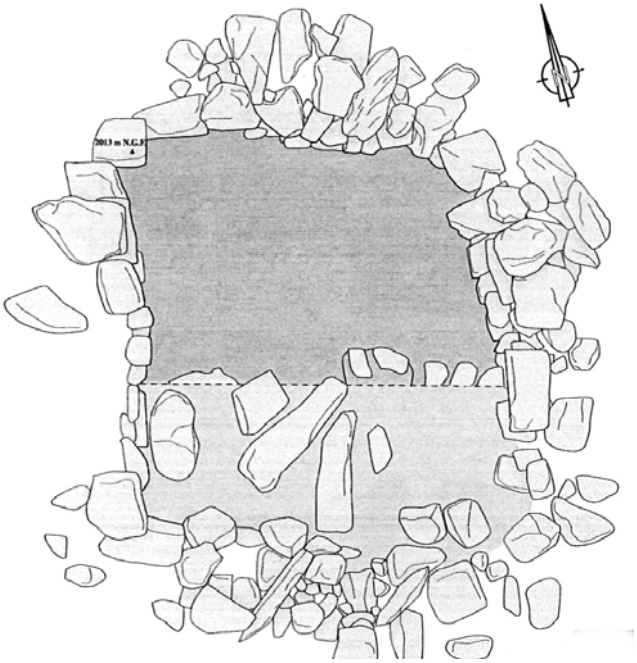


Fig. n°58 : Plan de Fangeas VI (in Walsh, Mocci 2002).

(Braunstein 1986, p. 156). Faravel n'échappe certainement pas à cette dynamique. Les prospections et l'observation des travaux miniers ont d'ailleurs mis en évidence des traces de tentatives de reprise caractéristiques du XVIIIe siècle (coup de fleurets), mais aussi plus anciennes (attaques par le feu). Cet indice, même petit, fait écho à la documentation écrite. En effet, en 1484, la fusine d'Arvieux est à nouveau en activité[153]. Elle ne traite plus de minerai de fer, mais du minerai de plomb argentifère (12 quintaux) extrait dans la montagne de Freissinières[154] (Sclafert 1926a, p. 607 ; Braunstein 1986, p. 157). Ainsi, l'occupation de cette cabane peut se rattacher à cette phase d'exploitation des mines de la montagne de Dormillouse qui n'est pas encore bien caractérisée par l'archéologie. La datation des ouvrages de recherche de Fangeas et des travaux du Réseau de la Cascade pourrait permettre d'éclaircir ce point crucial. La remise en service de la fusine d'Arvieux, même pour un court temps, puisque les textes sont muets sur la rentabilité de cette entreprise vouée à l'échec, doit avoir été motivée par la re-découverte des gisements de la montagne de Dormillouse. Mais, au regard des données concernant les travaux médiévaux, il est évident que les gisements découverts ou re-découverts n'ont pas offert la rentabilité escomptée. Les gisements les plus riches ont tous été repérés et exploités au Moyen Âge central. Ce schéma n'est pas isolé puisqu'il a été constaté pour l'ensemble des gîtes alpins qui ont fait l'objet d'anciens travaux (Ancel sous presse).

L'ensemble des dépôts carbonisés liés au fonctionnement du foyer a été échantillonné pour l'approche anthracologique. Ils constituent des éléments précieux pour caractériser l'état du couvert forestier dans le secteur de Fangeas plusieurs siècles après l'intense phase d'activité d'extraction des XIe-XIIe siècles.

---

[153] Cette usine est créée en 1311. Elle traite alors les minerais de fer de Bellin. Elle est dite « ruinée » en 1423 à cause de l'épuisement des filons (Braunstein 2003, p. 124).

[154] A.D.I., B 2821, f° 85 (1484), cité *in* Sclafert 1926a, p. 607, n. 1.

Fangeas VII – 2000 m d’alt.

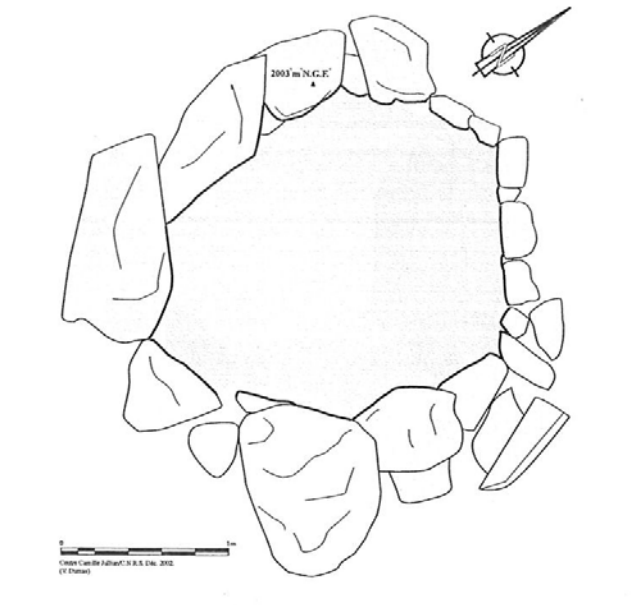


Fig. n°59 : Plan de Fangeas VI (in Walsh, Mocci 2002).

Le site de Fangeas VII a été intégralement fouillé en 2002 par l’équipe de K. Walsh. Il est constitué d’une seule cabane circulaire (2 x 2 m) orientée nord-est/sud-ouest qui est située à quelques mètres du site de Fangeas X (fig. n°59, p. 927). Elle est bâtie contre la rupture de pente d’une butte morainique. Les substructions constituées de blocs aménagés sur le substrat morainique ont été dégagées sur 80 cm de hauteur. Elles s’appuient au sud sur de gros blocs de grès en place (Walsh 2002, p. 16).

Deux niveaux d’occupation ont été identifiés. La cabane a été fréquentée à la fin du Moyen Âge ou au début de l’époque moderne. Un fragment de céramique vernissée, une épingle en bronze à tête boulée et quelques scories identiques à celles du site de Fangeas VI ont été retrouvés dans un niveau d’abandon (ou de destruction ?) riche en charbons de bois recouvert par des niveaux de destructions avec des charbons de bois et des blocs, et de comblement. La structure était couverte de bois ou de chaume puisque qu’aucun autre élément de couverture en pierre n’a été reconnu. Cette occupation probablement sommaire et temporaire, puisque aucun aménagement de l’espace n’a été identifié, recouvre de nouveaux niveaux de destruction riches en gros charbons de bois. Ils ont été interprétés comme les vestiges d’élévation et de toiture incendiées. Ils recouvrent un niveau d’occupation mélangé au sommet du substrat morainique pulvérulent (Walsh 2002, p. 16). Une datation radiocarbone obtenue pour le niveau d’incendie place la phase d’occupation la plus ancienne de cette cabane à la fin de l’époque carolingienne (1180 ± 80 BP soit 670-1000 ap. J.-C. âge calibré).

La dernière phase d’occupation de la cabane est peut-être contemporaine de l’occupation du site de Fangeas VI. La présence des scories de plomb est difficile à expliquer

car aucun foyer n'a été retrouvé. Elles n'ont manifestement pas été produites sur place (comme à Fangeas VI d'ailleurs), mais ont été apportées volontairement dans les lieux. Elles ont pu, comme l'élément de parure, avoir été perdues de façon accidentelle par la personne qui est venu fréquenter cet abri temporaire. S'agissait-il d'un prospecteur qui aurait conservé les déchets d'essais métallurgiques ou tout simplement d'un paysan qui aurait conservé ces « pierres » particulières découvertes fortuitement ? Aucun élément fiable ne permet de répondre à ces questions. Mais, sachant qu'aucun site à scories caractéristique d'une activité métallurgique itinérante ou d'atelier fixe n'a été retrouvé jusqu'à ce jour, l'hypothèse d'essais de réduction à proximité des gîtes pour évaluer la richesse en plomb du minerai ne doit pas être écartée. La difficulté réside dans la localisation de la structure d'essai du minerai qui relèverait d'un exploit car la réduction du minerai de plomb nécessite des installations sommaires, dont les vestiges sont souvent très ténus.

Fangeas X – 2000 m d'alt.

Fig. n°60 : Fangeas X en cours de fouille, pièce agricole (cl. V. Py).

Le site de Fangeas X (F20) avait été inventorié en 1998 par l'équipe de K. Walsh (Walsh, Mocci 1998). Il comprend les vestiges d'une cabane rectangulaire semi-enterrée, orientée nord-sud, qui était apparemment partitionnée en trois cellules (fig. n°60, p. 928). Sa proximité géographique avec les sites de Fangeas VI et VII présentant une occupation de la fin du Moyen Âge – début de l'époque moderne associée à quelques scories de plomb et son état d'enfouissement ont motivé la mise en place d'une fouille archéologique réalisée lors d'une courte campagne en 2005 (Py 2006b). L'étude du mobilier été réalisée par G. Guionova (doctorante, L.A.M.M.) pour la céramique et par O. Thuaudet (doctorant, L.A.M.M.) pour les objets métalliques.

La cabane dégagée est particulièrement vaste avec une superficie totale de 48 m^2 (*cf.* fig. n°60, p. 928). Elle a été bâtie avec des gros blocs irréguliers, non équarris et non liés, contre une butte morainique surcreusée orientée nord-sud. Elle est composée d'une grande pièce principale et d'une pièce annexe, très étroite, dont l'accès se faisait par l'extérieur (est). Seules les élévations protégées par la butte morainique ont été assez bien conservées (1 à 1,20 m maximum). Les murs est et ouest présentent des éventrations importantes dans la partie centrale de la pièce qui avaient donné l'illusion d'une structure composée de trois pièces (Walsh, Mocci 1998) (*cf.* fig. n°61, p. 929). Dans la grande pièce qui présente une porte aménagée dans le mur sud, deux phases d'occupations ont été identifiées. Un important niveau de destruction composé de blocs et de dalles de schistes éclatées ou plantées à la verticale a livré des gros charbons de bois épars, du mobilier céramique et du mobilier métallique (*cf.* fig. n°62-63, pp. 930-931).

Fig. n°61 : Vue du mur ouest (cl. V. Py).

Le mobilier métallique, assez exceptionnel par sa richesse pour ce type de sites, se compose d'une sonnaille de petite dimension (2), d'une lame de couteau (3), de clous et de clous de ferrure (6, 7, 8). La sonnaille possède une robe évasée latéralement façonnée à partir d'une tôle emboutie dont les bords soudés et rivetés se rejoignent sur un seul côté. Cet objet a été comparé à certains exemplaires du type 2 de Rougiers recensés dans des niveaux datés du milieu du XIIIe au milieu du XVe siècle. Des exemplaires similaires ont été retrouvés dans un contexte du XIVe siècle à Marseille, dans un contexte du milieu du XIVe siècle au Paradou, en Corse, et à l'Ortolo dans un contexte daté de la fin du XVe ou du début du XVIe siècle. De tels objets sont encore utilisés de nos jours au cou des capridés.

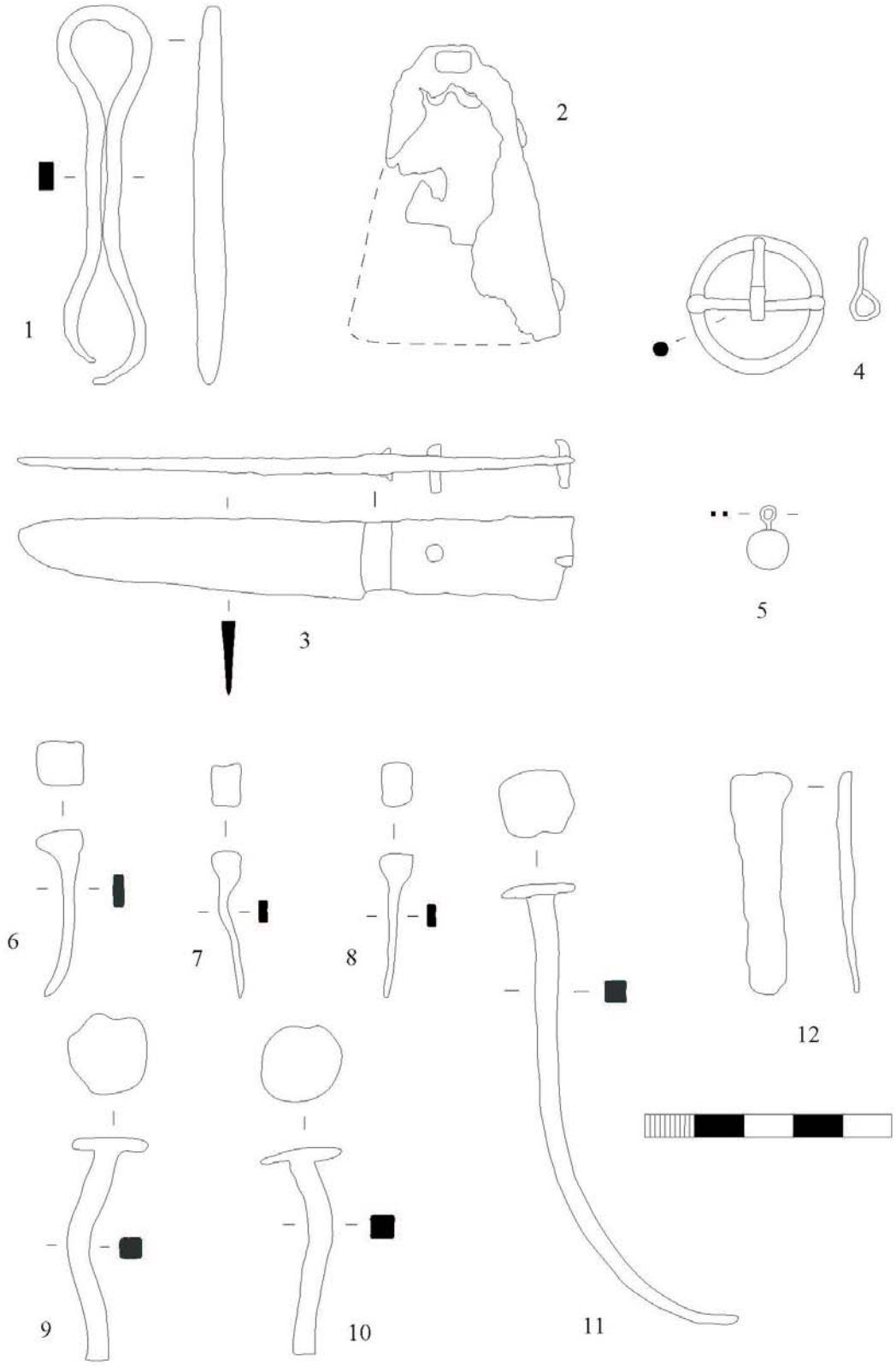


Fig. n°62 : Mobilier métallique de Fangeas X et de Fangeas IV (Thuaudet 2007).

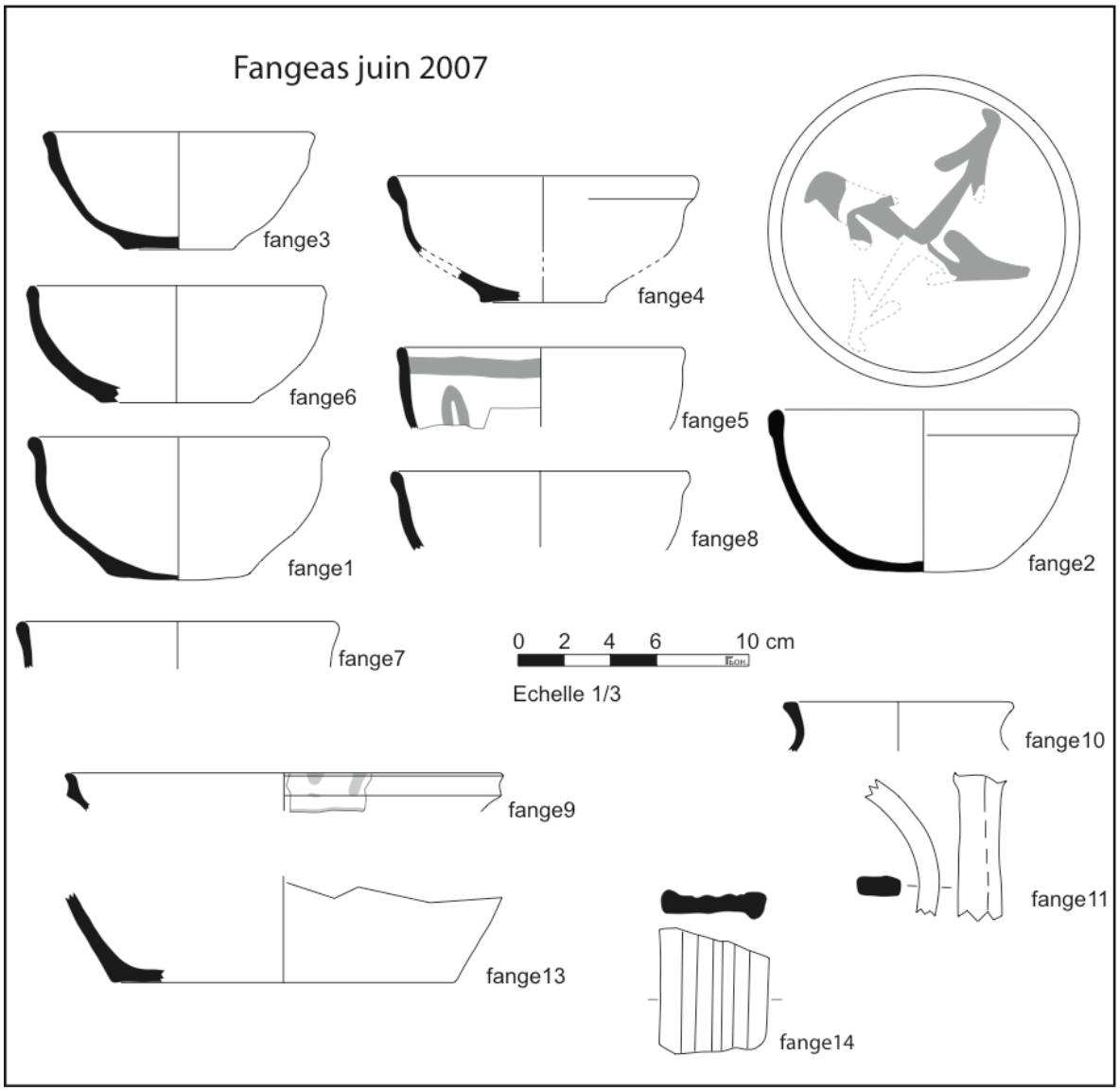


Fig. n°63 : Mobilier céramique de Fangeas X (Guionova 2007).

Le couteau présente un dos droit et fin, un tranchant droit, mais incliné, à large soie placée dans la continuité du dos. Il possède deux rivets cylindriques sur sa soie. Les parties du manche aujourd'hui disparues, sans doute en bois ou en os, ont probablement été emboîtées en force. La longueur des rivets indique une épaisseur du manche de 1 cm. Il n'a pas été possible de lui trouver de correspondance typologique, sans doute à cause de sa datation de la fin du Moyen Âge-début de l'époque moderne, période pour laquelle le mobilier métallique est mal documenté (Thuaudet 2007).

Le mobilier céramique retrouvé dans les niveaux de destruction de la cabane est très homogène (*cf.* fig. n°63, p. 931). La majorité des formes sont des bols hémisphériques. Leur faciès morphologique et les caractéristiques techniques les rattachent à une fourchette large XVIe-XVIIe siècles. La provenance locale du matériel et la rareté des publications n'ont pas favorisé sa précision. La couleur et le motif de décor d'un des récipients rappellent des bols décorés datés des XVe-XVIe siècles découverts dans la chapelle Saint-Jean de l'Argentière. La prédominance des formes ouvertes de caractère non réfractaire indique que cette vaisselle était destinée à la consommation des aliments et non pas à leur préparation au feu. Par ailleurs, aucune trace de chauffe n'a été relevée sur les tessons sinon des traces de carbonisation liées à un incendie attesté par ailleurs par de gros charbons de bois dans les niveaux de destruction (Guionova 2007). Ces niveaux recouvrent un fin niveau de limons argileux rougeâtres avec des inclusions de charbons de bois, interprété comme un niveau de circulation daté de la fin du Moyen Âge-début de l'époque moderne. Il a livré un clou et un clou de ferrure identiques à ceux découverts dans les niveaux de destruction et quelques fragments de céramique qui recollent avec ceux des niveaux de destruction (Guionova 2007 ; Thuaudet 2007). Cette occupation sommaire très probablement XVe-XVIe siècles rappelle la phase d'occupation (fréquentations) datée de la fin du Moyen Âge-début de l'époque moderne des sites Fangeas VI et VII.

Ce niveau recouvre une nouvelle passe de destruction riche en dalles schisteuses de grandes tailles et en blocs. Elle couvre un niveau d'occupation en belles grandes dalles schisteuses qui reposent à plat sur le substrat constitué de sables jaunes liés à l'érosion glaciaire. Ce niveau est associé à une banquette de terre compactée adossée à la base des substructions. Elle a pu servir de renfort aux substructions aménagées dans le substrat sableux et meuble. Deux pierres à faux d'une belle facture ont été découvertes contre le mur est, au niveau du bourrelet de terre. Elles attestent la vocation agropastorale de la structure (exploitation des prés de fauche). Cette pièce a pu servir de stockage au foin (grange).

La pièce annexe est aménagée sur le substrat rocheux. Elle est surélevée par rapport à la grande pièce (comme à Coste de Tonis I-1) (fig. n°64, p. 933). Les murs sont bâtis avec des blocs irréguliers non liés. Le mur sud qui la sépare avec la pièce voisine est de facture très sommaire. Il se compose de petits blocs liés à la terre. Un premier niveau de destruction riche en mobilier céramique glaçurée et en gros charbons de bois a été identifié. Il repose comme pour la grande pièce sur un niveau de circulation sommaire avec quelques fragments de céramique glaçurée et des inclusions charbonneuses peu abondantes. Il fait écho au niveau

Fig. n°64 : Pièce annexe en cours de fouille (cl. V. Py).

daté des XVe-XVIe siècles caractérisé dans la grande pièce (collage inter-couche des fragments de céramique). Il surmonte un niveau de circulation très compact et sombre avec d'abondantes inclusions charbonneuses. Un foyer très sommairement aménagé a été identifié grâce à une zone rubéfiée à l'ouest de la petite pièce. La couche a été intégralement prélevée puis tamisée à l'eau. L'analyse radiocarbone des charbons de bois date cette occupation du milieu du XIe-début du XIIIe siècle (âge calibré) avec des pics de probabilité compris entre le milieu du XIe et la deuxième moitié du XIIe siècle. Cette occupation repose directement sur le substrat rocheux.

Un maillon de chaîne de crémaillère (1) et une boucle circulaire en fer (4) ont été retrouvés à la base de l'angle nord du mur nord-ouest de la petite pièce, associés à un tesson de céramique non glaçurée (*cf.* fig. n°62-63, pp. 930-941). Le maillon de chaîne crémaillère est similaire à de mêmes objets retrouvés à Pech de Bonal, site daté de la première moitié du XIIIe siècle et signalés à Colletières et aux Grands Roseaux, sites datés du XIe siècle. La boucle circulaire présente une traverse diamétrale assemblée par soudure. Elle possède encore son ardillon qui mesure 2,3 cm de diamètre. Elle présente des similitudes avec un ensemble de boucles cuivreuses d'un diamètre moyen de 1,8 cm, parfois convexes, et trouvées régulièrement en fouille. Ces objets sont interprétés comme des fixations d'éperon ou de chaussures (Thuaudet 2007). Le tesson de céramique très mal conservé est un fragment d'anse rubanée assez large, à pâte dure micacée. Il peut s'agir d'une forme culinaire dans l'esprit des marmites très répandues ailleurs aux XIIIe-XIV^e^s (Guionova 2007 ; *cf.* fig. n°63, p. 931).

Ces éléments de datation basés sur le matériel réduisent la fourchette radiocarbone. Ils supposent une première occupation de la cabane durant le XIIIe siècle et peut-être un peu plus ancienne. Cette phase d'occupation médiévale doit correspondre dans la pièce voisine au niveau ancien de dalles. Cette hypothèse suggère que les pierres à faux sont médiévales. Une nouvelle phase d'occupation des cabanes, probablement de type agropastoral, a lieu aux XVe-XVIe siècle et se termine par l'incendie des éléments d'élévation et de charpente en bois.

Fangeas IV – 2010 m d'alt.

Fig. n°65 : Fangeas IV, implantation du sondage et décapage (c. V. Py).

Fig. n°66 : Fangeas IV en cours de fouille, vue de la banquette (substrat) contre mur est (cl. V. Py).

Le site de Fangeas IV (F14) a été inventorié en 1998 lors de la campagne de prospection inventaire (Walsh, Mocci 1998). Un petit sondage a été ouvert en 2005 contre le mur nord-ouest d'une structure rectangulaire très arasée et semi-enterrée construite contre une butte morainique orientée nord-sud (IVb) (fig. n°65, p. 934). À l'est, cette structure est mitoyenne avec une seconde structure carrée. Elles s'intègrent dans un ensemble de trois structures interprétées lors des prospections comme pouvant être en relation avec l'exploitation des mines (Walsh, Mocci 1998). Les murs se composent de gros et de petits blocs irréguliers montés à sec ou liés à la terre dont la première assise repose sur le substrat rocheux. Les niveaux de destructions présentent de nombreuses inclusions charbonneuses qui pourraient être les vestiges de structures en élévation et de la charpente incendiées. Les fragments de dalles schisteuses éclatées sont les vestiges d'une toiture en pierre.

Une seule phase d'occupation a été attestée. Le niveau de circulation repose directement sur le substrat rocheux, qui forme une banquette naturelle contre le mur est (*cf.* fig. n°66, p. 934), ou du remblai de terre battue. Il présente des inclusions charbonneuses dispersées probablement issues d'épandages

d'un foyer domestique. Dans les niveaux de remblais et de destruction, deux fragments de céramique datés des XVe-XVIe siècle ont été retrouvés. Directement sous le gazon, un bouton globulaire à bélière en laiton (5) a été découvert lors du décapage (*cf.* fig. n°62, p. 930). Ce type de bouton, assez souvent retrouvé dans des contextes de la fin du Moyen Âge, est encore utilisé de nos jours. Des exemples sont connus à Rougiers dès la seconde moitié du XIIIe siècle et à l'Ortolo dans des niveaux du XIVe-XVe siècle. Ce type est déjà visible dans l'iconographie provençale au milieu du XIIIe siècle, apparaît très souvent au XIVe siècle où il peut être utilisé en série et se retrouve encore de temps en temps au XVe siècle où « son emploi semble là déterminé plus par la nature de la partie à fermer que par une fidélité à la tradition. Mais, il est disposé désormais de la même manière que le bouton plat circulaire du XVe siècle » (Thuaudet 2007).

Ces données chronologiques confèrent à cette structure une phase d'occupation de la fin du Moyen Âge. Aucun élément, même chronologique, ne permet d'établir un lien entre cette structure d'habitat et l'intense activité minière médiévale.

IV.1.4. Les cabanes médiévales du plateau de Faravel

L'équipe de Fl. Mocci et de K. Walsh a réalisé des diagnostics et des sondages archéologiques sur trois sites pastoraux du plateau de Faravel datés de l'époque médiévale (Walsh, Mocci 2003, pp. 193-196 ; Walsh *et al.* 2007, p. 16). Le plateau est en position dominante par rapport au secteur de Fangeas et du Pont de Fer. Il surplombe tout le secteur minier de Faravel-Fangeas. Il est limité au sud par le torrent de Ruffy, au nord par le torrent du Pont de fer, à l'est par une importante falaise et à l'ouest par les contreforts du massif du Petit Pinier. Le secteur de la Grande Cabane est toujours occupé de façon saisonnière par le berger de la montagne de Faravel. La Grande Cabane est installée sur un replat à 2204 m d'altitude. Le plateau est ponctué dans son extrémité méridionale par de nombreuses buttes incisées par des ruisseaux liés à la fonte des neiges.

Les données présentées ici de façon synthétique sont intégrées dans le cadre de notre réflexion car elles permettent de compléter notre vision des modes d'occupation et d'exploitation de la montagne de Dormillouse au Moyen Âge.

Le site de Faravel XII – 2170 m d'alt.

Le site de Faravel XII (F80) est situé sur un vaste replat à 2170 m d'altitude. La cabane de forme rectangulaire orientée nord-ouest/sud-est est profondément enfouie dans une butte morainique du plateau (fig. n°67, p. 937). Elle a été presque entièrement fouillée[155]. L'espace de vie semi-enterré d'une superficie de 14 m^2 était structuré par trois murs bâtis avec de gros blocs de schiste non équarris et non liés (substructions), par un solin (ou contrefort) en pierre et au moins un poteau (négatif en creux). Le sol d'occupation était nivelé par un fin remblai de terre battue. Un alignement transversal de blocs posé sur le sol indique une séparation de la cabane en deux espaces. La partie orientale, contrairement à la partie occidentale, ne possédait pas de substruction en dur. D'après l'analyse physico-chimique des sédiments réalisée par K. Walsh, seule la partie occidentale servait d'habitation tandis que la partie orientale était dévolue aux bestiaux (Walsh 2000, p. 12). La fouille a mis en évidence une phase d'abandon et une phase de destruction par incendie des élévations et de la couverture, bâties avec des matériaux périssables, postérieures à l'occupation de la structure. L'analyse radiocarbone des dépôts carbonisés date l'abandon de la cabane du milieu du XIVe siècle[156]. Or, d'après l'analyse de la stratigraphie, l'occupation primitive de cette cabane structurée par des installations périssables, a probablement eu lieu dans le courant du XIIe siècle (Walsh 2000, p. 14). Cette fourchette chronologique croise la phase la plus intense de l'exploitation minière sur le plateau de Fangeas et les dômes gneissiques de Faravel. Les dépôts carbonisés provenant de l'épisode d'incendie ont été échantillonnés et étudiés par A. Durand (Walsh, Mocci 2003, pp. 193-194 ; Durand 2004, I). Au nord-est de la pièce structurées par des substructions en pierre, un amas de petits blocs non équarris circulaire, manifestement en relation avec la cabane, demeure problématique. La présence d'une lamelle de silex gris du Val de Durance datée du Néolithique final et d'un fragment de céramique non tournée suggère une phase d'occupation préhistorique, mal caractérisée par la stratigraphie du site (Walsh, Mocci 2003, p. 194). Elle est donc très hypothétique, et peut se résumer à une simple fréquentation du secteur.

[155] Le site a fait l'objet de deux campagnes de sondages archéologiques. En 1999, un sondage a été implanté dans la partie médiane de la cabane, au niveau de la cloison transversale. En 2000, la fouille a été étendue a tout l'espace semi-enterré délimité par les substructions en pierres (Walsh 1999 ; 2000).

[156] Deux datations radiocarbones ont été réalisées. Le premier échantillon a fourni 680 ± 30 BP (PA 1843) et la seconde 650 ± 40 BP (PA 1869) (1 sigma) (Walsh, Mocci 2003, p. 194). Pour la seconde date, la majorité de la distribution pour la datation concerne les années 1270-1300.

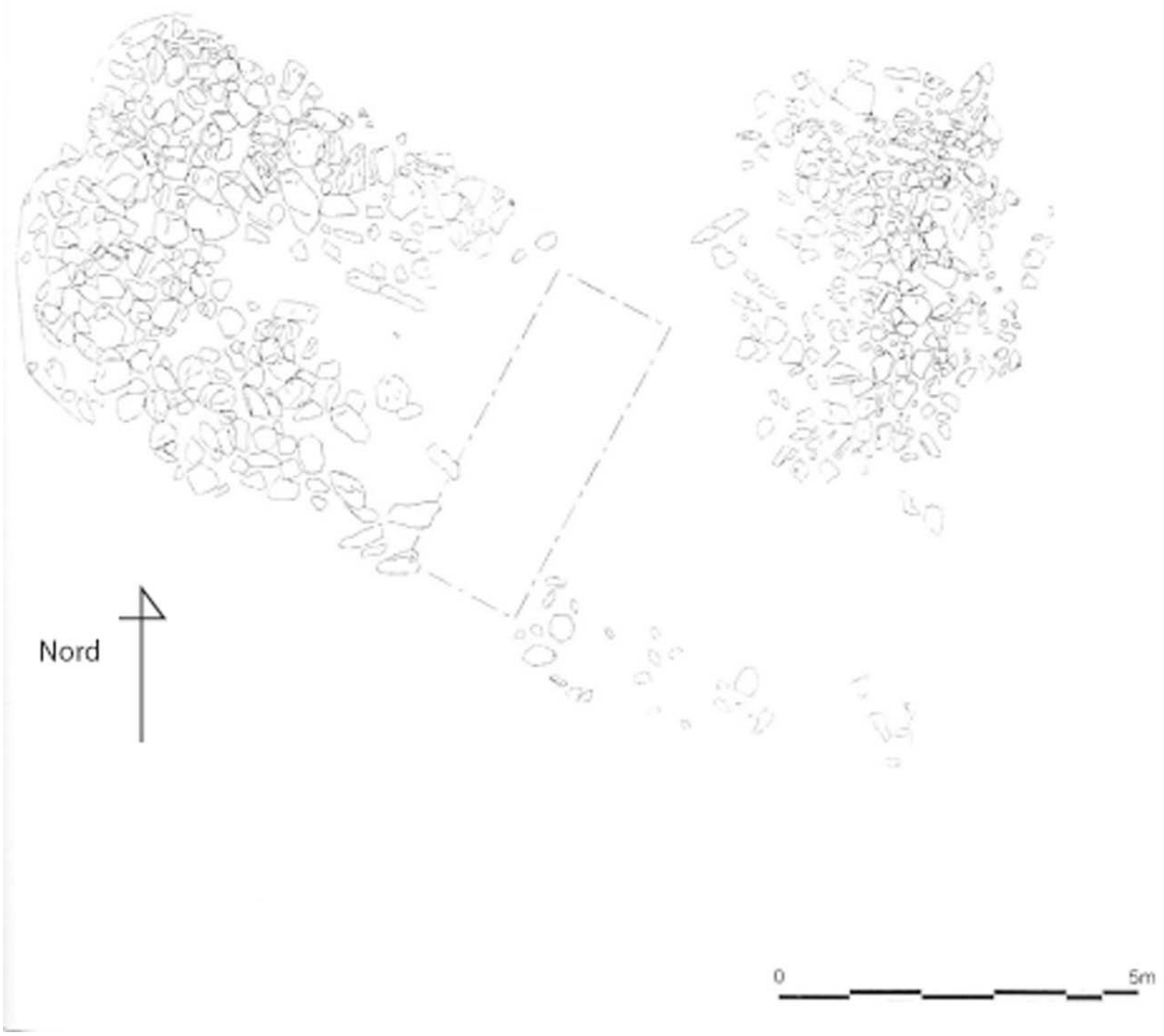


Fig. n°67 : Faravel XII, plan des structures (tiré de Walsh 1999).

Ces données mettent en évidence une récurrence dans le choix de lieux d'établissement d'habitat saisonnier en relation avec l'activité pastorale. La fréquentation du plateau de Faravel au cours du Néolithique final est par ailleurs attestée par des concentrations de matériels lithiques (éclats de débitage et outils) repérées sur l'ensemble du plateau[157] (Walsh, Mocci 2003, p. 191 ; Walsh *et al.* 2005 ; Walsh *et al.* 2006 ; Tzortzis *et al.* 2008). La densité de l'occupation augmente à partir de l'âge du Bronze. Des vestiges d'occupation ont été repérés jusqu'à plus de 2300 m d'altitude. Le site de Faravel XIX, une petite cabane ovoïde aménagée avec des amas de blocs de schiste, localisée sur un replat et associée probablement

[157] Un sondage réalisé dans l'enclos du site de Faravel VIII, occupé au Moyen Âge, atteste une occupation du Néolithique final et une occupation du Bronze ancien (Walsh 1999, p. 26 ; Walsh, Mocci 2003, p. 191).

à un enclos, a livré les vestiges d'un foyer domestique daté de 2150 à 1920 av. J.-C. par le radiocarbone. Les dépôts carbonisés ont été échantillonnés pour l'analyse anthracologique. Ils contribuent à envisager l'évolution du couvert forestier sur la longue durée. Cette vision diachronique est nécessaire pour dégager les particularités des époques plus récentes et plus particulièrement du Moyen Âge.

Les sites de Faravel VII et VIII – 2150 m d'alt.

Les sites de Faravel VII et VIII situés à 2150 m d'altitude, juste en aval du site de Faravel XII ont bénéficié d'un diagnostic archéologique en 1998 et de cinq sondages (Walsh, Mocci 1998). Chaque site se compose d'un ensemble de quatre structures semi-enterrées morphologiquement différentes, implantées dans des petites buttes morainiques (Walsh, Mocci 2003, pp. 194-195). L'ensemble des vestiges est réparti sur une surface de trois hectares.

Le site de Faravel VII comprend trois structures rectangulaires avec des substructions en blocs de schiste non équarris et non liés et un enclos attesté par des alignements de blocs qui s'appuient sur des affleurements rocheux (fig. n°68, p. 939). Une des structures rectangulaires, orientée nord-est/sud-est, se termine par une abside. La seule structure orientée est-ouest, présente une petite pièce annexe accolée au mur nord.

Le site de Faravel VIII est constitué d'un enclos et d'une série de trois structures rectangulaires orientées nord-sud et nord-nord-est/sud-sud-est dont les caractéristiques architecturales sont très proches de celles du site de Faravel VII (fig. n°69, p. 940).

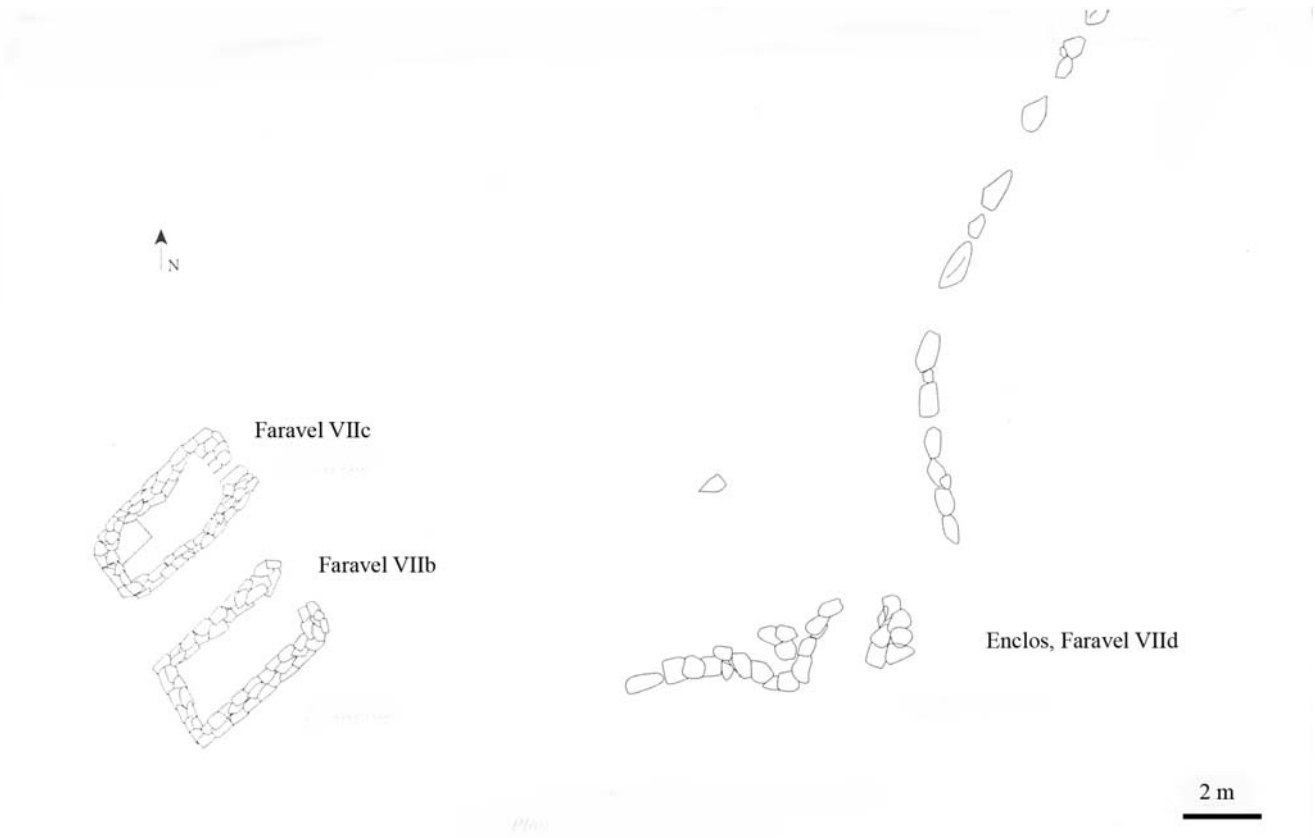


Fig. n°68 : Plan de Faravel VII (tiré de Walsh 1998).

Une des cabanes de chacun de ces sites a été fréquentée au XVe siècle. Cette occupation est attestée par quelques fragments de céramique (vernissée et glaçurée). L'état d'avancement des travaux ne permet pas d'étendre avec certitude cette phase d'occupation à toutes les structures de chacun des deux sites. Une phase d'occupation plus ancienne a été caractérisée dans une des cabanes de Faravel VIII (Faravel VIIIb). Elle a été datée par le radiocarbone du milieu du XIe-fin du XIIIe siècle de notre ère (1040-1260 âge calibré). Cette occupation du Moyen Âge central n'est malheureusement pas confirmée pour toutes les structures qui n'ont pas livré de sol conservé ni même de mobilier archéologique. Seule une des structures rectangulaires du site de Fangeas VII (Faravel VIIc) présentait un sol de grandes dalles liés à la terre. Ce type d'aménagement qui n'a pas été reconnu dans les autres structures du plateau de Faravel peut s'expliquer par son implantation dans une zone plus humide que les cabanes construites un peu plus haut dans le versant (Walsh 1998, p. 21). La structure rectangulaire Faravel VIIIa voisine, strictement identique à Faravel VIIIb, a été datée de la même période par comparaison typologique et stratigraphique. L'analyse des pics de probabilités suggère une contemporanéité entre cette occupation et celle du site de Faravel XII (Walsh 2000, p. 14). Il faut aussi souligner que cette fourchette chronologique recouvre la phase d'occupation

médiévale du site de Fangeas X. Ces trois sites doivent correspondre à une même dynamique d'occupation et d'exploitation des ressources de la montagne de Dormillouse, contemporaine du développement de l'activité minière.

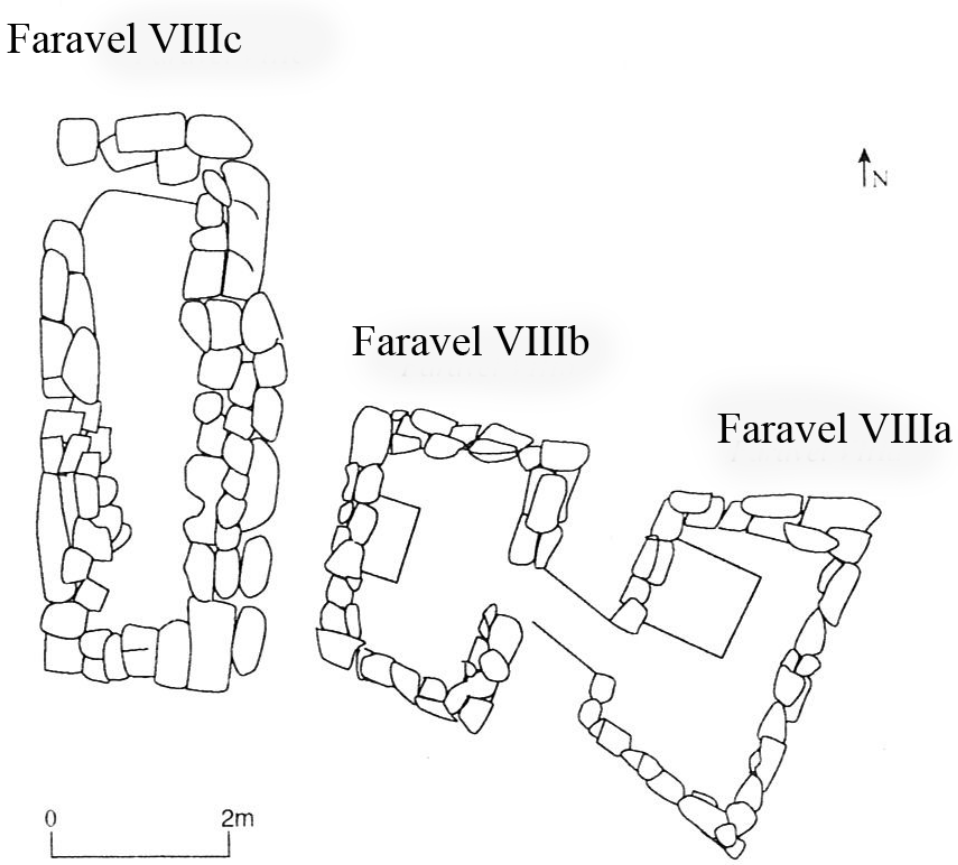


Fig. n°69 : Plan du site Faravel VIIIb (tiré de Walsh 1998).

IV.1.5. Synthèse

Chronologie de l'occupation

Les datations radiocarbones, fondamentales pour dater les phases d'occupation les plus anciennes de ce type d'établissement pauvre en mobilier non périssable (Rendu 2003), mises en perspectives avec l'analyse d'un rare mobilier céramique et métallique, caractérisent plusieurs phases d'occupation et d'exploitation de la montagne de Dormillouse depuis le milieu du haut Moyen Âge jusqu'au début de l'époque moderne.

Les premiers siècles du haut Moyen Âge ne sont pas illustrés par la documentation archéologique du massif des Écrins. La fréquentation et l'occupation du plateau de Faravel depuis le mésolithique jusqu'à nos jours (Walsh, Mocci 2003) suggère pourtant sa continuité ou plutôt sa récurrence durant tout le haut Moyen Âge. Le type de vestiges fouillés pourrait expliquer ces lacunes. Les aménagements étaient peut-être dominés par des constructions en matériaux périssables, sans substructions en dur, dont les vestiges sont difficiles à caractériser en l'absence de mobilier. Cependant, depuis l'âge du Bronze, dans le massif des Écrins comme dans le Champsaur, les structures agropastorales de haute montagne, même sommaires, sont toujours établies sur des substructions en dur à quelques exceptions près (Walsh, Mocci 2003 et Palet *et al.* 2003). Seule une occupation de la fin de cette période (VIIIe-IXe siècle) est attestée par le site de Fangeas VII (2000 m d'alt.), réoccupé aux XVe-XVIe siècle. La morphologie de la cabane est d'ailleurs très atypique par rapport aux autres structures médiévales du plateau : forme circulaire et espace de vie limité à 7,60 m^{2}. L'absence de vestiges de foyer indique une occupation temporaire qui rappelle celle des abris de bergers occupés juste pendant des épisodes pluvieux ou le temps d'une collation. Malgré le caractère ténu des vestiges, une exploitation pastorale du secteur durant l'époque carolingienne, peut-être limitée à un ou quelques troupeaux, est envisageable. La documentation écrite est d'un modeste secours. Abbon dans son testament parle d'un berger

(*verbecarius*) en Vallouise, Marius, sans doute chargé de mener à l'alpage le bétail qu'il possédait dans la vallée[158] (Cézard 1981, p. 139).

La situation est différente dans le Champsaur où des occupations sont attestées depuis l'Antiquité tardive (Cheval de Bois I) et durant tout le haut Moyen Âge (Clot Lamiande II et IV, Cabane de la Barre IV, Vallon de la Vallette) (Palet *et al.* 2003). Cet état de fait est mis en relation avec un système de vallées bien plus ouvert dans le haut Champsaur que dans le massif des Écrins facilitant la colonisation des hauts espaces (Walsh *et al.* 2007, p. 20). Ce phénomène s'intensifie durant le Moyen Âge central (Walsh *et al.* 2007, p. 17, fig. 7).

Dans le massif des Écrins, la période concernée par l'activité minière (X^e^, XIe-XIIe, XIIIe siècles) est représentée par trois sites dont deux situés sur le plateau Faravel et un sur le plateau de Fangeas. Les phases d'occupations médiévales des sites de Faravel XII et VIII sont rattachées au XIIe siècle (Faravel XII) et à une fourchette plus lâche milieu du XIe-fin XIIIe siècles (Faravel VIII) qui fait écho à l'occupation médiévale du site de Fangeas X. À l'exception des fourchettes chronologiques qui recoupent avec les phases d'activité minière, rien ne permet de faire le lien entre ces occupations et l'exploitation des métaux. Les sites de Faravel paraissent d'ailleurs en relation avec l'activité pastorale tandis que le site de Fangeas paraît lié à l'exploitation de l'herbe pour le fourrage. Les pierres à faux découvertes à Fangeas X témoignent de l'exploitation de prés de fauche dans le secteur au XIIIe siècle.

La fin du Moyen Âge (XVe-XVIe siècles) se caractérise par une intense occupation et fréquentation de la montagne de Dormillouse. La presque totalité des sites étudiés présentent une phase de réoccupation d'anciennes structures datées du Moyen Âge central, de l'époque carolingienne et de périodes encore indéterminées. Seul le site de Fangeas V est une nouvelle construction. La fréquentation du plateau de Fangeas paraît particulièrement dense, mais le caractère sommaire des vestiges plaide pour une occupation sommaire, journalière, hebdomadaire ou saisonnière. À Coste de Tonis I-1, l'aménagement de l'espace de vie paraît bien structuré et suggère une occupation familiale (famille étroite) durant toute la période de l'estive pour la production de l'herbe et du fromage. Une datation du deuxième foyer serait la bienvenue pour évaluer la durée d'utilisation de ce chalet dont la première occupation pourrait remonter aux XIIIe-XIVe siècles. Le site de Faravel XII indique d'ailleurs une continuité probable de l'utilisation de la cabane entre le XIIe et le XIVe siècle.

---

[158] *« Similiter et in gerentonnis… Colonica quem de muliere gismundo nomen pannutia in ipsa valle in tercia recepimus, ubi Marius, noster verbecarius in ipsa colonica manet. »*, GEARY (P. J.) (éd.), *Aristocracy in Provence…*, p. 52, 20.

Les travaux conjugués des équipes sud-alpines ont démontré qu'il n'existait pas de corrélation entre les phases d'occupation plus ou moins intense de la haute montagne et les fluctuations climatiques préhistoriques et historiques. Les époques romaine et médiévale illustrent ce postulat. La phase d'amélioration des conditions climatiques de l'époque romaine correspond à une ère de déprise de la haute montagne tandis que les péjorations climatiques du haut Moyen Âge coïncident avec une phase de reconquête plus ou moins importante suivant les secteurs qui amorce l'installation des terroirs d'estive de l'an mil (Durand 2004, I, pp. 151-153). Les péjorations du Moyen Âge central coïncident avec des occupations des plateaux de Fangeas et de Faravel et le temps fort de l'activité minière. Enfin, le petit âge glaciaire connaît une véritable explosion des indices d'occupation dans le haut Champsaur comme dans le massif des Écrins (Palet *et al.* 2003 ; Walsh *et al.* 2007, p. 16). Il faut donc en déduire que l'optimum climatique médiéval n'est pas l'unique raison de l'intensification de l'occupation et de l'exploitation des ressources minières, forestières et agropastorales, perçue aussi bien dans les données archéologiques que paléoenvironnementales.

Liens entre ces structures et l'activité minière ?

Au regard de nos connaissances concernant l'ensemble des vestiges inventoriés ou fouillés sur le secteur, rien ne nous permet de localiser et de caractériser l'habitat des mineurs dans la montagne Dormillouse. Les pistes ouvertes par les prospections archéologiques se sont avérées, dans cette perspective, relativement décevantes. En l'état actuel des recherches, il est possible d'envisager une exploitation minière saisonnière adaptée au rythme des activités agropastorales. La situation géographique des mines de Faravel-Fangeas n'est pas sans rappeler celle des mines de la haute Valbrembana localisées entre les derniers habitats (700 m d'alt.) et la chaîne de sommets qui les domine (plus de 2200 m d'alt.) (Menant 1987, p. 783). Les textes de la vallée d'Ardesio étudiés par F. Menant pour nourrir ses recherches sur les mines lombardes, constituent un des rares corpus documentaires du XIIIe siècle qui décrit avec une relative précision les habitudes de travail à la mine. Les mineurs ne travaillent pas en permanence dans les chantiers, mais sous forme de périodes assez brèves car les campagnes de moins de quinze jours ne sont pas prises en compte pour le prélèvement de la redevance seigneuriale. Une part de société minière ouvre droit à huit jours de travail. À partir de ces informations, F. Menant a réalisé un calcul du temps de travail révélant que

l'exploitation minière se déroulait en deux périodes de deux mois chacune environ, en novembre-décembre et mars-avril, entre les gros travaux agricoles et les grands froids. Il est tentant d'établir une correspondance entre ce mode d'exploitation des ressources agropastorales et minières en haute Lombardie et la situation de la montagne de Dormillouse. Mais, cette hypothèse se base sur des informations encore trop lacunaires. De plus, en dépit des conditions météorologiques de la haute montagne, on ne peut pas totalement exclure une exploitation en continu, ponctuée de phases de recherche et d'activité plus ou moins intense en fonction de la rentabilité de l'exploitation. Au XIXe siècle, les hommes qui travaillaient dans les houillères montaient bien quotidiennement à la mine à des altitudes supérieures à 2000 m au plus fort de l'hiver. Les mineurs étaient-ils des hommes de la vallée qui montaient quotidiennement à Fangeas pour extraire le minerai de leur mine ? Ou bien, les mineurs étaient-ils des migrants, installés de façon saisonnière à Fangeas ou à Dormillouse ? En l'état actuel des connaissances, rien ne permet de répondre de façon fiable à ces questions.

Un dernier point peut être discuté. La production de métaux était contrôlée par l'autorité seigneuriale dont la tendance était au XIIIe siècle de concentrer l'activité métallurgique, dans les vallées, près d'un site fortifié ou près des ateliers de frappe monétaire princiers (Bailly-Maître 2008, p. 83). Le minerai produit dans les montagnes suivait bien souvent le chemin de la vallée. À Brandes, les activités d'extraction et de préparation minéralurgique contrôlées par un représentant du dauphin installé dans un site fortifié sont les seules attestées sur le site. Le minerai réduit en poudre était ensuite transporté jusque dans la vallée. L'existence d'un fourneau de réduction du minerai est supposée sur le territoire de la paroisse de Livet, mais rien n'établit de façon fiable son lien avec la production de minerai à Brandes (Bailly-Maître 2008, p. 83). À Freissinières, les vestiges d'atelier de préparation mécanique sont ténus et attestent pour le moment une seule étape de concassage et de tri. Le lavage qui sépare définitivement la poudre de minerai de la poudre de gangue (enrichissement) n'a pour l'instant pas été reconnu aux abords directs des mines et dans les secteurs prospectés. Cette étape particulièrement délicate qui nécessite l'intervention d'un spécialiste pouvait avoir lieu à proximité d'un point de fixation du pouvoir seigneurial (site castral). De plus, l'absence de vestige lié à cette activité va dans le sens d'une exploitation minière saisonnière conduite par des associations d'agropasteurs en quête d'un revenu supplémentaire. Ces derniers pouvaient travailler dans les chantiers d'extraction, mais ne possédaient pas les compétences nécessaires pour traiter le minerai. Le premier site qui suggère un point de fixation de l'autorité seigneuriale a été localisé avec réserve à Dormillouse. Son lien avec l'industrie minière n'est

pas établi, mais dans l'attente de nouvelles recherches, il peut être suggéré. Au XVe siècle, les sources écrites attestent un transport du minerai produit à Freissinières jusqu'à la fonderie d'Arvieux dans le Queyras. Ce secteur accueillait déjà les ateliers métallurgiques des archevêques d'Embrun au XIIIe siècle. Il faut peut-être supposer une continuité de la spécialisation métallurgique de cette région. Le minerai produit à Faravel-Fangeas au Moyen Âge central suivait peut-être déjà le chemin du Queyras ?

Enfin, la métallurgie pouvait être pratiquée de façon itinérante, là où le combustible est disponible en abondance, comme cela a été parfaitement démontré dans les Cévennes. Dans ce cas, des sites à épandages de scories seraient à découvrir dans les massifs forestiers montagnards ou de la tranche subalpine inférieure ? Mais, cette piste de travail paraît compliquée à suivre dans ce secteur caractérisé par ses versants abrupts.

Cette problématique de la fixation d'un habitat en montagne en relation avec l'activité minière et de la localisation des ateliers de réduction est cruciale et nécessite la mise en place d'un programme de recherche visant à explorer systématiquement toutes les pistes de réflexions ébauchées ici. Les données paléoenvironnementales présentées plus bas permettent cependant d'aborder ces problèmes de façon indirecte.

IV.2. LE PAYSAGE FORESTIER DE LA MONTAGNE DE DORMILLOUSE : APPROCHE DIACHRONIQUE ET COMPARAISONS SUD-ALPINES

IV.2.1. Données anthracologiques agropastorales

Les données anthracologiques des sites agropastoraux étudiés sont ici présentées site par site avant d'être intégrées dans une réflexion de synthèse où elles sont traitées et mises en perspective avec des données paléoenvironnementales régionales, toutes les données anthracologiques de la montagne de Dormillouse et les données polliniques du bas-marais de Fangeas (Palet *et al.* 2003 ; Walsh, Mocci 2003 ; Walsh *et al.* 2006).

Il n'a pas été jugé nécessaire de discuter sur la méthodologie d'échantillonnage et de prélèvement adoptée par ce type de dépôts. L'étude des foyers et de leurs épandages tout comme celle des dépôts de structures en bois incendiées respectent les protocoles en vigueur qui sont aujourd'hui parfaitement établis et éprouvés (Chabal 1997 ; Chabal *et al.* 1999). L'indice de concentration de Pareto a été systématiquement calculé pour l'ensemble des échantillons, mais il n'a pas été jugé nécessaire d'intégrer tous les diagrammes dans le texte pour une commodité de lecture. Son interprétation est entièrement basée sur les démonstrations de L. Chabal et sur les données archéologiques propres à chaque site. Le niveau de représentativité paléoécologique de ce type de dépôts est généralement plus élevé que pour les dépôts miniers. Les résultats présentés ci-après seront comparés aux spectres des dépôts miniers et permettront de discuter sur leurs différents niveaux de représentativité, paléoécologiques et ethnobotaniques. L'apport des données anthracologiques agropastorales est envisagé comme une source archéobotanique complémentaire pour appréhender les modalités de l'évolution du couvert ligneux et de son exploitation sur la longue durée à l'interface des activités minières, agropastorales et pastorales.

Faravel XIX – 2310 m d'alt.

Faravel XIX est le seul site daté du début de l'âge du Bronze ancien étudié dans le cadre de ce mémoire (*cf.* carte 2, p. 547). Ce choix n'est pas anodin ou extravagant. Le mobilier lithique exhumé suggère une fréquentation tout à fait exceptionnelle du secteur au Paléolithique supérieur récent (Walsh 2002, p. 13). Les vestiges datés de l'âge du Bronze ancien incitent à interpréter cette occupation comme un témoin d'une activité pastorale pratiquée en très haute altitude, au-delà du territoire de la haute forêt qui occuperait alors le plateau de Faravel aujourd'hui asylvatique. Cette implantation suggère donc que les espaces ouverts et les zones pâturables étaient alors situés au-delà de 2200 m d'altitude et que la limite supérieure de la forêt dense se situait autour de 2300 m d'altitude.

Les charbons de bois analysés proviennent de deux unités stratigraphiques. Un premier échantillonnage a été réalisé dans l'unité 3 interprétée comme un reliquat de niveau d'occupation dont la datation, probablement haute, est indéterminée. Un second échantillonnage a été réalisé dans le niveau d'occupation daté par le radiocarbone de l'âge du Bronze ancien (3670 ± 45 BP, soit 2140 et 1970 av. n. è. âge calibré) (unité 7). Le nombre peu élevé de fragments étudiés, 134 pour l'unité 3 et 96 pour l'unité 7, est en partie lié à une mauvaise conservation des dépôts et au retrait prématuré d'un échantillon pour la datation radiocarbone.

Le spectre de l'unité 7 est dominé par les pins de haute montagne. Le Pin cembro est largement dominant avec 66,7 % des fréquences. Le Pin de type Pin sylvestre, probablement, si on considère l'altitude, le Pin à crochets, totalise 3,1 % des fréquences. Le taxon *Pinus* regroupe très certainement des fragments de Pin cembro et/ ou de Pin de type Pin sylvestre. Le niveau de détermination est limité au rang du genre car ces fragments proviennent de bois de réaction dont les abondantes déformations anatomiques ont considérablement gêné la lecture des trachéïdes transversales.

Le spectre de l'unité 3 est dominé par *Pinus cembra* et *Pinus cf. P. cembra* qui totalisent respectivement 48,5 et 16,4 % des fréquences. *Pinus* type *Pinus sylvestris* est mieux représenté avec 15,7 % des fréquences. *Pinus* totalise 14,9 % des fréquences et *Larix-Picea* fait son apparition avec seulement 1,5 % des fréquences.

Le caractère unicolore des spectres est en partie à attribuer au contexte de dépôt (charbons peu abondants et dépôts mal conservés). L'indice de concentration est peu élevé ce

qui indique que les rapports de proportions entre les taxons ne sont pas stabilisés (71/29 pour l'US 3 et 69/31 pour l'US 7). Ce résultat doit être en partie imputée au niveau de détermination limitée au genre des échantillons de *Pinus*.

Ces données indiquent que les boisements fréquentés par les pasteurs pour alimenter leur foyer sont dominés par des formations arborescentes de type futaie où le Pin cembro tient une place prépondérante et où le Pin à crochets tient une place secondaire, mais non négligeable par rapport aux périodes plus récentes où il est toujours très discret. Les variations de fréquences de *Pinus* type *P. sylvestris* entre les deux spectres peuvent s'expliquer par un changement du territoire d'approvisionnement qui serait pour la phase d'occupation la plus récente tourné vers les versants d'adret. Mais la non détermination au rang de l'espèce d'une partie des échantillons ne permet en aucun cas d'être affirmative à ce sujet. Les spectres ne sont pas fondamentalement différents et indiqueraient que le premier état du site (dernière occupation) est probablement peu postérieur à l'occupation de l'Âge du bronze ancien.

La prépondérance des grands ligneux subalpins caractérise une forêt d'altitude préservée ou plutôt peu altérée. Le Mélèze (*cf. Larix*) est extrêmement discret. L'absence de ligneux bas héliophile, généralement associé à l'ouverture du milieu, comme les genévriers, ou pionnier, comme certaines Éricacées, est un reflet de leur étendue réduite (faible disponibilité aux abords du site) et/ou de leur faible intérêt pour l'entretien du feu domestique (durée).

Ces données tendent à confirmer les interprétations émises d'après l'implantation du site à très haute altitude. Elles suggèrent un approvisionnement en bois dans un milieu de haute futaie où aucun indice d'un stade de reconquête ou de transition dominé par des formations héliophiles arborescentes ou des ligneux bas n'est perceptible.

FARAVEL XIX	US 3		US 7	
Datation	**âge du Bronze ?**		**3679±45 BP**	
TAXONS	FA	FR	FA	FR
Pinus cembra	65	48,5	64	66,7
Pinus cf. P. cembra	22	16,4	0	0
Pinus type *P. sylvestris*	21	15,7	3	3,1
Pinus	20	14,9	26	27,1
Larix-Picea	2	1,5	0	0
Gymno. indéter.	4	3	3	3,1
Total	**134**	**100**	**96**	**100**
Indéterminables	4	3	2	2,1

Tabl. n°14 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts du site Faravel XIX.

Coste de Tonis I – 2200 m d'alt.

Les dépôts de la structure CTI-1

Une étude anthracologique a été réalisée pour les dépôts carbonisés des épandages des deux foyers identifiés dans la structure CTI-1. Un total de 880 charbons de bois a été analysé. Conformément aux prescriptions méthodologiques pour l'étude des rejets de foyers domestiques, un nombre minimal de 400 fragments de charbons de bois a été étudié pour chaque couche (tabl. n°15, p. 951).

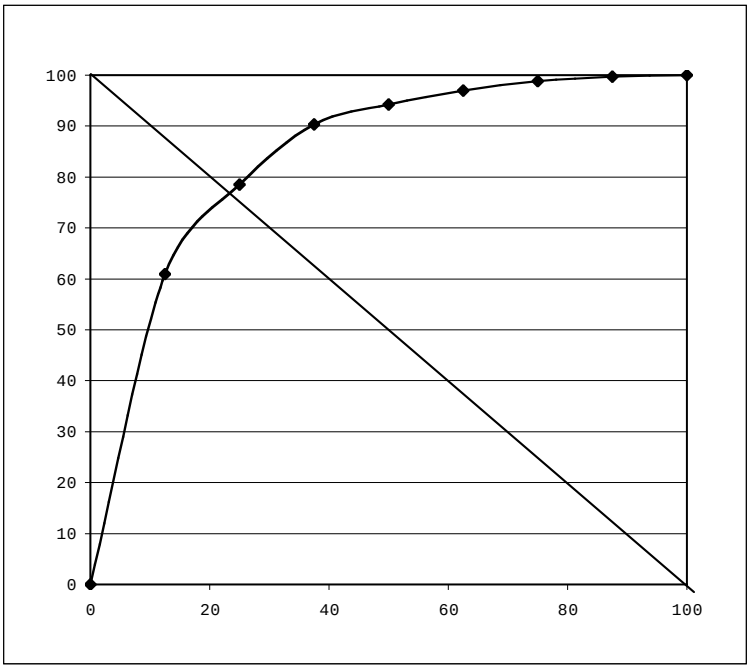
COSTE DE TONIS S. 1	US 107			US 108			Total
Datation	**ép. médiévale ?**			**1405 à 1447 ap. J.-C.**			
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra	4	11	2,5	4	6	1,4	
Pinus cf. P. cembra	9	1	0,2	3	8	1,9	
Pinus type *P. sylvestris*	5	5	1,2	7	4	0,9	
Pinus	8	1	0,2		0	0	
Larix-Picea	1	265	61,3	1	272	63,6	
cf. Larix-Picea	12	1	0,2		0	0	
Salix	6	6	1,4	6	4	0,9	
Juniperus	3	45	10,4	5	16	3,7	
cf. Juniperus sp.	11	1	0,2		0	0	
Fraxinus sp.		0	0	9	1	0,2	
Ericaceae de montagne	7	17	3,9	8	13	3	
Rhododendron ferrugineum		0	0	10	6	1,4	
Rhododendron-Vaccinium	2	72	16,7	2	83	19,4	
Vaccinium uliginosum		0	0	11	1	0,2	
Gymno. indéter.		7	1,6		14	3,3	
Total		**432**	100		**428**	100	
Indéterminables		8	1,9		12	2,8	
Total charbons analysés		440			440		880

Tabl. n°15 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts des unités 107 et 108 du site Coste de Tonis I-1.

Un total de 15 taxons a été identifié dont les fréquences sont légèrement différentes d'un dépôt à l'autre, mais dont les rapports de proportions entre les taxons dominants et secondaires sont conservés. Cette information confirme les données archéologiques. Les deux foyers ont fonctionné à deux moments différents, mais dans un intervalle de temps relativement proche. Les spectres anthracologiques des deux dépôts sont dominés par *Larix-Picea* qui totalise 61,3 % des fréquences dans l'unité 107 et 63,6 % des fréquences dans l'unité 108. *Rhododendron-Vaccinium* est le deuxième taxon le mieux représenté. Il totalise 16,7 % des fréquences dans l'unité 107 et 19,4 % dans l'unité 108. Les autres Éricacées de montagne pouvant se rapporter aux genres *Rhododendron* et/ou *Vaccinium* et/ou *Arctostaphylos* totalisent 3,9 % dans l'unité 107 et 3 % dans l'unité 108. Il faut ajouter à cette palette d'Éricacées le taxon *Rhododendron ferrugineum* dont la détermination est particulièrement délicate (1,4 % dans l'unité 108) et le taxon *Vaccinium uliginosum* (0,2 % dans l'unité 108). Le Genévrier est aussi bien représenté avec 10,4 % des fréquences dans l'unité 107 et 3,7 % dans l'unité 108. Le Frêne et le Saule sont très discrets avec respectivement 0,2 % dans l'unité 108, 1,4 % dans l'unité 107 et 0,9 % dans l'unité 108. Le Pin cembro et le Pin de type P. sylvestre présentent des fréquences très faibles comprises entre 0,9 et 2,5 %.

La végétation ligneuse du territoire d'approvisionnement en bois de feu des occupants de cette cabane est composée à un peu plus de 60 % pour des formations arborescentes composées presque exclusivement de *Larix-Picea* et à plus de 30 % dans l'unité 107 (27,8 % dans l'unité 108) par des ligneux bas qui sont caractéristiques des milieux ouverts.

L'indice de concentration de Pareto calculé pour les deux unités indique que les rapports de proportions entre les taxons sont très proches du rapport idéal 80/20 (fig. n°70-71, pp. 952-953). Une très légère surreprésentation du taxon dominant (ou des taxons dominants) est perceptible dans le dépôt de l'unité 108. Cette information va dans le sens des observations archéologiques. L'épandage de l'unité 108 paraissait le résultat d'une série de feux réalisés sur une courte durée (une saison ?). Les dépôts contenus dans le carcan de pierres paraissaient le résultat du dernier feu conduit dans la cabane avant son abandon.



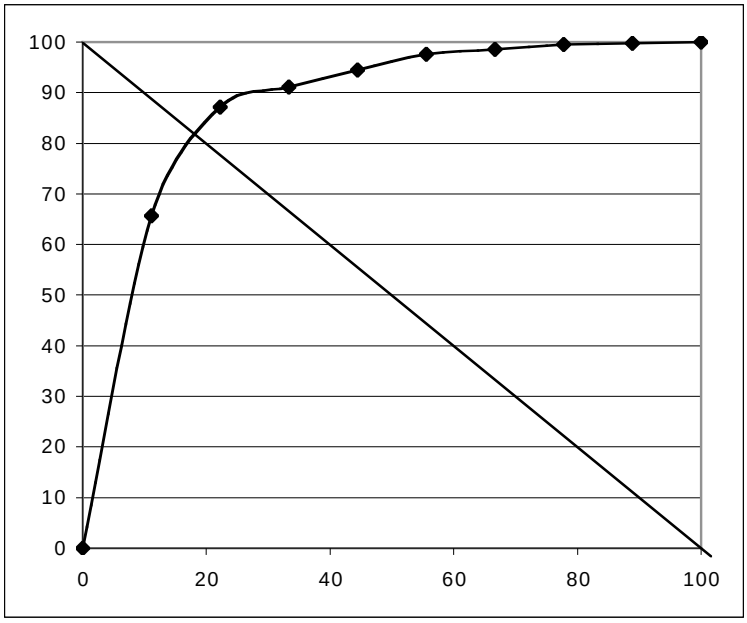


Fig. n°71 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'unité 108. L'indice de concentration 82/18 est légèrement supérieur à l'indice idéal 80/20.

Le diagramme anthracologique de Coste de Tonis I-1 révèle la dominance de *Larix-Picea* sur les pins de haute montagne dans le territoire d'approvisionnement en bois de feu des agropasteurs durant la première moitié du XVe siècle. Cette première observation suggère le caractère dégradé des massifs forestiers où le Pin cembro tient une place très limitée. L'extension de *Larix-Picea* (logiquement du mélézin) aux dépens des pinèdes est l'écho de fortes transformations du paysage ligneux – déboisements, incendies anthropiques ou naturels – précédant un épisode de reconquête. La prolifération des Éricacées de montagne et des Genévriers, composante majeure des landes et *landines situées en zone supra-forestière et des formations de sous-bois des boisements subalpins, confirme l'état dégradé des massifs forestiers et le caractère très ouvert du paysage. L'utilisation massive des petits ligneux bas pourtant peu intéressants pour la bonne tenue du feu (durée) suggère l'éloignement de la forêt subalpine dense à une altitude inférieure 2200 m. Le Frêne et le Saule peuvent indiquer un approvisionnement ponctuel vers des zones humides, et l'Airelle des marais, qui n'a malheureusement pu être reconnue que dans un seul cas, suggère un approvisionnement dans des landes ou les boisements d'altitude en zone tourbeuse.

Les dépôts de la structure CTI-16

Les dépôts carbonisés de l'unité 103 identifiée dans le sondage de la structure CTI-16 ont fourni seulement 75 charbons de bois (tabl. n°16, p. 955). Ce nombre peu élevé de fragments est à attribuer au caractère très relictuel des dépôts malgré le prélèvement et le tamisage de la totalité de la couche. Trois taxons ont été identifiés : *Larix-Picea* qui totalise 96 % des fréquences relatives, *Pinus cembra* qui totalise 1,3 % des fréquences relatives et *Rhododendron-Vaccinium* qui totalise 2,7 % des fréquences. Le calcul de l'indice de concentration (76/24) indique que les proportions taxons ne sont pas stabilisées, mais par contre, on ne relève pas une nette surreprésentation du taxon dominant (fig. n°72, p. 954).

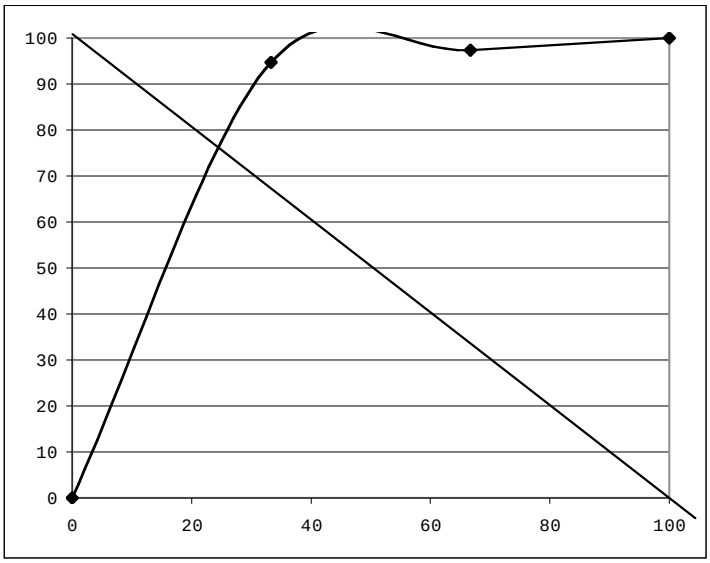


Fig. n°72 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'unité 103. L'indice de concentration 76/24 est légèrement inférieur à l'indice idéal 80/20.

Ces résultats pourraient indiquer un état des boisement légèrement différent du cas précédent avec une extension des landes et des landines à Éricacées plus limitée dans l'aire d'approvisionnement en bois (bois de construction et/ou bois de feu ?). Or, par précaution, cette interprétation doit être considérée avec beaucoup de réserve. Les dépôts peuvent provenir de résidus d'éléments de constructions incendiées, donnant le plus souvent une

image biaisée de la composition des boisements. Le spectre de cette unité n'a pas été intégré dans le diagramme anthracologique de synthèse.

COSTE DE TONIS I-16	US 203		
Datation	**ép. médiévale ?**		
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**
Pinus cembra	3	1	1,3
Larix-Picea	1	72	96
Rhododendron-Vaccinium	2	2	2,7
Total		**75**	100
Indéterminables		0	0
Total charbons analysés		75	

Tabl. n°16 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts de l'unité 203 du site CTI-16.

Fangeas X – 2000 m d'alt.

L'unité 3 (ou 103), qui correspond à la phase de destruction datée des XVe-XVIe siècle, a fourni un total de 225 charbons de bois (tabl. n°17, p. 956). Cinq taxons ont été identifiés : *Larix-Picea* avec 94,2 % des fréquences relatives, *Pinus cembra* avec 3,6 % des fréquences, *Pinus* sp. avec 0,4 % des fréquences, *Alnus* avec 0,9 % des fréquences et *Rhododendron ferrugineum* avec 0,4 % des fréquences. Les Gymnospermes indéterminables ne totalisent que 0,4 % des fréquences.

L'indice de concentration (84/16) (fig. n°73, p. 956) indique une nette surreprésentation du taxon dominant, *Larix-Picea*, lié à la nature même des dépôts : structures en bois incendiées. Le spectre caractérise une sélection préférentielle de ce taxon pour le bâti, mais il faut noter que le Pin cembro, en dépit de sa présence limitée, tient malgré tout une petite place dans le choix des matériaux pour l'habitat aux XVe-XVIe siècles. Il n'est manifestement pas encore éradiqué de la montagne de Dormillouse.

La nature même des dépôts exclut son intégration dans le diagramme anthracologique de synthèse de la montagne de Dormillouse, mais permet de nourrir le discours sur l'habitat montagnard à la fin de l'époque médiévale.

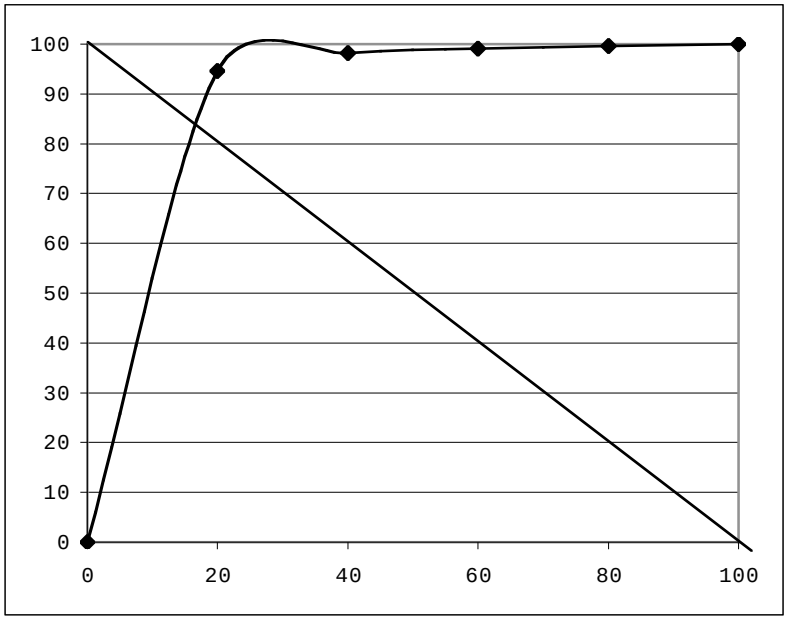


Fig. n°73 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 3 (ou 103) du site Fangeas X.

FANGEAS X	**US 103**			**US 105-106**			**US 106**			Total
Datation	**Ép. moderne**			**Ép. médiévale**			**1039 à 1238 ap. J.-C.**			
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra	2	8	3,6	3	14	11,7	2	27	7	
Pinus cf. P. cembra		0	0		0	0	14	1	0,3	
Pinus type. *P. sylvestris*		0	0	2	5	4,2	4	7	1,8	
Pinus sp.	5	1	0,4		0	0		0	0	
Larix-Picea	1	212	94,2	1	93	77,5	1	313	80,9	
cf. Larix-Picea		0	0		0	0	7	1	0,3	
Alnus	3	2	0,9		0	0		0	0	
Salix		0	0	6	1	0,8	11	4	1	
Juniperus		0	0	5	1	0,8	10	2	0,5	
cf. Juniperus sp.		0	0				6	1	0,3	
Ericaceae de montagne		0	0	5	1	0,8	13	1	0,3	
Rhododendron ferrugineum	4	1	0,4	4	3	2,5	3	15	3,9	
Vaccinium uliginosum		0	0		0	0	8	1	0,3	
Arctostaphylos uva-ursi		0	0		0	0	12	2	0,5	
Acer sp.		0	0		0	0	9	1	0,3	
Rosaceae		0	0		0	0	5	2	0,5	
Gymno. indéter.		1	0,4		2	1,7		9	2,3	
Total		**225**	100		**120**	100		**387**	100	
Indéterminables					5	4,2		13	3,4	
Total charbons analysés		225			125			400		750

Tabl. n°17 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts des unités 103, 105-106 et 106 du site Fangeas X.

Les charbons de bois échantillonnés au niveau de l'interface entre les unités 105 et 106 ont été séparés des résidus d'épandage du foyer, prélevés sur le sol d'occupation médiéval, pour des raisons strictement stratigraphiques. L'échantillonnage de cette interface a permis de recueillir un total de 125 charbons de bois dont cinq sont indéterminables. *Larix-Picea* totalise 77,5 % des fréquences relatives ; *Pinus cembra*, 11,7 % des fréquences ; *Pinus* type *P. sylvestris*, 4,2 % des fréquences ; *Salix* et *Juniperus* totalisent chacun 0,8 % des fréquences ; *Rhododendron ferrugineum*, 2,5 % des fréquences et les Éricacées de montagne 0,8 % des fréquences (tabl. n°17, p. 956). L'indice de concentration (84/16) indique une légère surreprésentation des taxons qui cumulent la presque totalité des fréquences (fig. n°74, p. 957). Cette déformation du spectre est à attribuer au nombre d'échantillons prélevés et/ou à la nature des dépôts. Au regard des rapports de proportions des taxons dominants, il serait possible que ces dépôts proviennent de structures en bois incendiées où les conifères, notamment *Larix-Picea* tiendraient une place de choix.

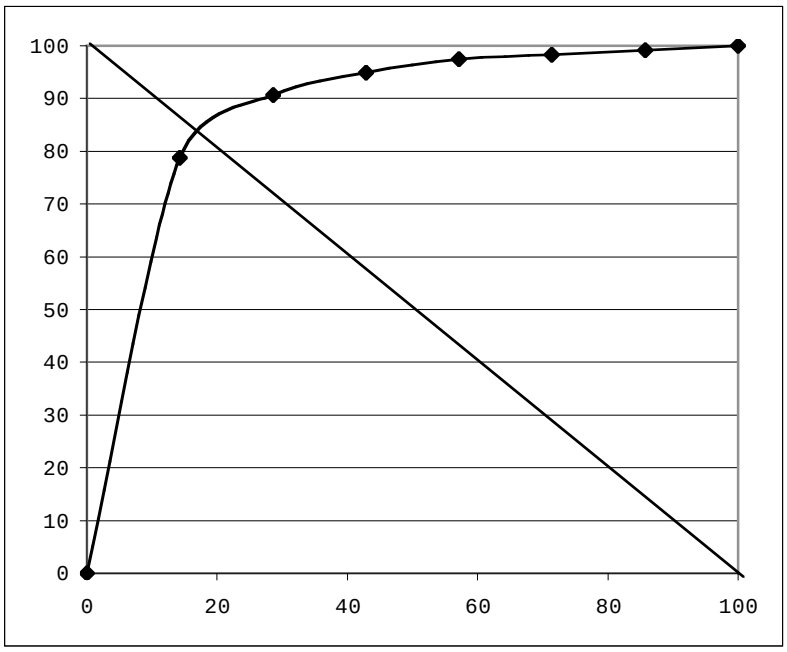


Fig. n°74 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'interface des unités 105-106 du site Fangeas X.

Or, l'indice de concentration calculé pour la couche d'occupation associée au foyer, qui a fourni un total de 400 charbons de bois avec 3,4 % d'indéterminables, est également supérieur à l'indice idéal 80/20 (tabl. n°17, p. 956). Sa valeur élevée (88/12) est à attribuer à la nature du dépôt et non pas à l'échantillonnage (fig. n°75, p. 958). Les résidus de foyer conservés peuvent correspondre à une durée de fonctionnement courte mettant en évidence une surreprésentation des grands résineux, surtout de *Larix-Picea* (80,9 %) et dans une moindre mesure de *Pinus cembra* (7 %) par rapport au ligneux bas.

La sélection préférentielle des grands ligneux peut s'expliquer d'une part par leur disponibilité aux abords du site et d'autre part par le faible intérêt des petits ligneux bas pour faire durer le foyer. Leur utilisation est par contre intéressante pour l'allumage. Ces données indiquent donc un changement des stratégies d'approvisionnement en bois de feu entre le Moyen Âge central et la première moitié du XVe siècle où les agropasteurs utilisent plus de 30 % de ligneux bas pour alimenter leur foyer. Cette forte proportion est très certainement à attribuer à une pénurie croissante des grands ligneux.

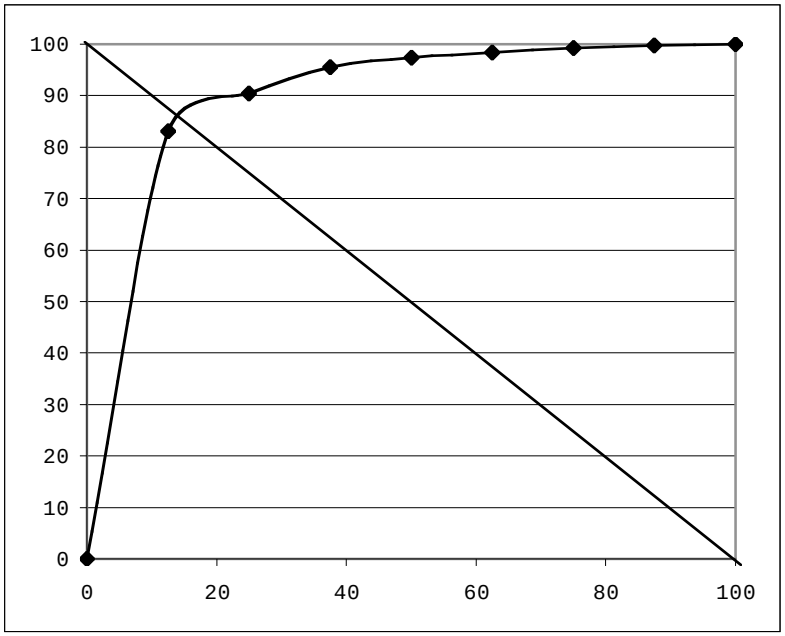


Fig. n°75 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 106 du site Fangeas X.

Au XIIIe siècle, au moment de l'utilisation du foyer, le territoire d'approvisionnement des agropasteurs est situé dans les boisements subalpins où *Larix-Picea* tient une place dominante. Les ligneux bas sont des indices d'ouverture du milieu. La forêt exploitée pourrait

se situer dans la zone de transition entre la forêt dense – mélézin subalpin – et la zone supraforestière composée de landes et landines à Éricacées et à genévriers piquetées de Pin cembro et de Mélèze. La présence du taxon *Acer* et dans une moindre mesure des *Rosaceae* est assez problématique à cette altitude. Elle peut signifier un approvisionnement plus bas dans le versant ; environ 200 m en aval si on s'en tient à l'aire de répartition actuelle de l'Érable le plus montagnard. Concernant les Rosacées, bien que leur présence soit marginale dans les diagrammes anthracologiques de sites de haute montagne, le manque de précision de la détermination n'autorise aucune évaluation de leur aire de répartition. Il n'est donc pas possible d'affirmer que l'alimentation du foyer a été réalisée avec des bois prélevés uniquement sur le chemin de la montagne (fagotage), cent mètres voire deux cents mètres plus bas. Néanmoins, cette hypothèse est envisageable, du moins pour une faible portion du combustible. Une telle pratique pourrait expliquer la surreprésentation de *Larix-Picea* et serait un indice indirect d'un fort recul de la forêt dense (en dessous de 2000 m d'altitude ?) et d'une extension de la zone supraforestière. Mais, les données ne sont pas assez précises pour être catégorique et la prudence s'impose.

Fangeas VI et VII – 2000-2010 m d'alt.

L'étude des gros charbons de bois provenant du niveau de structures en bois incendiées datées de l'époque carolingienne a été volontairement limitée à 25 fragments. Les charbons étaient particulièrement fragiles et ont été considérablement re-fragmentés lors de la fouille et de leur transport. Leur nature et leur état de conservation ont été à l'origine du caractère limité de l'effort d'analyse. Ce corpus qui ne présente pas d'intérêt véritable pour l'approche paléoenvironnementale est constitué à 100 % de *Larix-Picea* ; essence de prédilection pour la construction des élévations et de la toiture dans l'habitat médiéval. Malgré les précautions adoptées pour le séchage des échantillons (à l'abri de la lumière et de la chaleur), les charbons de bois sont en très mauvais état. Ils présentent de très nombreuses fentes radiales de retrait, des fusions cellulaires localisées dans le bois initial et surtout des déformations anatomiques liées au poids des charges portées par la ou les pièces de bois (écrasements des fibres ligneuses) confirmant leur provenance de structures en bois porteuses incendiées.

L'étude des dépôts carbonisés du site Fangeas VI s'est par contre révélée d'un grand intérêt pour caractériser l'état des boisements sur le plateau de Fangeas à l'aube de l'ère

moderne et les stratégies d'approvisionnement en bois de feu domestique. Un total de 1200 charbons de bois a été analysé pour ce site. Un échantillon de 400 charbons provient de l'interface du sommet du sol de circulation avec le niveau de destruction (US 5). Un échantillon de 300 charbons provient du foyer (US 6) et un échantillon de 500 charbons provient du niveau d'occupation (US 7) (tabl. n°18, p. 960).

FANGEAS VI	**US 5**			**US 6**			**US 7**			Total
Datation	**XVe-XVIe siècles**									
TAXONS	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	**Rang**	**FA**	**FR**	
Pinus cembra		0	0	19	2	0,7		0	0	
Larix-Picea	3	32	8,1	4	31	10,3	5	54	11	
Alnus	6	248	62,9	2	161	53,7	3	219	44	
Salix	1	45	11,4	1	55	18,3	4	107	21	
Juglans regia		0	0	6	8	2,7		0	0	
Alnus viridis	2	9	2,3		0	0	13	4	0,8	
Alnus cf. A. viridis	5	17	4,3	13	6	2	7	11	2,2	
Rosaceae, Maloideae	4	15	3,8	3	6	2	2	23	4,6	
Juniperus	12	2	0,5	11	5	1,7	10	7	1,4	
Frangula alnus		0	0	5	4	1,3		0	0	
Fraxinus	7	15	3,8	15	4	1,3	9	7	1,4	
Rosa		0	0	12	3	1	8	5	1	
Corylus avellana	11	4	1,0	16	3	1		0	0	
Ericaceae de montagne		3	0,8	9	3	1	12	26	5,2	
cf. Ericaceae de montagne		0	0		0	0	11	3	0,6	
Rhododendron-Vaccinium		0	0		0	0	17	1	0,2	
Cornus		0	0	20	2	0,7		0	0	
Arctostaphylos uva-ursi	8	1	0,3	8	1	0,3	1	10	2	
Sorbus cf. S. aucuparia		0	0	10	1	0,3	14	4	0,8	
Sambucus		0	0	7	1	0,3	21	1	0,2	
cf. Frangula alnus		0	0	21	1	0,3		0	0	
Lonicera sp.		0	0	17	1	0,3		0	0	
Acer		0	0		0	0	6	2	0,4	
Acer cf. A . pseudoplatanus		0	0	14	1	0,3	20	4	0,8	
cf. Rosaceae, Maloideae	9	1	0,3		0	0		0	0	
cf. Rosa sp.		0	0		0	0	19	1	0,2	
Prunus	13	1	0,3		0	0	18	3	0,6	
cf. Prunus sp.	10	1	0,3		0	0		0	0	
Berberis vulgaris		0	0	18	1	0,3	15	1	0,2	
Crataegus sp.		0	0		0	0	16	1	0,2	
Betula sp.		0	0		0	0	22	1	0,2	
Angio. indéter.		0	0		0	0		5	1	
Total		**394**	100		**300**	100		**500**	100	
Indéterminables		6	1,5			0		0	0	
Total charbons analysés		400			300			500		1200

Tabl. n°18 : Fréquences relatives et absolues des taxons identifiés dans les dépôts échantillonnés des unités 5, 6 et 7 du site Fangeas VI.

Un total de 13 taxons a été identifié dans l'échantillon de l'unité 5. Seulement 1,5 % des charbons de bois se sont avérés indéterminables pour des raisons de mauvais état de conservation et/ou de déformations anatomiques trop importantes. Le spectre des fréquences est dominé par *Alnus* qui totalise 62,9 % des fréquences relatives. Dans l'ordre décroissant, *Salix* est en deuxième position avec 11,4 % des fréquences ; *Larix-Picea,* en troisième position avec 8,1 % des fréquences ; *Alnus cf. A. viridis,* en quatrième position avec 4,3 % des fréquences ; les Rosacées, Maloidées et *Fraxinus* sont en cinquième position avec respectivement 3,8 % des fréquences ; *Alnus viridis* est en sixième position avec 2,3 % des fréquences ; *Corylus avellana,* en septième position avec 1 % des fréquences ; les Éricacées de montagne sont en huitième position avec 0,8 % des fréquences ; *Juniperus* est en neuvième position avec 0,5 % des fréquences et enfin *Arctostaphylos uva-ursi, cf. Rosaceae, Maloideae, Prunus* sp., *cf. Prunus* sp. sont en dixième position avec 0,3 % des fréquences (*cf.* tabl. n°18, p. 960)

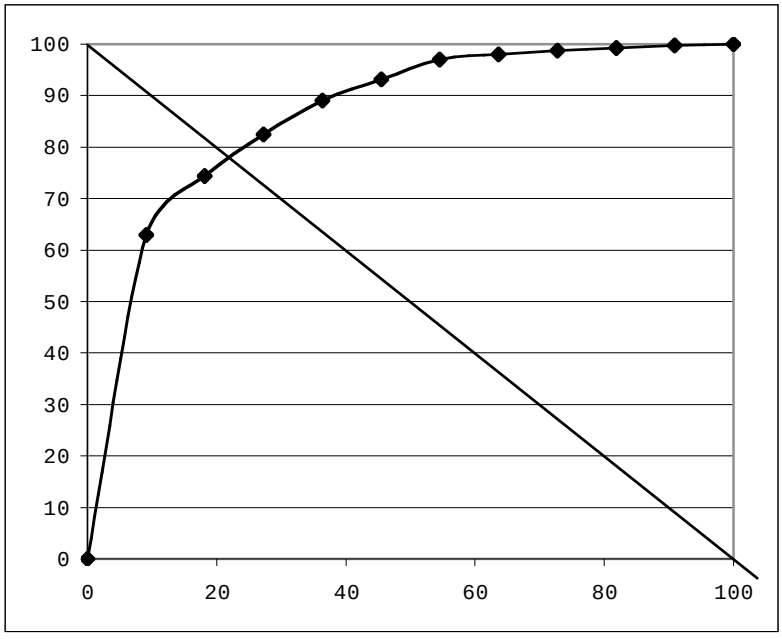


Fig. n° 76 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 5 du site Fangeas VI.

Comparé à l'ensemble des autres échantillons étudiés, le spectre est particulièrement riche d'un point de vue floristique. Le calcul de l'indice de concentration (78/22) est proche de l'indice idéal 80/20 indiquant le bon niveau de représentativité paléoécologique de ce dépôt avec un bon rapport de proportions entre taxons dominants et taxons secondaires (fig. n°76, p. 961). La dominance du taxon *Alnus* associé à *Salix* et à *Alnus viridis* suggère un territoire d'approvisionnement en bois de feu principalement localisé dans les fourrés de Saules et d'Aulnes de la zone supraforestière d'ubac. *Larix-Picea* pourrait indiquer un approvisionnement dans les massifs forestiers subalpin qui seraient localisés et extrêmement morcelés. Les formations de sous-bois associées au mélézin subalpin sont très discrètes (*Artostaphylos uva-ursi*, Éricacées de montagne, *Juniperus*). Les landes et landines supraforestières à genévriers et Éricacées apparaissent en filigrane. Par contre, on note la présence, avec des fréquences toujours très faibles, de taxons plus typiquement montagnards indicateurs de milieux fortement anthropisés : les Rosacées, Maloïdées et Prunoïdées, *Fraxinus*, *Corylus avellana* (friches), auxquels on pourrait adjoindre *Artostaphylos uva-ursi* (landes montagnardes), *Juniperus* (friches), *Alnus* et *Salix* (ripisilve).

Ces observations permettent de dégager deux premières hypothèses. Premièrement, les agropasteurs auraient alimenté leur foyer avec le bois produit par l'exploitation des brousses supraforestières à Aulnes et Saules en raison de la pénurie de grand ligneux. Les branches fagotées sur le chemin de l'estive (tranche montagnardes) auraient servi de combustible d'appoint pour compléter la réserve produite en haute montagne. Deuxièmement, presque tout le combustible utilisé pour alimenter le foyer du chalet d'estive a été abattu dans la tranche montagnarde, et provient principalement de l'exploitation de la ripisilve. Il a été transporté jusqu'à l'estive où les disponibilités forestières sont extrêmement réduites en raison de la surexploitation des zones pastorales et agropastorales vouées à la production de l'herbe et au pâturage. Cette dernière hypothèse concorde avec l'indice de concentration de Pareto qui révèle une unité écologique des boisements exploités.

Le spectre de l'unité 6 présente de nombreuses correspondances avec le spectre de l'unité 5 : richesse floristique (21 taxons déterminés) et présence affirmée des taxons montagnards. L'indice de concentration est légèrement élevé (83/16) en raison de la nature du dépôt (vestiges du foyer, donc du ou des derniers feux) (fig. n°77, p. 963). Il indique une surreprésentation du ou des taxons dominants et une image légèrement biaisée des proportions des taxons. Le spectre des fréquences est dominé par *Alnus* qui totalise 53,7 % des fréquences. Dans l'ordre décroissant, *Salix* est en deuxième position avec 18,3 % des

fréquences ; *Larix-Picea* est en troisième position avec 10,3 % des fréquences ; *Juglans regia* est en quatrième position avec 2,7 % des fréquences ; les Rosacées, Maloïdées et *Alnus cf. A. viridis* sont en cinquième position avec 2 % des fréquences ; *Juniperus* est en sixième position avec 1,7 % des fréquences ; *Frangula alnus* et *Fraxinus* sont en septième position avec 1,3 % des fréquences ; *Rosa*, *Corylus avellana* et les Éricacées de montagne sont en huitième position avec 1 % des fréquences ; *Pinus cembra* et *Cornus* sont en neuvième position avec 0,7 % des fréquences ; *Arctostaphylos uva-ursi*, *Sorbus cf. S. aucuparia*, *Sambucus*, *cf. Frangula alnus*, *Lonicera* sp., *Acer cf. A. pseudoplatanus* et *Berberis vulgaris* sont en dixième position avec 0,3 % des fréquences.

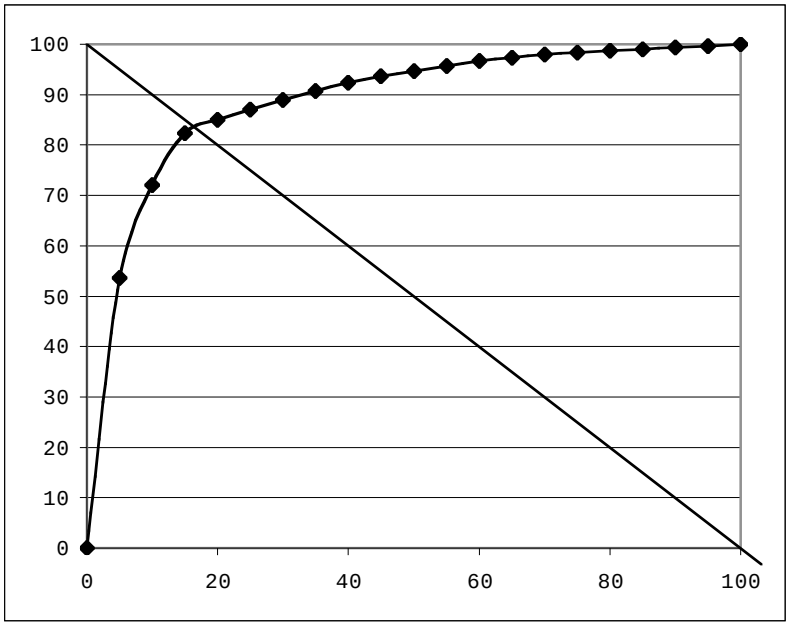


Fig. n°77 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 6 du site Fangeas VI.

Par rapport à l'unité précédente, les taxons typiquement montagnards, indicateurs des friches, des milieux fortement anthropisés et/ou humides se multiplient : *Alnus*, *Salix*, les Rosacées, Maloïdées, *Frangula alnus* (zones humides), *Fraxinus*, *Rosa*, *Corylus avellana* (friches), *Cornus* (friches), *Sambucus* (ripisilve), *Lonicera* sp., *Berberis vulgaris* (friches), *Acer cf. A. pseudoplatanus*, *Sorbus cf. S. aucuparia* (friches). On note même la présence significative d'un taxon cultivé lié aux zones d'habitats de moyenne montagne : *Juglans regia*. On peut adjoindre à ce cortège floristique montagnard, *Larix-Picea* (pionnier),

Artostaphylos uva-ursi, *Juniperus* et les Éricacées de montagne. Les taxons typiquement subalpins sont *Larix-Picea*, *Pinus cembra* auxquels on peut adjoindre *Juniperus* et les Éricacées de montagne. Enfin, les taxons *Alnus*, *Alnus cf. A. viridis*, *Salix* et *Lonicera* peuvent signaler une exploitation des brousses supraforestières. Les données de ce spectre vont dans le sens des deux interprétations émises plus haut, mais accentuent l'impression d'une exploitation systématique des boisements de la ripisilve, des friches et des bordures anthropiques montagnardes, pour l'approvisionnement en combustible des chalets d'estive.

Pour finir, le spectre de l'unité 7 qui correspond au sol d'occupation de la cabane qui était jonché des rejets du foyer (épandages) est exceptionnellement riche avec 22 taxons différents. 1 % des échantillons sont des Angiospermes indéterminables. Le mauvais état de conservation des échantillons (petits charbons roulés) n'a pas permis dans cinq cas d'obtenir une coupe transversale avec des critères anatomiques discriminants. L'indice de concentration est idéal avec 80 % des taxons qui cumulent 20 % des fréquences (fig. n°78, p. 964). Les rapports de proportions entre les taxons sont donc à l'image de leur rapport de proportions dans le paléopaysage ligneux exploité par les agropasteurs.

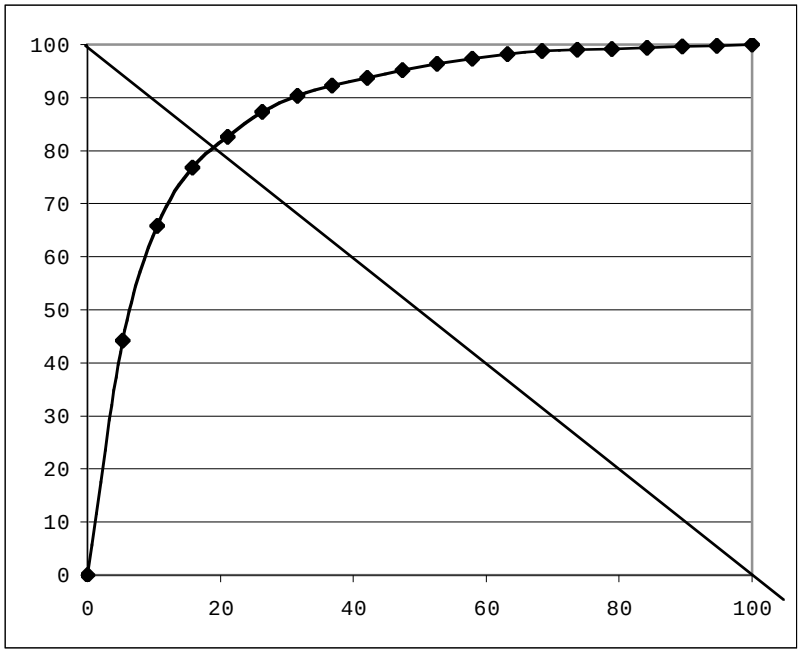
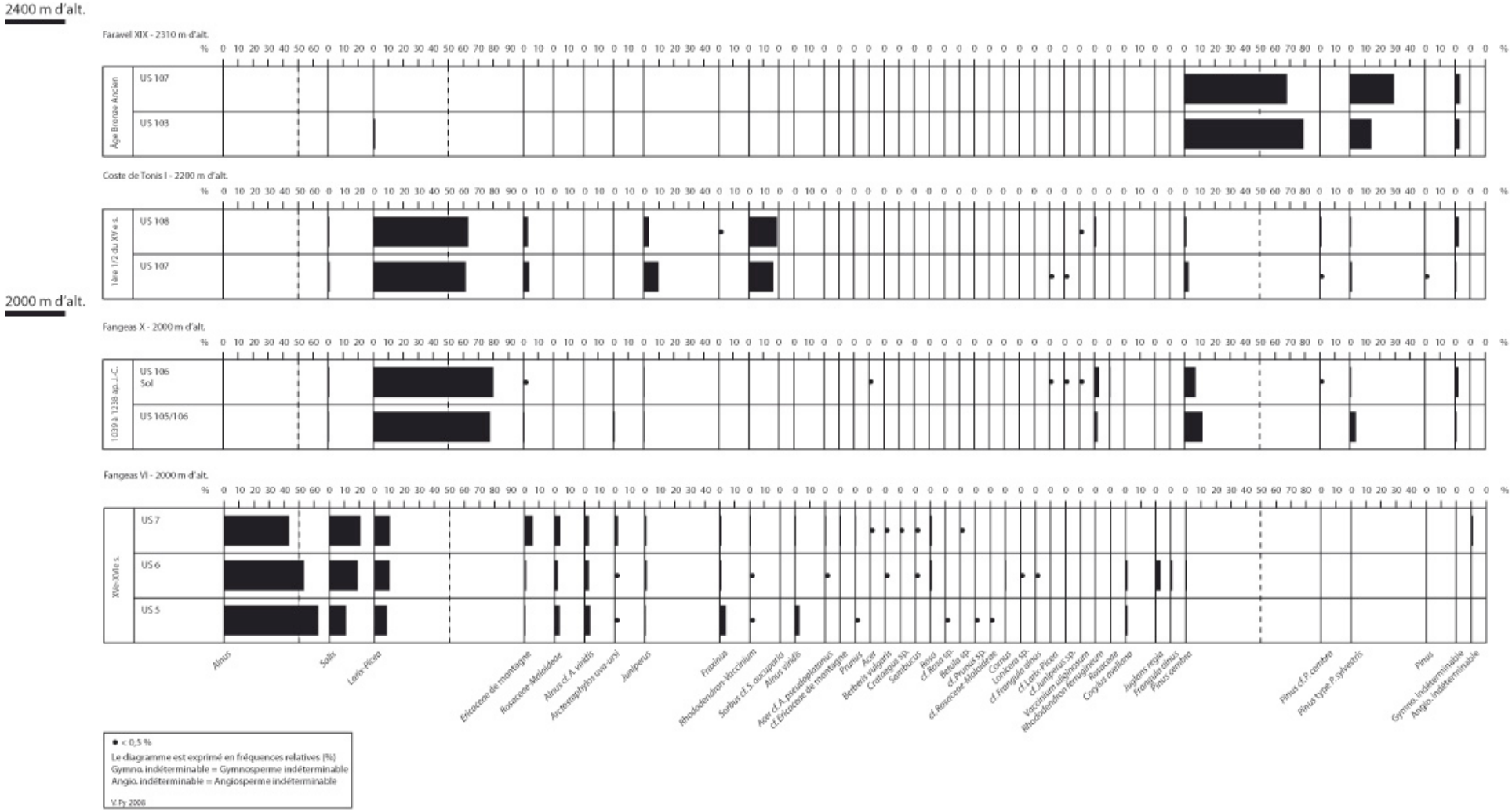


Fig. n°78 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 7 du site Fangeas VI.

Comme pour les unités précédentes, le spectre est dominé par *Alnus* qui totalise 43,8 % des fréquences ; *Salix* qui totalise 21,4 % des fréquences et *Larix-Picea* qui totalise 10,8 % des fréquences (tabl. n°18, p. 960). Puis, dans l'ordre décroissant, on trouve en quatrième position, les Éricacées de montagne avec 5,2 % des fréquences ; les Rosacées, Maloïdées avec 4,6 % des fréquences ; *Alnus cf. A. viridis* avec 2,2 % des fréquences ; *Juniperus* et *Fraxinus* avec respectivement 1,4 % des fréquences ; *Rosa* avec 1 % des fréquences ; *Alnus viridis, Sorbus cf. S. aucuparia, Acer cf. A. pseudoplatanus* avec respectivement 0,8 % des fréquences ; *cf.* Éricacées de montagne et *Prunus* avec respectivement 0,6 % des fréquences ; *Acer* avec 0,4 % des fréquences ; *Rhododendron-Vaccinium, Sambucus, cf. Rosa* sp., *Berberis vulgaris, Craetegus* sp. (friches), *Betula* sp. avec respectivement 0,2 % des fréquences.

Ces données valident définitivement les hypothèses émises plus haut. Les occupants de Fangeas VI ont récolté leur combustible dans la zone montagnarde, et plus particulièrement dans les secteurs de ripisilve (abords des torrents) et les zones de friches montagnardes (incultes). Un approvisionnement sur la fin du parcours de l'estive dans les brousses supraforestières n'est pas à exclure, mais l'unité écologique du dépôt va dans le sens d'un approvisionnement dans une aire homogène. Les spectres de Fangeas VI indiquent en négatif la disparition de la forêt subalpine dense aux abords du plateau de Fangeas, voire jusqu'à 1800 m d'altitude. Les espaces subalpins sont entièrement voués à l'agropastoralisme. Ces données vont dans le sens des observations archéologiques qui mettent en évidence une augmentation des sites à vocation agropastorale à la fin du Moyen Âge.

PLANCHE N°82 : DIAGRAMME ANTHRACOLOGIQUE DES CABANES DE LA MONTAGNE DE FARAVEL



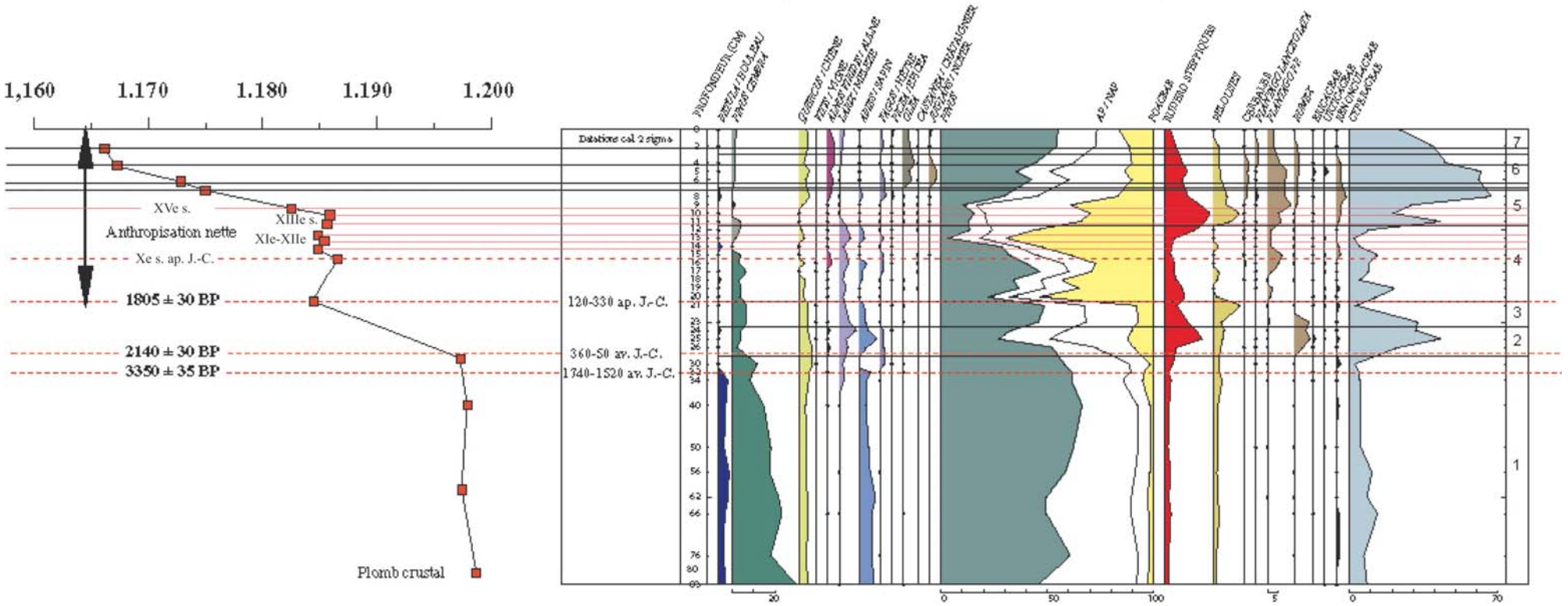
IV.2.2. Diagramme pollinique et analyse isotopique des tourbes du bas-marais de Fangeas – 1990 m d'alt.

La présence aux abords du *bas-marais de Fangeas de structures d'occupation et d'ouvrages miniers anciens[159] a motivé le prélèvement d'une séquence sédimentaire, réalisé en 2001 par l'équipe de J.-L. de Beaulieu, instigateur avec Ph. Leveau du Programme Environnement, Vie et Société du C.N.R.S. : « La forêt et le troupeau dans les Alpes du Sud du Tardiglaciaire à l'époque actuelle, à l'interface des dynamiques naturelles et des dynamiques sociales ». L'objectif était de traduire le plus fidèlement possible l'histoire du milieu environnant. Le diagramme pollinique de synthèse dressé par J.-L. de Beaulieu a été analysé et publié en 2006 dans un article cosigné par K. Walsh, S. Richer et J.-L. de Beaulieu dans la revue « *Word Archaeology* » (Walsh *et al.* 2006). Cette étude a été réalisée dans une perspective de restitution des relations entre l'évolution des fréquences de taxons, leur apparition, développement voire disparition, et l'occupation du secteur durant la Préhistoire, les âges des métaux et l'époque romaine (pl. 83, p. 968).

Avec le programme Éclipse II, coordonné par A. Véron, l'étude palynologique a été complétée par une analyse géochimique réalisé par M. Segard portant sur le plomb et ses isotopes stables (Véron *et al.* 2008). Un des objectifs de ce programme était de placer sur l'échelle chronologique les balbutiements de l'activité minière, son développement et son arrêt tout en faisant un parallèle entre les signatures isotopiques du plomb contenu dans les sédiments et les transformations du couvert forestier mises en évidences par la palynologie. Nous verrons que l'analyse anthracologique complète la trame palynologique parce qu'elle aborde les modalités d'exploitation des boisements par les mineurs et les agropasteurs.

[159] Au moment du carottage pollinique, aucune datation en laboratoire n'avait encore été réalisée pour les sites miniers.

PLANCHE N°83 : DIAGRAMME POLLINIQUE DE FANGEAS ET RAPPORTS ISOTOPIQUES



Site et séquençage chronologique

Le site humide occupe une petite dépression elliptique fermée qui mesure une soixantaine de mètres sur son axe le plus long. Elle est située sur un replat gazonné à 1990 m d'altitude. Asséché en été, le bas-marais est occupé par une végétation de prairie humide et de zones marécageuses d'altitude composée principalement de Scirpes (famille des Cypéracées), de Potentilles et de diverses mousses. Le lac est dominé à l'est par un versant pentu qui rejoint la crête des Grandes Barres et, à l'ouest, par les prairies tourbeuses et mamelonnées du vallon de Fangeas. Il est situé à seulement quelques mètres à vol d'oiseau des premiers travaux miniers. Le bas-marais présente par sa taille, contrairement à des zones humides importantes, les conditions idéales pour l'enregistrement de pollens d'origine locale (Galop 1998 ; David, Barbero 2001, p. 161 ; Muller *et al.* 2006). Or, le site est ouvert aux vents qui proviennent de la vallée et s'encastrent dans la haute vallée de Freissinières. Il a donc été exposé à des arrivées de pollens d'origine locale et régionale. *A priori*, le diagramme pollinique contient plusieurs niveaux de lecture à l'échelle du vallon, de la vallée et de la région.

Au centre de la dépression tourbeuse, le comblement sédimentaire qui n'excède pas 1 m de profondeur suggère une formation tardive – du moins pour les paléoenvironnementalistes – de la tourbière. La séquence sédimentaire de 83 cm prélevée avec un carottier russe est constituée, à la base, de hyttja tourbeuses beige foncé, vers – 60 cm, d'une tourbe plus brune, et à partir de – 30 cm, d'une tourbe fibreuse terreuse. La rareté des vestiges ligneux contenus dans la tourbe indique l'absence de boisement dense aux alentours direct du site, du moins, depuis la formation de la tourbière (J.-L. de Beaulieu, rapport inédit ; Walsh *et al.* 2006).

La faible ampleur de la séquence sédimentaire a impliqué un découpage très serré de la partie supérieure de la carotte pour mettre en évidence les transformations environnementales impliquées par l'occupation et l'exploitation de cette zone de montagne par l'homme (pl. 83, p. 968).

Quatre datations radiocarbones (AMS) ont été réalisées à partir de vestiges organiques prélevés vers – 64 (– 65) cm, – 32 cm, – 28 cm et – 20,5 cm de profondeur. D'après le résultat des analyses, les premiers dépôts sédimentaires ont pu s'accumuler vers 5000 av. J.-C. La première partie de la séquence (de – 66 à – 34 cm) couvre le Néolithique ancien (4690-4360 av. J.-C.), moyen et final et le Chalcolithique. La seconde partie (de – 32 à – 28 cm) couvre la transition Bronze ancien et moyen (1740-1520 av. J.-C.), le Bronze final, l'Hallstatt et la Tène

I[160]. La troisième partie (de – 28 à – 20,5 cm) couvre la fin de la Tène I, la Tène II et III et le Ier siècle ap. J.-C. La quatrième partie (à partir de – 20,5 cm) débute entre le début du IIe et du IVe siècle ap. J.-C. (Segard 2005). Le reste de la carotte n'a pas fait l'objet de datation, ce qui constitue un handicap pour étudier l'époque médiévale. Cependant, l'approche croisée des indicateurs polliniques et isotopiques, confrontée aux données archéologiques, caractérise avec une bonne résolution chronologique les changements environnementaux opérés durant le Moyen Âge.

Description synthétique du diagramme pollinique par zones

L'apparition ou disparition des différents taxons, l'analyse de leurs fréquences relatives et de leur évolution sur l'échelle chronologique découpent la séquence pollinique en sept zones (pl. 83, p. 968). La présentation des grands traits de ce « zonage » et la description synthétique des principaux caractères du diagramme sont nécessaires pour se familiariser avec ce support et tenter une restitution hypothétique de l'évolution du paysage floristique de la haute vallée de Freissinières et de la région haute durancienne depuis le Néolithique jusqu'à nos jours. Pour cela, nous nous sommes appuyée sur le séquençage de J.-L. de Beaulieu et sur les premières observations de M. Segard qui a étudié ce diagramme dans sa thèse sur les Alpes à l'époque romaine (Segard 2005).

Le cortège floristique de la première zone située entre la base de la séquence (– 83 cm) et – 32 cm de profondeur (Néolithique ancien, moyen et final et Chalcolithique), est caractérisé par des fréquences de pollens arboréens (PA) très élevées dominées par les pins (*Pinus*) et un fort pourcentage de Pin cembro (*Pinus cembra*). Les courbes continues du Sapin (*Abies*) et du Chêne (*Quercus*) peuvent traduire un influx régulier des pollens produits par des boisements situés à plus basse altitude (entre 1000 et 1800 m). La courbe continue du Bouleau (*Betula*) peut indiquer un apport de pollens produits à plus basse altitude, mais aussi par des boisements humides subalpins ou supraforestiers (brousses à Aulnes et Saules). La dominance des grands arbres révèle un paysage forestier fermé, n'exclut pas la présence de pollens non

[160] La faible accumulation de tourbe dans la zone associée à l'Âge du Fer indique que cette période est à peine représentée dans le diagramme pollinique. Elle a été interprétée comme une conséquence possible d'une pratique de *peat cutting* (coupe de la tourbe) attestée dans les Alpes autrichiennes à 2300 m d'altitude ou d'un réchauffement climatique (Walsh *et al.* 2006, p. 445).

arboréens dominés par les Cypéracées (prairies humides, lieux marécageux) (jusqu'à plus de 10 %) associées au cortège des Herbacées de pelouses et des rudéro-steppiques encore secondaires.

Une première perturbation des courbes polliniques est perceptible à partir de – 32 cm de profondeur, mais surtout vers – 30 cm. Les fréquences du Bouleau qui se réduisent à partir de – 34 cm atteignent un taux presque nul à – 30 cm. Les courbes du Sapin et du Pin chutent vers – 32 cm et celle du Pin cembro vers – 30 cm. De façon générale, la courbe du rapport AP/NAP s'incline significativement à partir de – 32 cm. Elle est associée à un léger accroissement des fréquences d'Herbacées (*Poacées, rudéro-steppiques, Cypéracées) surtout à partir de – 34 cm. Ces modifications de fréquences sont précédées vers – 37 cm par le départ de la courbe continue du Mélèze dont les premiers pollens avaient été détectés vers – 66 cm.

La seconde zone (– 28 à – 23,5 cm) est caractérisée par l'abaissement net du rapport AP/NAP et la chute brutale de la courbe des pins au-dessous de la barre des 50 %. Ce phénomène est légèrement postérieur à 360-50 av. J.-C. Le recul flagrant des pollens arboréens est associé à un pic des fréquences des Cypéracées (40 %), des *Rumex* (Oseilles), des rudéro-steppiques et des Poacées (Graminées), précédé du premier grain de pollen de céréales. Jusqu'à présent très timides, les Éricacées émergent et leur présence s'affirme dans la partie supérieure du diagramme. La courbe de l'Aulne devient continue et l'abaissement de la courbe du Pin cembro est amorcé. Les fréquences du Hêtre, du Sapin et du Chêne sont à leur apogée avant de se réduire considérablement vers – 23,5 cm.

La troisième zone (– 23,5 à – 20,5 cm) (Tène I, Tène II et III et le Ier siècle ap. J.-C.) est marquée par une nette reprise des fréquences des pins et du Pin cembro, la chute des courbes du Mélèze et du Sapin et la présence anecdotique des pollens de Hêtre. La hausse générale des fréquences du rapport AP/NAP est associée à la chute des fréquences des Poacées, des rudéro-steppiques, des *Rumex*, des Cypéracées et à une nette augmentation des pollens d'Herbacées de pelouses. La limite entre les zones 3 et 4 est datée de 120-330 ap. J.-C.

La quatrième zone (– 20,5 et – 11,5 cm) présente une spectaculaire augmentation des pollens de Poacées et dans une moindre mesure des Plantains, associée à une déprise importante des pollens de pins qui atteignent leur taux le plus bas. Les courbes du Chêne et du Sapin deviennent très hachées tandis que celle du Mélèze se maintient malgré deux nettes inflexions. Les pollens de Noyer et de Châtaignier font leur apparition et la présence des

céréales s'affirme. Les courbes des rudéro-steppiques, des Herbacées de pelouse et des Cypéracées s'inclinent fortement, contrastant avec les fréquences importantes enregistrées dans les zones 2 et 3.

La cinquième zone (– 11,5 et – 7 cm) est caractérisée par le maintien de la courbe des pins à des niveaux inférieurs à 20 %, la quasi-disparition des pollens de Pin cembro et de Mélèze et l'explosion des fréquences de Cypéracées associée à une nette augmentation des Renonculacées (pelouses subalpines, prairies subalpines), des *Rumex* et au maintien des taux élevés de Plantains. Les Herbacées de pelouses et les rudéro-steppiques remontent à des taux supérieurs ou égaux à 10 % et la courbe des céréales devient continue.

La sixième zone située (– 7 et – 3 cm) est marquée par la reprise de la courbe du Pin cembro avec des taux inférieurs à 5 % et l'augmentation des taux de pins qui atteignent un peu plus de 50 % en fin de zone. Les Cypéracées et les Plantains se maintiennent à des taux élevés, mais entament une régression en fin de zone. Les courbes d'Herbacées de pelouse et de rudéro-steppiques s'inclinent tandis que les taux des *Rumex* et des céréales se maintiennent. Les pollens d'arbres cultivés produits à plus basse altitude atteignent leur apogée. Les pollens d'Aulne présentent également une percée spectaculaire.

La septième zone (– 3 cm et la surface) (époque contemporaine) montre le maintien des fréquences des pins au-dessus de la barre des 50 % et la très nette inclinaison des courbes de pollens non arboréens. Les taux de Poacées, de Cypéracées, de rudéro-steppiques et d'Herbacées de pelouse sont en véritable chute libre. Les pollens de céréales et de Noyer sont anecdotiques tandis que la fréquence de l'Olivier se maintient. L'occurrence des pollens d'Aulne, arbre pionnier, intensifiée dans la zone 6, reste relativement importante.

Actuellement, les plateaux de Fangeas et de Faravel sont entièrement voués au pastoralisme saisonnier. La zone de Fangeas est pâturée au début et à la fin de l'estive, tandis que le haut vallon et les pelouses alpines du Col des Terres Blanches sont pâturées au plus fort de l'été. On compte trois bergers répartis sur les secteurs de Fangeas-Faravel, Palluel et Chichin, avec chacun à leur charge environ 500 bêtes. Si on s'attarde sur les derniers centimètres de la carotte, on remarque qu'en dépit de cette exploitation agropastorale, qui a réduit de 65 % depuis les dernières décennies du XIXe siècle (Laslaz 2006), les taux de Plantains et de *Rumex* baissent considérablement (disparition des pollens d'Urticacées) alors qu'ils sont les principaux indicateurs de la présence du troupeau. Alors, comment interpréter les variations de fréquences des taxons indicateurs d'anthropisation et comment évaluer

l'impact de la pression humaine et pastorale sur les boisements, leur répartition et la composition floristique ? Avant d'aborder cette question qui nécessite une analyse chirurgicale du diagramme pollinique, croisée avec toutes les autres données disponibles, il est nécessaire de préciser le séquençage chronologique du Moyen Âge. L'apport de l'analyse de la variation des isotopes du plomb s'est avéré fondamental pour caler la chronologie du Moyen Âge sans « surinterpréter » les données polliniques.

Variations des rapports isotopiques[161] et précision du séquençage chronologique

Le Néolithique et le début de l'âge du Bronze ancien présentent un facteur d'enrichissement faible (pl. 83, p. 968). Les rapports isotopiques sont stables. Ils correspondent aux teneurs naturelles en plomb de la croûte terrestre (plomb crustal) et confirment l'absence d'activité minière aux alentours du bas-marais de Fangeas, mais également dans le secteur haut durancien durant cette période.

À partir du Bronze ancien et jusqu'à la fin de l'âge du Fer, le facteur d'enrichissement enregistre ponctuellement une légère hausse. Il atteint une valeur de 5,5 vers – 32 – 33 cm. Le Bronze ancien est marqué par une évolution légère et ponctuelle des compositions isotopiques. Or, il est difficile d'établir un lien entre ces faibles changements et l'éventuel développement d'une activité minière. On sait néanmoins que les mines de cuivre de Saint-Véran étaient actives. La présence hypothétique de minerai de cuivre à Fangeas a longtemps suscité l'intérêt des préhistoriens qui soupçonnaient une activité minière protohistorique. Encore jamais argumentée par l'archéologie, cette hypothèse peut dorénavant être écartée.

La signature isotopique varie une première fois de façon significative entre la fin de l'âge du Fer et la fin de l'époque romaine. Vers 360-50 av. J.-C., le facteur d'enrichissement augmente discrètement, mais reste inférieur à 10. Vers 120-330 ap. J.-C., la valeur du rapport $^{206/207}$Pb passe de 1,197-1,198 à une valeur proche de 1,185, avec des facteurs d'enrichissement qui augmentent sensiblement. Elle révèle un apport en plomb anthropique et

[161] Les premiers résultats de cette étude ont été présentés au colloque d'Archéométrie de Saclay en 2005 et figurent dans la thèse de M. Segard qui a réalisé le travail de laboratoire sous la direction d'A. Véron (Segard 1998).

la première manifestation franche d'une activité minière au tournant du changement d'ère (première moitié du Ier s. ap. J.-C. par interpolation des dates). Ces signatures isotopiques sont similaires aux signatures mesurées pour des échantillons de minerais provenant des mines de Faravel et Fournel (1.185-1.186). Elles sont donc une des premières preuves directes d'une exploitation minière antérieure au Moyen Âge dans la région (Véron *et al.* 2008). Mais les données archéologiques imposent une certaine vigilance. Ces variations isotopiques peuvent être le résultat de travaux de prospection minière et de grattages localisés qui n'auraient pas donné lieu à un développement industriel de l'activité.

Entre – 20 et – 10 cm, le rapport $^{206/207}$Pb se maintient à des valeurs proches de 1,185 indiquant une exploitation discontinue du minerai local. Mais, des variations sont perceptibles. Elles peuvent mettre en évidence différentes phases d'exploitation. Le rapport $^{206/207}$Pb change significativement à partir de – 16 cm où il passe progressivement de 1,185 à 1,165. Le facteur d'enrichissement connaît également une forte hausse entre – 15 et – 12 cm. Cette portion de la séquence sédimentologique souffre d'une faible résolution chronologique avec environ 10 cm pour 1700 ans (approche statistique indicative). Bien que non datées, les valeurs des rapports isotopiques situées entre – 16 et – 10 cm, peuvent être attribuées grâce aux données archéologiques à la phase d'exploitation médiévale des mines de Faravel et du Fournel caractérisée par l'archéologie (X^{e}-XIVe siècles). Ce phasage chronologique peut même être précisé dans le détail. La variation du rapport enregistrée entre – 15 et – 16 cm correspond aux premiers travaux de prospection minière datés du Xe siècle. Les variations du rapport enregistrées entre – 14 et – 12 cm correspondent à la phase d'intensification de l'activité minière des XIe-XIIe siècles. Les variations du rapport comprises entre – 11 et – 10 cm correspondent à la phase d'exploitation datée des XIIIe-XIVe siècles. La variation du rapport enregistrée à – 9 cm, légèrement différente des précédentes, peut correspondre à la tentative de reprise du XVe siècle. Enfin, les valeurs comprises entre – 8 cm et la surface sont à attribuer aux différentes phases de reprises modernes (XVIIe-XVIIIe siècles) et contemporaines (XIXe siècle) attestées par la documentation écrite et archéologique au Fournel. Durant cette phase ultime, le facteur d'enrichissement demeure autour de 7-10 tandis que le rapport $^{208/206}$Pb augmente et atteint des valeurs comprises entre 2,09 et 2,10. Parallèlement, le rapport $^{206/207}$Pb décroît et atteint la valeur minimale de 1,661 en surface.

Ces données confirment non seulement le phasage chronologique de l'exploitation minière, fondé sur les données archéologiques, mais permettent d'appréhender objectivement et avec une très grande précision, exceptionnelle pour un diagramme pollinique (Durand

2004, I, p. 156), les changements environnementaux opérés durant le Moyen Âge. Dans une perspective diachronique propre à ce chapitre consacré à l'histoire du milieu, et pour cerner plus justement les particularités médiévales, nous avons jugé intéressant d'intégrer à la discussion les périodes hautes (Néolithique à l'époque romaine) où sont enregistrés les premiers marqueurs de l'empreinte anthropique en haute montagne, et les périodes tardives (époque moderne au XIXe siècle). Les époques modernes et contemporaines sont généralement écartées des analyses polliniques pour des questions d'enregistrements (diagrammes tronqués), de mauvais cadrage chronologique (période courte et écrasée), ou tout simplement pour leur désintérêt pour les paléoenvironnementalistes qui traitent principalement des périodes non ou mal documentées par les textes. Or, leur étude croisée avec les données archéologiques, ethnographiques et historiques, améliorerait notre perception des changements environnementaux sur la longue durée grâce à une meilleure compréhension des différents niveaux d'interprétations de la pluie pollinique. Grâce à un parfait cadrage de la chronologie, le diagramme de Fangeas dégage notamment les intérêts d'une telle approche.

Cette étude des isotopes impose toutefois un petit bémol : il faut se demander comment ont été produites ces pollutions. Nous le savons, la métallurgie et la minéralurgie polluent, mais l'extraction ? Il faut rappeler qu'aucun site de grillage ou de réduction du minerai n'a encore jamais été découvert dans la montagne de Dormillouse. La mesure des pollutions dégagées lors de l'abattage par le feu n'a jamais été réalisée. Le problème n'a d'ailleurs jamais été clairement posé. Grâce au concours de l'expérimentation, il serait bon d'envisager une telle approche dans les années à venir.

IV.2.3. Les grandes étapes de l'histoire du milieu à l'interface des dynamiques économiques et sociales

Du Néolithique à la fin de l'âge du Bronze

Les niveaux polliniques les plus anciens du diagramme de Fangeas (Néolithique et sans doute Mésolithique) révèlent un paysage floristique dominé par les grands arbres, notamment les pins et le Pin cembro (optimum étage subalpin). Ils suggèrent le règne de la haute forêt dense sur tout le développement des versants, au moins jusqu'à 2200 m d'altitude, où le pastoralisme tiendrait une place infime voire nulle (Walsh *et al.* 2006, p. 445). Or, la présence des pollens non arboréens est synonyme d'un paysage de pré-bois (ouvertures forestières), en mosaïque, où s'alterneraient des éléments forestiers, clairiaux et prairiaux, des pelouses et des *manteaux. Cette interprétation émise en premier lieu par J.-L. de Beaulieu justifie la faible quantité de macrorestes ligneux et végétaux retrouvés dans la tourbe (Beaulieu, rapport inédit). Elle indiquerait l'absence d'une couverture arborée aux abords directs du marais.

En se basant sur cette interprétation et sur les données strictement autécologiques et phytosociologiques propres aux pollens identifiés, les abords directs du vallon de Fangeas se caractériseraient alors par des formations non ligneuses caractéristiques des zones humides et tourbeuses, tandis que le reste de la haute vallée serait dominé par la cembraie, ponctuellement percée d'espaces clairiés et prairiaux, surmontée par les pelouses alpines. La courbe continue du Bouleau, espèce héliophile qui affectionne les sols humides et tourbeux, confirme la présence de zones clairiées, tandis que son association avec le Pin cembro est probable en zone supraforestière[162].

La hausse des Cypéracées, suivie de l'apparition du premier pollen de Plantain au Néolithique, a été interprétée comme un indicateur de déboisements ponctuels dont le lien avec des activités anthropiques de type pastoral conduites à proximité du site, où la cembraie connaît manifestement une progression, demeurait difficile à établir de manière fiable (Segard 2005). Au regard des données archéologiques, il faudrait plutôt parler de « fréquentations » de

[162] Les études polliniques sud-alpines ont mis en évidence le rôle pionnier du Bouleau, dès la fin du Préboréal, lors de la progression holocène de la « timberline » (voir par exemple Fauquette 1995).

la montagne par des groupes de chasseurs. L'hypothèse d'un parcours plus ou moins régulier de petits troupeaux transhumants n'est pas totalement à écarter (Leveau, Segard 2004, p. 112). Mais, les indices polliniques demeurent faibles ou peu nets et cela durant tout l'âge du Bronze et une grande partie de l'âge du Fer où le paysage reste apparemment dominé par les forêts de pins (Walsh *et al.* 2006, p. 445). Or, malgré de forts pourcentages, la dégradation régulière des forêts d'altitude[163] depuis le Néolithique apparaît en filigrane. Ce phénomène atteint même un premier apogée vers l'âge du Bronze ancien. Il est associé au déclin du Bouleau (dans une moindre mesure des pins) et au développement du Mélézin probablement à des altitudes comprises entre 2000 et 2200 m compte tenu que *Larix* atteint son optimum durant le Subboréal aux alentours de 2000 m d'altitude (Kharbouch 2000, p. 239).

Ces changements peuvent refléter une combinaison de facteurs climatiques – climat plus doux et saison estivale plus longue – écologiques et anthropiques favorables à l'activité pastorale saisonnière de haute montagne. Son développement attesté par l'archéologie aurait généré l'exploitation de zones ouvertes en très haute altitude et/ou l'ouverture de nouveaux espaces de pâturage, sous couvert du mélézin, gagnés pas à pas sur la cembraie et les espaces supraforestiers (Walsh *et al.* 2006, p. 449).

Le site de Faravel XIX dont l'occupation la plus haute est datée de l'âge du Bronze ancien (2200-1910 av. J.-C.) confirme la mise en place d'un pastoralisme saisonnier en altitude (2300 m). Les dépôts anthracologiques associés à cette occupation suggèrent une place prédominante de la cembraie, du moins dans cette tranche altitudinale. Il est probable que l'activité pastorale, favorisée par des conditions climatiques clémentes, ait démarré dans les pelouses alpines et dans les espaces supraforestiers. Les dépôts anthracologiques plus récents ont enregistré l'émergence du Mélèze dont la présence demeure discrète. Elle peut cependant être légèrement sous-évaluée en raison d'un effectif de charbons de bois analysés trop réduit (rapport de proportions non stabilisé). Les résultats anthracologiques obtenus par B. Talon pour l'enclos Faravel VIId daté de l'âge du Bronze ancien (2000-1970 av. J.-C.) situé à 2200 m d'altitude (Walsh 1999) sont basés sur des effectifs de charbons de bois faibles pour des dépôts domestiques dont les rapports de proportions sont faussés. L'unité datée par le radiocarbone correspond peut-être à un épisode d'incendie de structures en bois (?). Le spectre anthracologique révèle une dominance de *Larix-Picea* (76 %) associé au Pin cembro

[163] Les termes « forêts d'altitude » ou « haute montagne » sont utilisés pour les espaces situés au-delà de 1800 m d'altitude. À ce sujet, voir la définition de la haute montagne proposée *in* Segard *et al.* 2004, pp. 18-19.

(19,2 %) (Talon *in* Walsh 1999). Il est impossible de dire avec certitude que le milieu d'approvisionnement en bois des pasteurs, situé très probablement aux alentours de l'enclos, était dominé par *Larix-Picea* (problème d'échantillonnage), mais ces donnés tendent à confirmer la place grandissante de cette essence à 2200 m d'altitude durant l'âge du Bronze ancien, alors qu'elle est extrêmement discrète dans le diagramme pollinique. Les propriétés mécaniques du Mélèze pouvaient déjà avoir été mises en valeur pour l'habitat (constructions exposées aux intempéries) tandis que sa meilleure tenue au feu (durée) par rapport aux pins, pouvait être appréciée pour l'alimentation du foyer[164]. En l'état actuel des données, il n'est pas possible d'aller plus loin dans la réflexion, mais par contre, l'ensemble des données anthracologiques et polliniques de la montagne de Dormillouse obtenues pour cette période, autorise l'ouverture d'une fenêtre d'étude comparative dans le massif du haut Champsaur.

Les travaux archéologiques conduits par J. M. Palet, F. Ricou et M. Segard dans le massif du Champsaur (Palet *et al.* 2003) ont permis de réaliser une série d'analyses anthracologiques, encore inédites, de dépôts carbonisés prélevés et échantillonnés dans les règles – tamisage systématique de la totalité du dépôt caractérisé à l'intérieur du sondage – dans des structures pastorales datées de l'âge du Bronze (*cf.* tabl. n°19, p. 979). Les échantillons les plus pertinents d'un point de vue paléoécologique proviennent du site de Jujal (Prapic, commune d'Orcières), constitué d'un ensemble de six structures en pierres sèches (Palet *et al.* 2003, 204-206). Il est situé à 2200 m d'altitude sur un vaste plateau herbeux qui domine au sud la haute vallée du Drac. Les charbons de bois proviennent d'un enclos principal de forme ovalaire adossé à un éboulis qui enserre un espace d'environ 150 m^2 (Jujal I) et d'une petite cabane rectangulaire attenante (Jujal III) (Palet *et al.* 2003, p. 204, fig. 4). Ils sont associés à deux épisodes d'incendie. Le premier, daté du Bronze ancien/moyen (1690-1440 av. J.-C., âge calibré), a eu lieu avant même l'établissement de l'enclos et de la cabane (unité 307). Le second, intervenu peu de temps après, daté de l'âge du Bronze moyen/final (1270-1010 av. J.-C., âge calibré) paraît plus localisé car il n'a été identifié que dans le sondage de l'enclos. Il a été interprété comme un épisode d'entretien de l'espace pastoral par le feu (Palet *et al.* 2003, p. 205). Les charbons identifiés étaient destinés à l'analyse par le radiocarbone. L'effort d'analyse est donc trop limité, mais les résultats autorisent la formulation d'hypothèses paléoécologiques confirmées par les diagrammes polliniques du Champsaur, réalisés par M. Court-Picon (Court-Picon 2003).

[164] Lire à ce sujet la réflexion de K. Walsh sur le bois de feu *in* Walsh *et al.* 2006, p. 449.

Les résultats de l'unité 307 où les rapports de proportions des taxons ne sont pas stabilisés (73/26) indique la dominance presque exclusive de la cembraie dans la strate arborescente. La valeur de l'indice de concentration est à attribuer à l'effort d'analyse trop réduit. Les dépôts étaient particulièrement mal conservés avec 36,8 % des charbons observés entièrement vitrifiés et scoriés donc indéterminables. Cette observation va dans le sens d'un dépôt en relation avec un incendie, particulièrement violent et/ou démarré à une époque de l'année où les pourcentages d'extraits et de résines contenus dans les tissus ligneux sont abondants. Les fréquences des taxons secondaires sont à considérer avec prudence. Elles peuvent être légèrement sous-estimées ou surestimées. La présence de *Acer* et ses fréquences relativement élevées peuvent signaler son extension insoupçonnée à plus de 2000 m d'altitude dans la zone sud-alpine alors qu'elle a déjà été mise en évidence dans les Alpes du Nord (Carcaillet 1997 ; Kharbouch 2000, p. 240 ; David, Barbero 2001). Il doit être perçu à cette période comme un indicateur d'espaces ouverts et clairiés. Cette hypothèse est alimentée par l'existence d'autres taxons héliophiles comme les Rosacées, Rosoïdées, *Juniperus* et *Fraxinus* sp. L'analyse pollinique d'une séquence sédimentaire d'un petit lac de l'étage subalpin de moyenne Maurienne, mettant en évidence l'existence de boisements d'Érables à 2020 m d'altitude pendant plus de 2500 ans, suggère que ces peuplements pionniers d'altitude, préparaient l'installation et le développement de la cembraie (David, Barbero 2001). L'occurrence des incendies depuis le Néolithique semble être la cause de leur disparition.

JUJAL	**Cabane US 307**		**Enclos US 104**	
Datation	**1690-1440 av. J.-C.**		**1270-1010 av. J.-C.**	
TAXONS	**FA**	**FR**	**FA**	**FR**
Pinus cembra	32	56,1	82	73,9
Larix-Picea	1	1,8	19	17,1
Acer	8	14	7	6,3
cf. Rosaceae-Rosoideae	5	8,8	0	0
Juniperus	7	12,3	2	1,8
Salix sp.	1	1,8	0	0
Rhododendron-Vaccinium	2	3,5	0	0
Ericaceae de montagne	0	0	1	0,9
Fraxinus sp.	1	1,8	0	0
Total	**57**	100	**111**	100
Indéterminables	21	36,8	13	11,7

Tabl. n°19 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts de l'unité 307 de Jujal III et de l'unité 104 de Jujal I.

Les dépôts de l'unité 104 ont fait l'objet d'un effort d'analyse plus important (*cf.* tabl. n°19, p. 979). L'indice de concentration (78/22) est proche de l'indice idéal indiquant la fiabilité paléoécologique de l'échantillon liée à son contexte de dépôt et à la méthode d'échantillonnage. Un effort d'analyse plus approfondi aurait très certainement permis d'atteindre un indice de concentration idéal. Les résultats indiquent la nette dominance du Pin cembro mélangé avec *Larix-Picea* dont l'extension est significative par rapport à l'unité 307. Les taxons indicateurs d'ouverture du milieu sont moins nombreux et leurs proportions sont en baisse par rapport au dépôt précédent. Les fréquences de *Acer* ont diminué de moitié confirmant l'impact des incendies sur leur réduction dans les boisements de la limite supérieure des arbres. Les données polliniques du Champsaur et du massif des Écrins soulignent le rôle crucial de *Betula* dans la mise en place des espaces forestiers subalpins et supraforestiers, tandis que celui de *Acer* est évincé (taxon à faible production pollinique). Les données anthracologiques de site de Jujal constituent un nouvel élément pour réévaluer la place de ce taxon en limite supérieure des forêts (stades transitoires) dans le secteur intra-alpin dès avant l'âge du Bronze. Mais, elles ne permettent pas d'en savoir plus sur l'évolution antérieure des peuplements incendiés. Des individus paraissent subsister dans les zones les moins impactées (ou régénérées) dominées par *Pinus cembra* jusqu'au Moyen central aux alentours de 2300 m d'altitude. En effet, A. Durand a mis en évidence leur présence dans le spectre floristique du site du Cheval de bois situés à 2357 m d'altitude (Durand 2004, I, p. 170). Son rôle dans la régénération des boisements supraforestiers de Pin cembro n'est pas à exclure.

Ces données confirment l'idée, déjà émise pour le massif des Écrins, d'un développement sensible de *Larix-Picea* aux dépens du *Pinus cembra* en relation avec de nouvelles pratiques pastorales impliquant la création d'espaces de pacage – prairies – (ouverture du milieu) au-dessus de 2000 m d'altitude. Le même phénomène a été mis en évidence par M. Court-Picon pour la région de la haute vallée du Drac Noir, à partir du Chalcolithique et tout au long de l'Âge du Bronze, grâce à l'étude d'une carotte pollinique prélevée dans le Lac des Lauzons situé à 2180 m d'altitude (commune de Champoléon). Elle observe une phase de déforestation progressive dans les boisements subalpins composés principalement du Pin cembro, de *Pinus* type *P. sylvestris* et du Bouleau, associée à l'accroissement sensible des herbacées synanthropiques indicatrices de piétinements et d'enrichissement des sols (Court-Picon 2003, p. 216).

De façon plus large, l'âge du Bronze apparaît à travers les données paléoenvironnementales (principalement palynologiques) produites pour l'ensemble du massif alpin comme une période de recul des forêts, de développement des pelouses et d'apparition des indicateurs polliniques liés au troupeau (Beaulieu 1974, p. 102 ; Beaulieu 1977 ; Bintz *et al.* 1999 ; Pons 1992 ; Beaulieu *et al.* 1994 ; Carcaillet, Thinon 1996 ; Argant, Argant 2000 ; Muller *et al.* 2000 ; Segard *et al.* 2004, p. 21 ; Segard, Leveau 2004, p. 112). La vallée de Freissinières n'échappe pas à cette dynamique et contribue à son tour à réviser le schéma bâti par certains chercheurs percevant cette période comme un épisode de dépeuplement de la montagne (Segard *et al.* 2004, p. 28).

Âge du Fer et époque romaine

À Fangeas et de façon plus large dans le massif des Écrins, les changements environnementaux enregistrés depuis le Néolithique et durant tout l'âge du bronze, indiquant une intensification sensible de la pression humaine liée au développement de la transhumance et du pastoralisme saisonnier d'altitude, prennent une tournure nouvelle vers le deuxième âge du Fer (zone 2 du diagramme pollinique). Le diagramme pollinique enregistre la chute brutale des taux de pollens arboréens qui traduit une ouverture importante de la forêt associée au développement des Poacées et des rudéro-steppiques. Le pic des *Rumex* et l'occurrence régulière des pollens de Plantains et d'Urticacées témoigneraient d'une activité pastorale locale franche et relativement importante (voire intense) (Walsh *et al.* 2006, p. 451). Or, les données archéologiques nuancent le phénomène. Un seul site pastoral[165] rattaché à l'extrême fin de cette période (50 av. J.-C. à 80 ap. J.-C.) et au début de l'époque romaine a été localisé sur le plateau de Faravel (Faravel XIV) (Walsh, Mocci 2003, p. 192 ; Segard *et al.* 2004, p. 27). Une exploitation saisonnière, ponctuelle et limitée, aurait pu suffire à favoriser la floraison des *Rumex* et leur production pollinique (Walsh *et al.* 2006, pp. 445 et 451). Cette mauvaise herbe des pâturages, qui est évitée par le bétail et traquée par les agropasteurs, se développe et se propage facilement avec des pacages ponctuels ou limités. Mais, il n'est pas encore totalement exclu que les nombreuses structures d'occupation localisées dans le secteur,

[165] Une occupation datée du premier âge du fer (770-400 av. J.-C.), associée à une structure sur poteaux, a été identifiée dans le site de Faravel XIII situé à 2150 m d'altitude (Segard *et al.* 2004, p. 26).

qui n'ont pas encore fait l'objet d'investigations archéologiques, abritent d'autres indices d'occupation, probablement ténus, à rattacher à cette période. Le caractère des vestiges archéologiques manifeste une continuité avec les modes d'occupation de la période précédente (Segard *et al.* 2004, p. 27 ; Segard, Leveau 2004). Les communautés montagnardes qui ont occupé et/ou fréquenté la haute montagne pour l'activité pastorale n'étaient pas nécessairement des Romains ou Romanisés. D'ailleurs, les Romains qui occupent les vallées et les zones plus ou moins urbanisées situées à proximité des axes de communication avaient une attitude très différente vis-à-vis de la haute montagne et de ses hautes forêts perçues comme interdites et dangereuses (Segard *et al.* 2004, p. 27 ; Segard, Leveau 2004 ; Segard 2005 ; Walsh *et al.* 2006, p. 451).

La chute des courbes de pins, du Pin cembro, associée au développement important du mélézin, peut être interprétée comme une réponse écologique aux bouleversements précédents avec comme résultat le changement de la composition des boisements en relation avec l'extension du mélézin qui colonise les zones ouvertes et écorchées. Cette hypothèse peut être argumentée par l'extension des Éricacées (landes). De plus, elle pourrait faire écho aux « changements » enregistrés à plus basse altitude avec le développement important de la courbe du Sapin, essence en situation pionnière dans l'étage subalpin inférieur et l'accroissement des fréquences d'Aulne, essence pionnière et héliophile. Or, le pic de Sapin correspond parfaitement au point le plus bas des taux de pins révélant un déboisement important des massifs forestiers subalpins. L'ouverture des grands espaces forestiers permet une meilleure circulation des pollens produits à plus basses altitudes, traduite par l'augmentation des fréquences de Sapin, de Hêtre et de Chêne (Kharbouch 2000).

Ces bouleversements polliniques sont donc à attribuer à une multiplication des activités anthropiques dans les massifs forestiers montagnards et subalpins à l'échelle régionale et notamment au développement de l'exploitation forestière pour la production de bois d'œuvre et de combustible (charbons de bois).

À partir de – 23 et – 24 cm, la hausse des taux de pollens des pins et du Pin cembro (zone 3) suggère une nouvelle phase forestière (fermeture du paysage), amorcée par une étape de reconquête en altitude avec un pic de développement du mélézin (zone 2). Le maintien durant un temps de la courbe des Rumex peut s'expliquer par une forte production de pollens consécutive au retrait de l'activité pastorale (Walsh et al. 2006, pp. 445-446). Parallèlement, le recul des taxons des étages inférieurs (Sapin, Hêtre, voire Chêne) peut suggérer une intensification des activités anthropiques dans le bas des versants et le fond des vallées

(Segard 2005) ou peut tout simplement être une conséquence de la fermeture du paysage en moyenne et haute montagne (diffusion limitée des pollens).

Entre la fin de l'âge du Fer et les IIe-IIIe siècles ap. J.-C, la hausse des fréquences d'Herbacées de pelouses (zone 3) associée à la diminution des Herbacées *rudérales et *nitrophiles (*Rumex*, *Plantago lanceolata*, Urticacées) traduirait une extension des espaces ouverts, mais un pastoralisme local en retrait (Segard 2005). Le pic des pollens de pelouses peut aussi s'expliquer par leur extension en altitude en relation avec une combinaison de facteurs anthropiques (déprise et/ou entretien des pelouses) et climatiques (réchauffement).

Les derniers siècles de l'époque romaine bien caractérisés sur la séquence sédimentologique grâce à l'analyse par le radiocarbone (niveaux situés à 20-21 cm) sont marqués par un nouveau recul des pollens arboréens dans l'étage subalpin (Pin cembro, pins, Mélèze), mais également dans les étages inférieurs (Chêne, pins, Sapin, Hêtre). Les variations des courbes polliniques de ces taxons s'accordent pour caractériser une intensification de l'exploitation forestière depuis le pied des versants jusqu'en altitude qui n'exclut pas une accentuation des activités agropastorales et des défrichements en moyenne et haute montagne. La prédominance des Poacées confirme le caractère ouvert du paysage dominé par les prairies et moins nettement par les pelouses dans les étages montagnard et subalpin. Elles formeraient de large étendue au contact des forêts, des landes et des forêts pâturées. Le caractère ouvert du paysage est confirmé par le maintien des rudéro-steppiques et des Cypéréracées, tandis qu'une accentuation nette de l'activité pastorale aux alentours du bas-marais n'est pas perceptible. M. Segard reconstitue pour cette période dans la montagne de Dormillouse un paysage ouvert et pâturé de façon modérée. Il suppose, à des altitudes plus basses, le morcellement de la forêt en relation avec l'activité minière attestée par l'analyse isotopique (Segard 2005).

L'hypothèse controversée du développement d'une activité minière romaine dans la montagne de Dormillouse et/ou dans la haute Vallée de la Durance (l'Argentière-La Bessée) est notamment alimentée par la chute des courbes de pollens de Sapin et de Hêtre entre la fin de l'âge du fer et l'époque romaine (Segard 2005). D'un point de vue biogéographique, nous ne pouvons valider cette hypothèse pour les plateaux de Fangeas et de Faravel situés à des altitudes trop élevées pour accueillir des formations boisées dominées par le Sapin et le Hêtre actuellement localisés dans les massifs d'ubac humides, exceptionnellement au-dessus de 1800 m d'altitude pour le Sapin (bois du Simon de l'Aigle, commune de l'Argentière-La Bessée). De même, l'hypothèse d'une exploitation massive de ces boisements pour l'abattage

par le feu ou encore pour la réalisation d'ouvrages d'assistance ou de soutènement n'est pas acceptable. L'étude des boisages, des équipements de mine et des bois de Fangeas a révélé une consommation presque exclusive de *Larix-Picea* et dans une moindre mesure de *Pinus cembra* à l'époque médiévale. Les mineurs utilisaient en priorité la ou les essences les plus abondantes dans leur territoire d'approvisionnement. L'abattage par le feu, il est vrai, a été un véritable goinfre de bois et son usage industriel a eu un impact certain sur le couvert forestier. Or, les résultats anthracologiques ne corroborent pas l'hypothèse émise par M. Segard et démontrent que les territoires d'approvisionnement en bois de feu des mineurs de Fangeas-Faravel sont tournés vers les forêts subalpines, tandis que celui des mineurs de l'Argentière est plus ponctuellement ancré dans les pinèdes méso-sciaphile montagnardes à l'Argentière. Le Sapin et le Hêtre ont été très rarement utilisés pour alimenter les foyers d'abattage. Il faut donc chercher ailleurs la cause de la réduction de leurs fréquences dans le cortège floristique haut durancien entre la fin de l'âge du Fer et les IIe-IVe siècles ap. J.-C.

Une autre hypothèse peut être formulée. La chute des courbes de Chêne, de Sapin et de pins est plus probablement liée à l'accentuation de l'exploitation forestière, mais également au développement de l'agriculture dans le bas des versants et de l'agrosylvopastoralisme en moyenne montagne. Il faut ajouter à ce cortège d'activités, le développement hypothétique du charbonnage attesté pour l'époque médiévale dans la haute vallée de la Durance. La forte réduction du Hêtre et le net recul de la sapinière peuvent être en partie à rapprocher de cette activité artisanale grande consommatrice de matière ligneuse. L'accroissement de la production de charbon de bois va très souvent de pair avec l'activité minière (forge, métallurgie) dont les données isotopiques démontrent l'existence à cette période. Or, il est encore impossible de dire avec certitude si elle concerne l'Argentière, Fangeas-Faravel ou les deux secteurs. Les données archéologiques démontrent que cette activité a été très probablement localisée. L'existence de grattage de surface (affleurements) dans les zones les plus facilement repérables est probable. Les travaux médiévaux auraient détruit les principaux vestiges de cette activité superficielle. Une datation systématique de tous les ouvrages de recherches repérés dans le secteur de Fangeas est indispensable. Cette activité de dimension artisanale a pu contribuer à régression de *Larix* et du Pin cembro, mais il est difficile d'évaluer précisément son impact qui paraît, au regard des données archéologiques, limité.

La comparaison du diagramme pollinique de Fangeas avec les diagrammes polliniques du Champsaur est d'ailleurs parlante. Au Lac des Lauzons, l'époque romaine correspond à une phase de net recul des taxons arboréens, tout particulièrement le Pin sylvestre et le Pin

cembro associée aux pollens non arboréens indicateurs du pastoralisme (Court-Picon 2003, 218). De plus, la période se caractérise par une intensification de la pression anthropique sur la sapinière, favorisant l'extension du Hêtre qui bénéficie d'une diminution de la concurrence. Ces déboisements et le développement du Hêtre, qui a pu être favorisé et/ou entretenu par l'homme pour son sous-bois riche en herbacées et ses faînes à forte valeur nutritive, révèlent d'une part, l'expansion de pratiques sylvopastorales de type prés bois (Durand 2004, I, p. 150) et d'autre part, l'intensification de l'exploitation forestière pour la production de bois d'œuvre et de combustible. La pression humaine sur la sapinière durant l'âge du Fer et l'époque romaine est également très nette dans le diagramme pollinique du Lac des Faudons situé à 1577 m d'altitude près d'un village déserté au XIVe siècle (commune d'Ancelle). Mais, elle n'est encore une fois pas directement liée à l'activité minière qui n'est pas la seule industrie grande consommatrice de bois (Court-Picon 2003, p. 220, fig. 8), mais plutôt à la gestion des forêts dans une perspective pastorale.

Dans la haute vallée de la Durance, la fin de l'époque romaine se caractérise donc par un épisode d'importants déboisements mal caractérisé par les données archéologiques de haute montagne (pastorales et minières). Il faut certainement voir ici une des conséquences de changements et/ou d'évolution de pratiques agrosylvopastorales et artisanales en relation avec des modalités différentes de gestion des disponibilités forestières et d'occupation du milieu de moyenne et haute montagne en partie liées à la Romanisation dont l'empreinte ne s'est pas faite particulièrement ressentir dès les premiers temps de l'occupation (Leveau, Segard 2004 et Walsh *et al.* 2006, p. 451). Il faut aussi signaler l'occurrence des pollens de Vigne – dont les Romains furent les grands promoteurs de sa culture – entre – 25 et – 21 cm. Il est parfaitement impossible de dire s'il s'agit de la Vigne cultivée sachant que la Vigne sauvage est présente en Gaule méridionale depuis le Paléolithique inférieur. Elle a remonté les grandes vallées fluviales jusqu'aux piémonts alpins au profit du réchauffement climatique. Sa culture est attestée à la fin du VIe siècle av. J.-C. dans plusieurs sites alpins, notamment sur les rives du lac d'Annecy. Les Allobroges, peuplade installée entre le Rhône et les Alpes vers 500 av. J.-C., utilisaient le vin comme monnaie d'échange pour commercer avec les habitants des hautes vallées. Selon Columelle, les Romains trouvèrent de la vigne en pays allobroge à leur arrivée en 120 av. J.-C. Dès lors, il ne paraît pas totalement extraordinaire que la culture de Vigne, attestée par la documentation écrite en haute Durance jusqu'en Vallouise au plus fort du petit Âge glaciaire, ait démarré dans cette région dès l'époque romaine. La question reste ouverte.

L’Antiquité tardive et le haut Moyen Âge

L’Antiquité tardive et le haut Moyen Âge, comme les deux époques précédentes, demeurent mal illustrés par l’archéologie pastorale. Aucune structure datée de l’Antiquité tardive n’a été découverte dans la montagne de Dormillouse. Une seule occupation de type abri temporaire, datée de la fin de l’époque carolingienne, a été découverte à Fangeas (Fanges VII). Les données polliniques inscrites entre – 21 et – 20 cm, niveau associé à la première variation des isotopes du plomb, et – 16 et – 15 cm, niveau caractérisé par la deuxième variation des isotopes du plomb rattachée au Xe siècle, révèlent un relâchement de la pression anthropique, notamment des pratiques sylvopastorales, mais une continuité de l’occupation et de l’exploitation du milieu. La courbe des pollens de pins, qui regroupent notamment le Pin sylvestre, espèce compétitive sur les sols appauvris, opère une nouvelle ascension et culmine à 48 % à – 17 cm. Le pic est associé à une reprise du Pin cembro, dont les fréquences demeurent faibles en comparaison des fréquences enregistrées sous – 34 cm, et à une reprise timide des courbes du Sapin et du Hêtre. La courbe de l’Aulne vert, essence arbustive pionnière et héliophile, opère un sursaut qui suggère un épisode de régénération forestière dans les secteurs les moins impactés, et particulièrement en zone supra-forestière (brousses). Parallèlement, les Poacées opèrent un recul, mais leurs fréquences demeurent importantes. Les pollens de pelouses sont à leur taux le plus bas, les *Rumex* sont toujours discrets tandis que les Plantains (rudérales) opèrent une ascension. L’ensemble de ces données indique que la pression se relâche sur la forêt qui se régénère par endroits, comme dans les secteurs de haute montagne où la déprise semble plus importante, mais également en moyenne montagne avec la régénération de la sapinière. Malgré tout, la présence de pollens d’Herbacées synanthropiques, même avec de faibles fréquences, suggère un maintien de la fréquentation de la montagne par des troupeaux, mais avec une nette réduction des espaces ouverts au regard des taux franchement en baisse des rudéro-steppiques et Cypéracées (prairies sèches et humides). Parallèlement, l’accroissement des fréquences de Plantains pourrait signifier un développement des friches consécutif au pastoralisme.

Ce scénario est comparable au scénario écrit à partir de l’analyse du diagramme pollinique du Lac de Faudon (Court-Picon 2003, p. 219) où la fin de la période romaine et l’Antiquité tardive se caractérisent par une phase de déprise anthropique avec un recul des

pratiques sylvopastorales associé à l'extension de la sapinière, mais surtout l'essor des pinèdes. Or, il ne doit pas être généralisé à l'ensemble du massif sud-alpin ni même à l'ensemble de la période. D'autres secteurs présentent durant cette phase chronologique une continuité de la pression anthropique, voire une intensification, comme c'est le cas du site du Lac des Lauzons (Court-Picon 2003, p. 218). En outre, le diagramme pollinique de Fangeas enregistre vers le milieu de la période (– 18 cm) une inflexion de la courbe des pins associé à une reprise de la courbe des pelouses et au deuxième pollen de céréale rencontré depuis la base de la carotte pollinique.

À l'heure actuelle, une seule occupation datée de l'Antiquité tardive a été caractérisée dans le massif du Champsaur. Il s'agit d'un niveau de structures en bois incendiées, repéré sur le site du Cheval de Bois situé à 2360 m d'altitude (Champoléon). Le site isolé sur un petit replat, composé de quatre structures en pierres sèches dont la contemporanéité n'a pas été établie, a été réoccupé au Moyen Âge central (Palet *et al.* 2003, p. 208).

Les modalités d'occupation et d'exploitation des ressources de la haute montagne pendant l'Antiquité tardive et le haut Moyen Âge restent à caractériser. Tous les indicateurs de la présence humaine sont réunis dans les diagrammes polliniques. En haute Durance, la réduction des fréquences de Chêne associée à l'inflexion de la courbe des pins peut suggérer un maintien ou un accroissement de la pression humaine dans le bas des versants et la vallée (agriculture), mais l'on dénote un relâchement du pastoralisme de haute montagne, notamment aux abords directs de la zone tourbeuse de Fangeas, et du sylvopastoralisme en moyenne montagne.

Du Xe au XVe siècles

Le croisement des données isotopiques et des données archéologiques minières place précisément le Xe siècle sur le diagramme pollinique de Fangeas entre – 16 et – 15 cm (*cf. supra*, pl. 83, p. 968). Cette époque se caractérise par le départ d'une inflexion franche de la courbe des pins, le recul du Pin cembro, l'extension sensible du mélézin et l'occurrence plus

régulière des pollens d'Éricacées[166]. Parallèlement, les pollens de Vigne font leur réapparition, l'occurrence du Châtaignier devient régulière et les pollens de céréales opèrent un pic, le plus important observé depuis le bas de la carotte. Les travaux sur la pluie pollinique actuelle de la Vigne dans le massif jurassien ont démontré que cette plante disperse très peu ses pollens (Gauthier 2004, p. 149). Bien que ce test ne soit pas réalisé pour la haute montagne où l'on connaît l'importance des vents dominants pouvant transporter vers de hautes altitudes des pollens de plantes sensées peu productives (comme les céréales). Après la déprise de l'Antiquité tardive, il est tentant de faire remonter la culture médiévale de la vigne en haute Durance au Xe siècle, soit au moins un siècle avant les premières attestations écrites.

Les pollens des boisements de moyenne montagne (Chêne, Sapin, Hêtre) deviennent plus conséquents ce qui peut révéler une nouvelle ouverture franche des espaces forestiers de moyenne et haute montagne (Brugiapaglia *et al.* 1998, p. 215). Les Herbacées sont majoritairement dominées par les Poacées, qui opèrent une ascension impressionnante, et les Cypéracées, dont les fréquences demeurent faibles au regard des proportions observées dans la zone 2. Les Plantains atteignent des fréquences assez importantes (plus de 5 %), l'occurrence des *Rumex* devient à nouveau régulière, ainsi que celle des Urticacées et des Renonculacées. L'ensemble des indicateurs polliniques s'accorde à caractériser l'amorce d'une nouvelle phase d'ouverture importante du paysage probablement liée aux pratiques agrosylvopastorales, au développement de l'agriculture céréalière de montagne et à une reprise franche de l'activité pastorale dans la haute vallée de Freissinières. La réduction frappante des pollens de pelouses est délicate à interpréter. Nous proposons ici une hypothèse principalement basée sur la dynamique et l'écologie des pelouses. Les pelouses (pelouses alpines) sont d'abord caractéristiques de l'étage alpin où règnent les Herbacées. Les principales espèces qui composent cette formation (*Alchemilla pentaphyllea*, *Armeria alpina*, *Callianthemum coriandrifolium*, etc.) fleurissent en été au moment où est pratiqué le pacage d'altitude. L'accentuation et l'occurrence régulières du pastoralisme d'altitude à cette période de l'année peut potentiellement nuire à la production des pollens d'où leur nette réduction dans le diagramme. Cette constatation est la même pour les pelouses subalpines qui se sont développées aux dépens de la forêt depuis l'âge du Bronze. Ces pelouses qui prospèrent sur des sols épais situés sur les zones peu pentues constituent encore aujourd'hui l'essentiel de la

[166] Les Éricacées de montagne, caractéristiques des landes et des landines, sont toujours sous-représentées dans la pluie pollinique car elles produisent de très faibles quantités de pollens (*cf.* Brugiapaglia, Barbero 1994, p. 166 ; Brugiapaglia *et al.* 1998, p. 214).

ration alimentaire des troupeaux en estive (Parc National des Écrins, 2002). Le pâturage sacrifie provisoirement les parties aériennes des plantes (feuilles, tiges, fleurs et fruits), mais ne détruit pas la plante qui stocke ses ressources énergétiques dans les racines et se régénère pendant la trêve hivernale. Ces observations font écho au niveau de relâchement de la pression anthropique et pastorale sur la forêt, situé entre – 12 et – 10 cm. Il présente les pics les plus importants de production de pollens des plantes de pelouses, des rudéro-steppiques et des Plantains. Les plantes de ce dernier genre possèdent une fonction de « bouche-trous » dans les pelouses subalpines dégradées par le « surpiétinement » imputé principalement aux ongulés. Les pics de production de pollen d'Herbacées doivent donc être interprétés avec beaucoup de réserve car ils ne sont peut-être pas toujours synonymes de surpâturage.

En se basant sur ce raisonnement, le Xe siècle apparaît comme une période dominée par le pastoralisme conduit dans les pelouses subalpines et alpines, sans exclure les pelouses montagnardes sèches gagnées progressivement sur les forêts dans les versants d'adret. Mais, encore une fois, les données de l'archéologie pastorale font défaut car aucune structure datée précisément de cette période n'a été reconnue à Freissinières. Les fourchettes de datation radiocarbone obtenues pour les structures médiévales sont toutes plus hautes (à partir de l'an mil) à l'exception de celle de la petite cabane de Fangeas VI dont l'occupation sommaire témoignerait d'une fréquentation pastorale de la zone de Fangeas-Faravel durant l'époque carolingienne, qui par ailleurs pourrait être attestée dans le diagramme pollinique par la reprise de la courbe des Plantains entre – 18 et – 17 cm. La fouille de structures présentant une occupation tardive datée des XVe-XVIe siècle a révélé des phases d'occupations plus anciennes datées pour la plupart du Moyen Âge central. Une approche archéologique plus systématique des structures des plateaux de Fangeas et de Faravel, rattachées d'après la comparaison typologique et l'état de conservation des vestiges à l'époque moderne, pourrait révéler des phases d'occupations médiévales et notamment du Xe siècle. Ces périodes est par ailleurs illustrée par l'archéologie dans le haut Champsaur[167].

En attendant la mise en place d'une approche archéologique plus systématique, il faut se rabattre sur les données de l'archéologie minière qui ouvre des perspectives jusqu'alors insoupçonnées. Une phase de recherche et de travaux sur les affleurements, datée précisément

[167] Les investigations archéologiques conduites dans le haut Champsaur ont caractérisé sur le site de la Cabane de la Barre (Prapic, commune d'Orcières), situé à 2200 m d'altitude, une occupation datée par le radiocarbone de 880-1020 ap. J.-C. (âge calibré) et sur le site du Cheval de Bois, situé à plus de 2300 m d'altitude, une occupation datée de 1030-1220 ap. J.-C. (Palet *et al.* 2003, pp. 207-208).

de cette époque, est apparemment liée à un épisode d'incendie qui précède de peu ou coïncide avec l'exploitation de Faravel II. Les données anthracologiques révèlent que la végétation des abords du plateau de Fangeas était dominée à ce moment-là par la série du Mélèze et du Pin cembro. Le Mélèze contrairement à ce que laisse voir le diagramme pollinique, domine la strate arborescente car il compose presque 80 % des boisements. Mais, cela ne veut pas pour autant indiquer que le couvert forestier est dense. Les proportions de *Larix* dans le diagramme pollinique, qui donne une tendance générale, sont sous-évaluées. Ce problème est lié à ses médiocres capacités de dispersion pollinique contrairement aux pins (Kharbouch 2000, p. 239). Le grain de pollen de *Larix* est lourd et ne possède pas de ballonnets. Son transport aérien s'effectue sur des distances extrêmement faibles. Il faut aussi noter que ce taxon fréquent dans les dépôts anthracologiques des cabanes pastorales du Champsaur depuis l'âge du Bronze et dominant dans les séquences médiévales depuis le Xe siècle n'apparaît jamais dans les diagrammes polliniques de M. Court-Picon, particulièrement dans celui du Lac des Lauzons pourtant situé à plus de 2000 m d'altitude (Durand 2004, I, pp. 161-174 ; Durand, Py 2008). Ses proportions au sein des boisements subalpins de la haute vallée de Freissinières et de façon plus large dans les Alpes sud-alpines sont sous-évaluées au profit des pinèdes (Beaulieu 1977). Les travaux pédoanthracologiques réalisés dans le haut Queyras par B. Talon et par A. Ali ont contribué à réévaluer sa place (Talon 1997b ; Talon *et al.* 1998 ; Ali 2003 ; Ali *et al.* 2002 ; Ali *et al.* 2003a).

Des déforestations avec usage du feu, peut-être localisées, ont donc eu lieu dans le courant du Xe siècle dans la haute montagne de Dormillouse. Leur relation avec la prospection minière qui va conduire au développement de l'exploitation durant l'an mil est établie, mais les circonstances de cet événement sont manifestement plus complexes. En effet, il est difficile de dire avec certitude si ces déboisements réalisés au moyen du feu – essartages ou écobuages ? – ont été commis initialement pour l'extension des zones agrosylvopastorales (ou l'entretien ?) dans un contexte de colonisation du milieu (Durand 2004, I) ou pour faciliter la prospection minière. Au regard des données archéologiques et paléoenvironnementales qui caractérisent les époques suivantes, la première hypothèse paraît la plus aisée à argumenter et donc la plus probable.

Les niveaux polliniques compris entre – 15 et – 13 cm indiquent une chute fulgurante des taux de pollens de taxons arboréens. Les pins n'atteignent plus que 2 % tandis que les Poacées voisinent les 70 %. Le Pin cembro est quasiment éradiqué alors que le Mélèze colonise les zones les moins impactées ou vouées au sylvopastoralisme (prés boisés). Les

indicateurs polliniques du pastoralisme sont tous réunis. La baisse significative des taux de Plantains, des rudéro-steppiques (avant un nouveau pic important), des Renonculacées et des Cypéracées doit être considérée non pas comme le résultat d'une réduction locale de l'activité pastorale et agropastorale, mais comme une conséquence probable d'un pastoralisme régulier et de l'entretien soigneux des espaces de pâturages (élimination des mauvaises herbes et de certaines rudérales empêchant leur floraison). Dans plusieurs sites des plateaux de Fangeas et Faravel, l'archéologie a mis en évidence des occupations de type pastoral ou agropastoral (prés de fauche) dont les fourchettes de datations radiocarbones recoupent les XIe et XIIe siècles.

Si on s'en tient au schéma chronologique bâti plus haut, la zone d'inflexion la plus basse des taux de pollens de pins correspond aux XIe-XIIe siècles, avec un apogée au XIIe siècle. Cette période connaît trois fronts pionniers d'exploitation des ressources de la haute montagne, tous caractérisés par l'archéologie : le pastoralisme (élevage), l'agropastoralisme (élevage de type pastoral associé à production d'herbe et à la production laitière) et la mine. Au regard des données polliniques, il faut y ajouter la céréaliculture de montagne marquée par l'occurrence des pollens de céréales – dont la dispersion est théoriquement limitée en dehors des champs cultivés[168] – avec un pic au Xe siècle, et le sylvopastoralisme (pacage en forêt). La combinaison de ces activités est à l'origine des déboisements drastiques qui ont conduit à la construction d'un paysage ouvert et entretenu, dominé par les prairies d'altitude (pollens de Poacées). Ces dernières sont morcelées et/ou limitées de landes et de zones boisées dominées en haute montagne presque exclusivement par le Mélèze. Ce dernier opère une nette inflexion entre les XIe-XIIe siècle dont le lien avec l'activité minière est très probable. Les fréquences du Pin cembro deviennent anecdotiques et celles des pins englobant tous les pins de type P. sylvestre sont considérablement réduites. En moyenne montagne, les boisements de Sapin (ubac), de Chêne et de Pin de type Pin sylvestre (adret) n'ont jamais été autant localisés. Une forte empreinte humaine est perceptible du bas jusque dans le haut des versants, à l'adret comme à l'ubac, où la forêt ne tient plus qu'une place apparemment très limitée. Le problème est de définir l'impact réciproque de ces différentes activités sur l'état et la morphologie des boisements. Est-ce que l'activité minière est seule à l'origine de ces déboisements massifs et des changements environnementaux consécutifs ? Dans le cas contraire, quelle est la part des

[168] Cette remarque est à nuancer. Les travaux d'E. Brugiapaglia sur la pluie pollinique actuelle ont montré que les pollens de céréales peuvent être transportés sur de longues distances et leur enregistrement maximal est obtenu dans les placettes d'altitude (Brugiapaglia 1996 et Brugiapaglia *et al.* 1998, p. 215).

autres activités et dans quelle mesure est-il possible de la mesurer ? Avant de traiter ces questions délicates, une comparaison du diagramme pollinique de Fangeas avec les diagrammes réalisés par M. Court-Picon pour le haut Champsaur paraît à nouveau judicieuse (Court-Picon 2003).

Le diagramme pollinique du Lac des Lauzons (2180 m d'alt.) enregistre à partir de l'an mil de profonds bouleversements de la végétation, déterminés par des déboisements drastiques associés à l'explosion des marqueurs pastoraux. Ils concernent non seulement les pinèdes d'altitude avec au début du XIIIe siècle la réduction radicale des fréquences de Pin cembro déjà très diminuées depuis l'âge du Bronze ; la quasi-disparition des boisements de moyenne montagne (jusque 1800 m d'altitude) marqués par des pourcentages anecdotiques des pinèdes sèches de Pin sylvestre, du Sapin, du Hêtre, du Chêne et même des friches arbustives à aulnes et des landes à genévriers. L'extension brutale de l'espace pastoral et des terroirs d'estive datée ici du XIIe siècle est attribuée à l'augmentation et à la grandeur des troupeaux locaux et transhumants (Court-Picon 2003, p. 216). L'impact de l'exploitation forestière pour la production de bois d'œuvre et de combustible, plus difficile à mesurer à partir des données strictement polliniques, ne doit pourtant pas être sous-évalué, notamment au sein des hêtraie-sapinière montagnardes et des pinèdes sèches à Pin sylvestre. Les données anthracologiques du site à charbonnage du Bois du Simon de l'Aigle exploité dès les Xe-XIIe siècles indiquent une consommation massive du Sapin pour la production du charbon de bois. Le poids de cette activité sur les sapinières et les hêtraie-sapinières sud-alpines n'est donc pas à négliger.

Le schéma décrit pour le site du Lac des Lauzons est à peu près reproductible pour le site du Lac de Faudon (1577 m d'altitude) où le diagramme pollinique enregistre entre la fin du IXe et le Xe siècle une importante inflexion de tous les taxons arboréens, assortie d'une explosion des Herbacées *apophytes et *anthropochores (Poacées, Rudéro-steppiques, plantes nitrophiles, *Ranunculaceae*). Ces données indiquent un développement important des activités agropastorales et agraires qui atteint son apogée au XIIIe siècle (Court-Picon 2003, p. 219). A. Durand a démontré, à partir des données polliniques et anthracologiques du haut Champsaur, l'épanouissement au XIe siècle de systèmes agraires à vocation fourragère et pastorale fondés sur l'utilisation du feu (Durand 2004, I, pp. 151 et suiv.). Cette pratique déjà signalée plus haut est déjà en place à la fin de la période carolingienne. Son intensification au XIe siècle serait à l'origine de l'extinction de certaines espèces ligneuses plus fragiles que d'autres au feu comme le Sapin et le Hêtre dans les terroirs montagnards d'ubac. Cette hypothèse est

parfaitement illustrée par le diagramme pollinique du site montagnard du Lac de Faudon où l'effondrement des courbes de ces deux taxons correspond à une augmentation remarquable des fréquences de charbons de bois rencontrés dans la tourbe (Durand 2004, I, p. 152).

À Fangeas, les boisements subalpins, composés massivement de mélèzes, subissent les premiers assauts réguliers du feu au Xe siècle. Le Mélèze paraît bien supporter cette pratique un temps puisqu'il se régénère régulièrement tout au long du Moyen Âge central. Mais la pression cumulée de l'activité minière conduit à son extinction aux abords du lac (dans un rayon de 100 m au moins) dans le courant du XIIIe siècle. Le Pin cembro, moins dynamique, se régénère avec beaucoup plus de difficultés (Bono, Barbero 1971), notamment après les atteintes des XIe-XIIe siècles.

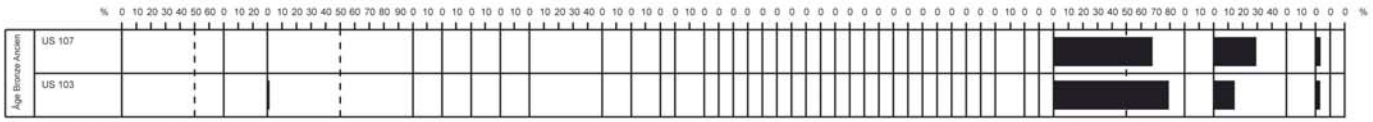
L'occurrence des Renonculacées peut avoir un lien avec l'entretien régulier des espaces de pacage et de production fourragère (prairies subalpines) par le feu (écobuages). À partir de – 11 cm, la pression sur les boisements de haute montagne se relâche sensiblement avec une nette réduction des Poacées et une reprise des taux de pins et de Pin cembro. Les variations frappantes des taux de pollens de rudérales, de pelouses et des autres indicateurs du pastoralisme, qui explosent véritablement, peuvent non seulement être interprétées en termes de relâchement du surpâturage, mais en termes de changement de pratiques agrosylvopastorales.

Les données anthracologiques obtenues pour le site de Fangeas X apportent des lueurs supplémentaires sur l'état et la composition du couvert forestier au XIIIe siècle situé sous la barre des 2000 m d'altitude (*cf.* pl. 84, p. 994). Les boisements subalpins sont dominés par le spectre du Mélézin et paraissent localisés à une altitude franchement inférieure à 2000 m. Cette hypothèse est illustrée par le choix des taxons utilisés pour le foyer domestique qui sont caractéristiques de la zone de transition entre la forêt dense – mélézin subalpin – et la zone supraforestière composée de landes et landines à Éricacées et à Genévrier avec des pieds localisés de Pin cembro et de Mélèze. La surreprésentation artificielle de *Larix-Picea* serait un indice indirect d'un fort recul de la forêt dense sous la barre des 2000-1900 m d'altitude. Cette hypothèse est confortée par la palynologie. La courbe du Mélèze, jusqu'alors plus ou moins régulière, chute pour atteindre des taux extrêmement faibles.

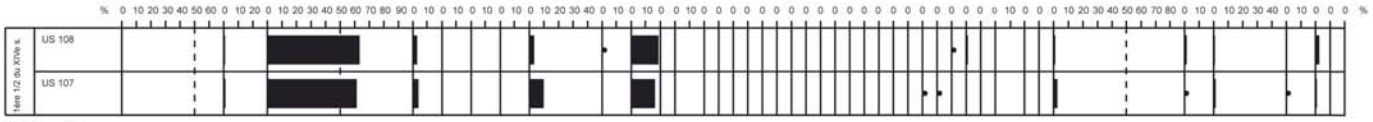
PLANCHE N°84 : DIAGRAMME ANTHRACOLOGIQUE DE SYNTHÈSE DE LA MONTAGNE DE DORMILLOUSE

2400 m d'alt.

Faravel XIX - 2310 m d'alt.

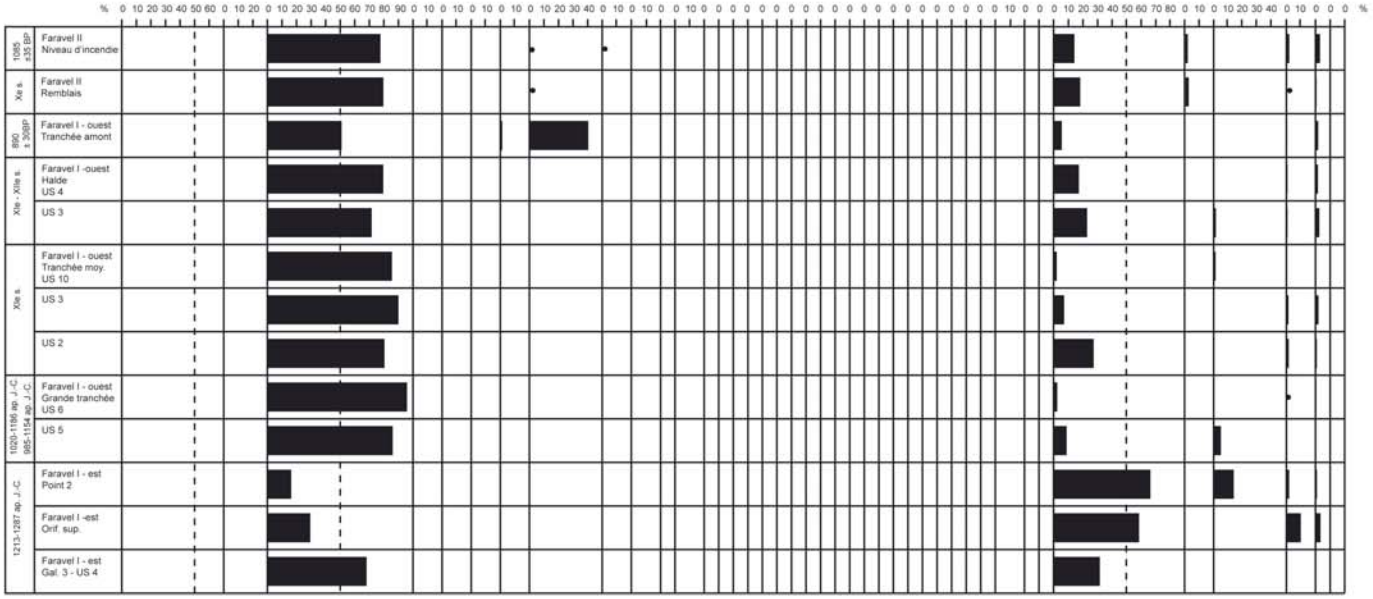


Coste de Tonis I - 2240 m d'alt.

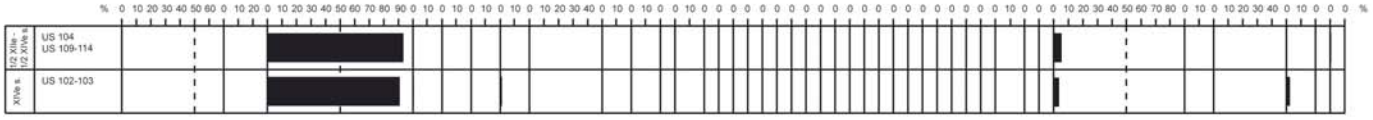


2200 m d'alt.

Mines d'argent de Faravel - 2200-2100 m d'alt.

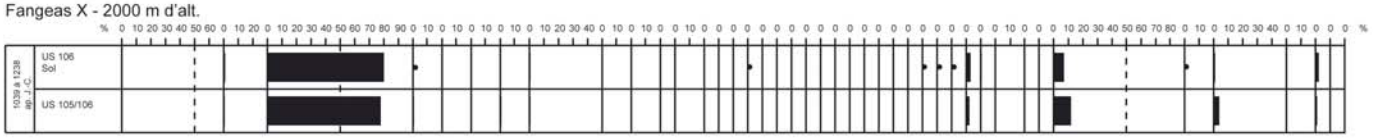


Faravel XII - 2170 m d'alt.

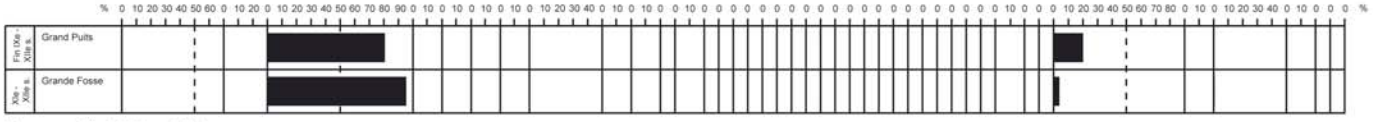


2000 m d'alt.

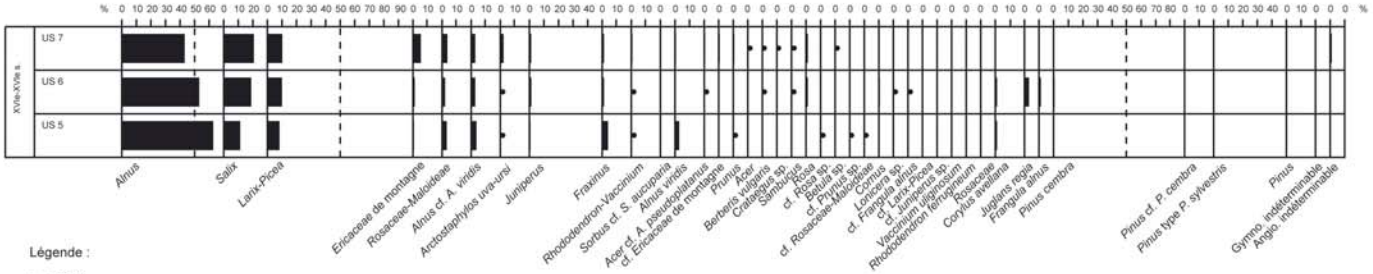
Fangeas X - 2000 m d'alt.



Mines métalliques de Fangeas - 2000-1900 m d'alt.



Fangeas VI - 2000 m d'alt.



Légende :

• < 0,5 %
Le diagramme est exprimé en fréquences relatives (%)
Gymno. indéterminable = Gymnosperme indéterminable
Angio. indéterminable = Angiosperme indéterminable

Réalisation V. Py 2009
Analyses A. Durand et V. Py 2002-2009
Fouilles V. Py, B. Ancel dir. ; K. Walsh, F. Mocci dir.

Les données de l'anthracologie minière révèlent quant à elles un changement des stratégies d'approvisionnement pour l'abattage par le feu avec une nette sur-sélection du Pin cembro et de *Pinus* type *P. sylvestris*. Il faut constater que la pression de plus en plus dense sur le mélézin subalpin, largement exploité pour la mine durant les deux siècles précédents, a conduit à une recherche de combustible industriel dans les rares zones forestières d'altitude préservées ou régénérées, composées principalement de Pin cembro et de Pin à crochets mélangés au Mélèze. Les variations des isotopes du plomb assorties à cette phase de l'activité minière correspondent d'ailleurs dans le diagramme pollinique à un dernier sursaut du Pin cembro qui avait pu se régénérer dans les zones supra-forestières où la pression pastorale s'est relâchée après l'apogée du XIIe siècle. Les pratiques minières et agropastorales pour la production de combustible diffèrent. Ce point est discuté plus longuement plus bas, dans le chapitre consacré aux pratiques et aux modalités de la gestion des boisements.

Ces données font écho aux résultats anthracologiques obtenus par A. Durand pour l'occupation médiévale (1030-1220 ap. J.-C. âge calibré) du site de la Cabane du Cheval de Bois (Champoléon). Le spectre anthracologique révèle l'existence aux alentours de 2357 m d'altitude d'îlots boisés supraforestiers composés essentiellement de *Pinus cembra* et *Pinus* type *P. sylvestris* (Durand 2004, I, pp. 167-170). D'après cet auteur, « cette disposition "en tache" et la floraison aléatoire de *Pinus cembra* en conditions difficiles (jusqu'à une fois tous les dix ans), explique que les séquences palynologiques n'enregistrent pas ou très peu ces formations » (Durand 2004, I, p. 168). Nos résultats obtenus pour la haute Durance confirment sans ambiguïté cette hypothèse. Ils contribuent à réhabiliter le rôle du Pin cembro et de *Pinus* type *P. sylvestris* (très probablement le Pin à crochets) dans les formations de haute montagne du Moyen Âge central où la limite supérieure des grands arbres est loin d'être linéaire, mais plutôt fluctuante et morcelée.

Aux XIVe-XVe siècles, l'élevage de type pastoral tient une place prépondérante, mais les pratiques agropastorales d'altitude médiévales caractérisées par l'entretien de prés boisés et des prairies herbagères et pastorales au moyen du feu, paraissent reculer. L'organisation du terroir et la manière de gérer les ressources de la haute montagne dans une perspective agropastorale sont différentes. On peut faire la même observation pour le site du Lac des Faudons où cette phase est illustrée par une baisse franche des indicateurs de feu (charbons de bois), des Poacées et *Ranunculaceae.*

Les dernières décennies du XVe siècle, localisées sur la carotte de Fangeas à – 9 cm grâce aux données isotopiques (12ème points en partant du bas de la carotte), sont marquées par une nouvelle inflexion des pollens arboréens dans les étages montagnards et subalpins. Les taux de la majorité des taxons de grands arbres (à l'exception des pins) atteignent des proportions extrêmement faibles, inférieures au pour-cent. Les marqueurs du pastoralisme explosent tandis que les Poacées ont considérablement réduit. Ces données confirment sans ambiguïté le scénario proposé plus haut. Cette période est marquée par un second paroxysme des déboisements. La forêt tient une place réduite à une peau de chagrin. La production herbagère se maintient (prairies), mais avec des proportions minimes par rapport au Moyen Âge central. Le pastoralisme est très marqué (recul des pollens de pelouse et explosion des fréquences du Plantain), mais l'entretien soigneux des prairies fourragère, des pelouses subalpines et montagnardes, est atténué voire abandonné dans certains terroirs.

Les données de l'archéologie pastorale complètent l'image pollinique. Les occupations datées des XVe-XVIe siècle se multiplient, mais elles se résument bien souvent à des aménagements sommaires de l'habitat conçu comme un abri temporaire, particulièrement sur le plateau de Fangeas. Cette période se caractérise par l'occurrence régulière des péjorations climatiques amorcées dès la fin du XIIIe siècle (étés froids, précipitations plus abondantes, hivers rigoureux). Ce facteur peut avoir eut un impact important sur la consommation en combustible et sur les pratiques agropastorales de hautes montagne, notamment sur la production fourragère, entraînant des changements importants des modalités d'exploitation et d'occupation de la haute montagne. Cette dernière n'est pas désertée, loin de là puisqu'elle constitue une ressource nutritive fondamentale pour le bétail, mais les occupations deviennent plus temporaires (saison d'estive plus courte). Il est même envisageable que l'occupation saisonnière et/ou pérenne se soit concentrée dans les zones exposées au sud et situées à plus faible altitude (comme à Dormillouse), tandis que certains chalets d'estive étaient fréquentés le temps des repas et/ou d'une courte campagne de production fourragère comme cela se pratiquait encore au XIXe siècle. Les données obtenues pour la structure de Coste de Tonis I-1 illustrent ces propos. Le petit plateau de Coste de Tonis exposé plein sud paraît avoir été occupé de façon continue, du moins pendant l'estive, dans le courant de la première moitié du XVe siècle. Contrairement au diagramme pollinique, les données anthracologiques révèlent dans le territoire d'approvisionnement en bois de feu des agropasteurs la dominance presque exclusive de *Larix-Picea* dans la strate arborée. Le territoire d'approvisionnement paraît localisé en haute montagne et plus précisément dans le Mélézin subalpin et/ou en limite

supra-forestière où les landes à Éricacées et à Genévriers, qui ne sont pas perçues dans le diagramme pollinique, tiennent une place majeure. La couverture de Mélézin, qui s'est retirée des abords directs du plateau de Fangeas depuis le XIIIe siècle, forme des boisements localisés en zone supra-forestière durant la première moitié du XVe siècle dans d'autres secteurs de la montagne comme les abords de Coste de Tonis situé 200 m plus haut. Les taxons caractéristiques des landes n'ont jamais été si importants. Ils confirment l'extension des zones incultes exploitées pour la production de bois de feu domestique.

Des Temps Modernes au XIXe siècle

Le dernier apogée de la pression anthropique sur le couvert forestier précède une phase de reprise forestière caractérisée par une ascension fulgurante des pollens de pins, la reprise de la courbe du Pin cembro dont les fréquences demeurent cependant très faibles (1 à 2 %), du Mélèze, du Hêtre, du Chêne et l'explosion des fréquences d'Aulne. Or, les marqueurs du pastoralisme, de l'agriculture et de l'arboriculture, sont à leur importance maximale. Parallèlement, les Cypéracées explosent littéralement. Dès lors, comment interpréter cette nouvelle évolution du paysage qui ne trouve de correspondance dans aucune autre zone du diagramme ?

Pour comprendre au mieux la partie haute du diagramme pollinique de Fangeas, l'apport des données ethnographiques et des archives modernes est fondamental. L'idée n'est pas de reprendre ici l'intégralité du corpus qui constituerait une étude à part entière, mais de glaner les données pour mieux comprendre les changements ultimes enregistrés dans le diagramme pollinique de Fangeas. Cette approche précise la notion d'impact anthropique et projette une lumière nouvelle sur les particularités des époques précédentes.

Il paraît évident que le pic des pollens de pins atteint au niveau – 2 cm doit être en partie attribué au programme de reboisement des terrains de haute montagne (R.T.M.) amorcé durant les dernières décennies du XIXe siècle comme réponse à la pression des catastrophes naturelles, plus précisément à l'occurrence des crues dévastatrices, des avalanches et des glissements de terrains. Les espèces choisies dans la Haute Durance sont principalement le

Pin noir d'Autriche et le Pin sylvestre[169] réputés par leur capacité à maintenir et stabiliser les terrains en pente qui ont souffert d'une intense érosion notamment dans les versants d'adret (Chauvin, Vallaury 2002). D'un point de vue plus local, on note la reprise timide de la courbe du Mélèze aujourd'hui situé à quelques mètres à vol d'oiseau du bas-marais. La zone supraforestière constituée d'un jeune mélézin de reconquête et de landes à Éricacées en sous-bois se situe juste au niveau du site minier de Fangeas.

La déprise agricole amorcée à la fin du XIXe siècle se traduit dans les deux derniers centimètres de la carotte par la chute de la courbe du Noyer et des céréales dont les fréquences étaient importantes durant toute la période moderne. Les taxons indicateurs des friches et des broussailles, formations pionnières dans les secteurs abandonnés, sont par contre mal enregistrés. De façon générale, la déprise se ressent à travers le recul net de tous les taxons non arboréens.

Une des caractéristiques majeures de la période qui s'étire de l'extrême fin du Moyen Âge au XIXe siècle est l'accroissement et la courbe continue des fréquences de l'Aulne. Cette essence préfère les forêts humides et les cours d'eau. *Alnus glutinosa*, caractéristique des zones humides dans l'étage montagnard (tourbière), a été présent vers 2000 m d'altitude dans le Mont Bégo. *Alnus incana* est une des composantes majeures des ripisilves jusque dans l'étage montagnard. Enfin, *Alnus viridis*, typique de l'étage subalpin, peut former des formations de brousses jusqu'à 1000 m d'altitude, voire en dessous (Kharbouch 2000, p. 240). P. Ruffaldi a démontré que des taux compris entre 1 et 5 %, comme c'est le cas à Fangeas (maximum 3-4 %) indiquent une représentation élevée de ce taxon dans des boisements situés à quelques kilomètres du site de prélèvement (Ruffaldi 1994 ; Brugiapaglia *et al.* 1998, p. 215).

La partie de la « Réformation générale des bois de la Province du Dauphiné » qui a trait au département actuel des Hautes-Alpes[170], avec l'état des forêts en 1727 et les années suivantes, indique la place non négligeable de ce taxon au bord des cours d'eau et dans les « isles » qui ponctuent le fond des vallées. À l'ubac, se développent les plus beaux massifs forestiers de l'étage montagnard situés au-dessus des hameaux et des cultures composés essentiellement de pins et de mélèzes. Les pins occupent le bas des versants tandis que le

[169] BILLECARD (L.), Notice sur le dixième arrondissement forestier Hautes-Alpes, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, Gap, 1890, pp. 72-73.

[170] GUILLAUME (P.), Les forêts des Hautes-Alpes en 1727-1728 et la question des déboisements d'après des documents officiels inédits, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 6ème année, Gap, 1887, pp. 81-113.

Mélèze occupe le haut. Le Sapin cohabite avec le Mélèze dans les combes et les versants frais. Le Pin colonise les versants les plus arides. Les boisements de pins qui constituent une part importante, mais pas majoritaire des forêts communales de haute Durance, sont apparemment surreprésentés dans le diagramme pollinique de Fangeas (niveau situé dans la zone 6, vers – 6 cm – 5 cm), tandis que ceux de sapins et surtout de mélèzes, manifestement plus importants, sont occultés en raison de leur faible dispersion pollinique (Kharbouch 2000, 239). Cette remarque est d'autant plus valable pour le XIXe siècle, époque pour laquelle nous disposons de données statistiques extrêmement précises pour chaque espèce[171].

Depuis le XVIIe siècle, les prélèvements intensifs dans toute la haute Durance de bois (Sapin, Mélèze, pins) opérés par la Marine royale et par les troupes des forts d'Embrun, de Briançon et de Mont-Dauphin[172], ont particulièrement affecté les communautés de Réotier, Champcella, la Roche de Rame, Freissinières, Guillestre[173], Vars[174] et l'Argentière[175]. Cet épisode peut se traduire par la dernière inflexion de la courbe des pins. La reprise de la courbe coïnciderait alors aux premiers résultats de l'application de l'ordonnance de 1669 durant le deuxième quart du XVIIIe siècle.

Le rapport des commissaires de la Réformation mentionne la conservation de défens surtout au bord des différents cours d'eau pour préserver les cultures des « lavanches » et des « ravines ». À l'Argentière, les communautés ont le droit d'y mener paître leur bétail. Elles doivent se contenter des « buissons » et des bois arrachés par les avalanches pour le chauffage. Elles ont néanmoins le droit d'y prélever des menus branchages. D'autres communautés sont plus intransigeantes et n'y autorisent aucun prélèvement de n'importe quelle nature que ce soit. À Champcella, les « isles » d'aulnes sont réservées par leur propriétaire pour y mener paître le bétail[176]. Ainsi, les broussailles et plus particulièrement

---

[171] BILLECARD (L.), Notice sur le dixième…, pp. 60 et suiv..

[172] GUILLAUME (P.), Les forêts des Hautes-Alpes…, p. 83.

[173] BUFFAULT (P.), Les forêts et pâturages du mandement de Guillestre, *Extrait du bulletin de géographie historique et descriptive*, n° 1-2, Paris, 1910, p. 13 [113], pp. 14-18 [117-121].

[174] GUILLAUME (P.), Les forêts de la communauté de Vars en 1727-1732, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, Gap, 1887, pp. 327 et suiv.

[175] A.D.H.A., Série C, Intendance du Dauphiné, C2, « Réformation générale de bois de la province de Dauphiné », tome Ier, Gapençais, Élection de Gap, Communauté de Largentière, Déclaration des habitants de Largentière, le 3 juin 1728, f°229-231 : « […] que lors de la construction de la place de Mont Dauphin on en a pris pour faire les fortifications que pour celles de Briançon il en a pris mille pièces en l'année mil sept cent vingt cinq qu'en cette présente année il en a été pris soixante palissades en pins, sapins et mélèzes de même que pour les réparations du pont de Clapiere, chauffage au charbon de Briançon […] ».

[176] GUILLAUME (P.), Les forêts des Hautes-Alpes…, p. 105.

l'Aulne servent pour de multiples activités comme le « chauffage, feuillage et faire des fourneaux pour engraisser les terres » (Rabou dans le Dévoluy, f°129).

L'émergence de la courbe régulière de l'Aulne entre – 9 et – 8 cm a probablement une relation avec la création de mise en défens en bordure des torrents et dans les zones humides des fonds de vallée aux alentours du XVIe siècle[177]. Cette pratique a été parfaitement enregistrée par le diagramme anthracologique de Fangeas VI auquel nous accordons un chapitre particulier pour illustrer la problématique de la gestion des boisements incultes pour le combustible domestique et l'élevage. Sa mise en place répond à la dynamique naturelle de l'activité érosive et à l'aggravation des phénomènes torrentiels – accentués par les fortes précipitations hivernales – à l'origine de la destruction des cultures et des prairies humides. La volonté de protéger des espaces forestiers dans la crainte de déchaîner des catastrophes naturelles dont les conséquences sont très souvent tragiques pour les communautés remonte au moins au XIIIe siècle dans la haute vallée de la Durance[178] (Sclafert 1926a, p. 656) et s'affirme au XIVe siècle[179]. En 1343, les communautés briançonnaises édictent dans leur grande charte de libertés, un article spécifique sur la protection des boisements contre les prédations seigneuriales et de la noblesse pour prévenir les risques d'éboulements et d'inondations[180].

L'intérêt économique et écologique des fourrés d'Aulnes dont l'entretien et la préservation sont devenus à partir du XVIe siècle le champ de bataille des communautés montagnardes de la haute Durance depuis la réduction des futaies de grands résineux à une peau de chagrin a été considéré avec un grand intérêt par les agents du reboisement des montagnes au XIXe siècle[181]. L'extraction dans les forêts communales de plants d'Aulnes et de « bois blanc » « formant de fortes racines » était vivement conseillé pour le « reboisement des terres en pente en état d'éboulement » et pour activer la régénération des « essences

[177] Le règlement forestier du mandement de Savines, proclamé en 1621, mais dont la première rédaction remonte au moins au XVIe siècle – *« l'ansiène coutume, de longtans observéye audict mandement »* (1604) – protège et stipule l'entretien des boisements des « iscles » ou « iscles », GUILLAUME (P.), Les forêts de la communauté de Vars…, art. 53, p. 96 et art. 90, p. 101.

[178] En 1299, interdiction de prélever du bois d'œuvre dans les forêts communales de Guillestre promulguée par l'archevêque d'Embrun pour des raisons d'utilité publique, *cf.* BUFFAULT (P.), Les forêts et pâturages…, p. 7 [110].

[179] BUFFAULT (P.), Les forêts et pâturages…, p. 8 [111].

[180] RIBOIS (M. de), *La grande charte des libertés…*, art. 18.

[181] BILLECARD (L.), Notice sur le dixième…, p. 79.

principales » qui constituent la seule richesse des forêts communales[182]. La culture des taillis d'Aulnes en moyenne et haute montagne au XIXe siècle (dernières décades) trouve des échos dans le diagramme pollinique de Fangeas où l'Aulne atteint à ce moment-là ses taux les plus importants.

Il serait peut-être judicieux de transposer ce raisonnement au diagramme pollinique du Laus des Combettes (Saint-Julien-en-Champsaur) (Court-Picon 2003, p. 221, fig. 9). Le site est situé en moyenne montagne, à 1175 m d'altitude dans un terroir bocager actuellement pâturé. L'époque moderne et plus particulièrement les XVIIe-XVIIIe siècles, présente une explosion des fréquences de l'Aulne glutineux dont le pic le plus important correspond à un retrait franc des pinèdes sèches. Son développement, favorisé par la déprise forestière, peut avoir été valorisé et soutenu par l'homme pour les mêmes raisons présentées plus haut.

Comme cela a déjà été souligné dans l'introduction à ce chapitre, l'époque moderne correspond non seulement à une reprise importante des taux de pollens de pins, mais aussi à l'explosion des marqueurs du pastoralisme, notamment les Plantains, les Renonculacées et les *Rumex*. L'intense pression pastorale en haute montagne, illustrée par des témoignages écrits de plus en plus nombreux[183], est marquée par un nouveau recul des pollens de pelouses dont les taux sont au plus bas dans le courant du XIXe siècle. L'état dégradé de ces formations d'Herbacées qui constituent normalement la majeure partie de la ration alimentaire d'un troupeau en estive est clairement imputé au surpâturage dans la documentation écrite de la haute Durance[184] (Durand 2004, I, pp. 158 et suiv.). À ce titre, à une demande d'autorisation pour enlever la litière dans une forêt communale, les pouvoirs publics répondent que cet usage est totalement prohibé compte tenu que les pelouses y sont peu abondantes et en partie

[182] A.D.H.A., série P, 5 P 3 (1836-1865) : « Considérant que le reboisement des terres en pente en état d'éboulement, nécessite l'emploi de jeunes plants formant de forte racines », « considérant qu'il est possible de se procurer dans les forêts communale de Montjay, Baratier, St Sauveur, des plants d'aune et de bois blanc remplissant ces conditions ; que leur extraction ne peut être qu'utile à ces forêts, en facilitant et activant la végétation des essences principales […] » ; suit l'an 1864 : « Il est avantageux pour le reboisement des terrains en pente et en état d'éboulement, dans lesquels de simples semis vu les plantations faites avec des plants trop jeunes sont exposés à être enlevé par les eaux torrentielles, de se servir de plants pourvus de fortes racines qu'on peut se procurer , dans les forêts, parmis les drageons des jeunes cépées de bois blancs comme l'aune par exemple, qui envahissent le sol et nuisent à la végétation des essences principales ».

[183] Voir par exemple BUFFAULT (P.), Les forêts et pâturages…, pp. 22-23 [125-126], pour le cas de Guillestre.

[184] Les troupeaux de Provence auxquels sont affermés des quartiers pastoraux (une « montagne »), entre la fin juin et mi-octobre, au moins depuis le XIIIe siècle, sont considérés comme responsables de la dégradation des pelouses, BUFFAULT (P.), Les forêts et pâturages…, p. 25 [128].

détruite par « d'anciens abus de pâturage ou d'enlèvement des détritus végétaux qu'on a bien fait d'arrêter »[185].

L'explosion des Cypéracées, amorcée à la fin du Moyen Âge central, corrélée aux marqueurs du pastoralisme, peut être interprétée comme le résultat d'un développement important de formations herbeuses de type prairies humides aux abords du site[186] pour lequel l'impact du facteur climatique (péjoration) ne doit pas être exclu. L'accroissement franc des fréquences de ces Herbacées correspond chronologiquement à l'accentuation des changements climatiques du petit Âge glaciaire. L'augmentation de la pluviométrie a pu favoriser l'accroissement de formations herbeuses à Cypéracées (associées aux Renonculacées) en bordure des zones humides (lacs, sources, ruisseaux) et de prairies humides et marécageuses dans des zones qui n'étaient pas irriguées. La chute des températures, notamment en hiver, a pu déterminer la progression des formations ouvertes à Cypéracées qui supportent des climats très durs et qui ont tendance à dominer le paysage végétal lorsque les arbres sont absents. La prolifération de ces plantes répond sans aucun doute à une combinaison complexe de ces deux facteurs déterminants (climat et activités anthropiques). La comparaison de la composition floristique des formations d'Herbacées à l'époque médiévale et durant les Temps modernes suggère même que la zone de Fangeas soit devenue plus franchement tourbeuse. L'adoption du toponyme Fangeas qui vient du mot occitan « Fanja », la boue, peut dater de cette période.

Synthèse

L'analyse croisée des données polliniques, anthracologiques, archéologiques et historiques retrace avec une relative précision l'histoire de la végétation du secteur de la

[185] A.D.H.A., série P, 5 P 3 (1836-1865) : « […] tous ces bois sont jeunes ou épuisés, sur des terrains généralement légers, peu profonds, sur des pentes rapides, et où il importe de maintenir le gazon, afin d'éviter les avalanches ou éboulements. La pelouse y est peu abondante, elle a été en partie détruite par d'anciens abus de pâturage ou d'enlèvement des détritus végétaux qu'on a bien fait d'arrêter. […] On ne saurait sans inconvénient autoriser le ramassage de la litière dans les bois dont il est question, à l'état de régénération et dans lesquels les coupes sont suspendues. Nous pensons donc qu'il n'y a pas lieu de donner suite à la délibération présentée ».

[186] Les Cypéracées présentent une dispersion pollinique limitée. Les études sur la pluie pollinique actuelle ont montré que dès que l'on s'éloigne de la source productrice, les taux chutent brusquement (Brugiapaglia *et al.* 1998, p. 214).

montagne de Dormillouse et de façon plus large de la zone haute durancienne depuis la néolithisation jusqu'au XIXe siècle.

L'ouverture du milieu en haute montagne est véritablement amorcée durant l'âge du Bronze avec la nette réduction de la cembraie, la fin de la courbe de *Betula* et le développement consécutif du mélézin. La forêt changeant de physionomie et de composition offre un véritable potentiel au développement du sylvopastoralisme (prés boisés). La limite de la forêt dense se situe alors vers 2300 m d'altitude où elle est composée massivement de Pin cembro et de pins de type P. sylvestre. Cela signifie aussi que des boisements en forme de taches, dominés par les pins de haute montagne, ont pu se développer jusqu'à plus de 2400 m d'altitude. L'ouverture de la forêt subalpine par le feu se place vers 2200 m d'altitude où se développent progressivement des boisements de pins et de Mélèze. La pression pastorale s'intensifie durant le deuxième âge du Fer avec un pic d'accroissement des *Rumex* et des prairies de Cypéracées. Elle conduit au développement important du Mélézin concomitant avec une phase de relâchement anthropique autorisant la régénération des boisements de Pin cembro durant une période qui succède à la conquête romaine. La fin de l'époque romaine est marquée par une nouvelle phase de régression forestière imputée au développement du pastoralisme forestier (prés boisés), du pastoralisme d'altitude et à la multiplication des ponctions de bois dans les forêts pour l'industrie du bois et des métaux. Les abords du site paraissent occupés par des formations herbeuses dominées par les Poacées. La tranche altitudinale située vers 2000-2200 m paraît située en zone supraforestière, mais il est probable que des boisements morcelés atteignent encore 2300 m d'altitude. La déprise qui précède la relance médiévale amorcée dès le haut Moyen Âge facilite la colonisation des massifs d'adret par les pinèdes sèches, très dynamiques, la reconstitution de la sapinière dans les combes fraîches et humides de l'étage montagnard et une extension sensible de la série subalpine du Mélèze et du Pin cembro entre 2000 et 2200 m d'altitude.

La régression de la forêt sous la barre des 1900 m d'altitude et l'extinction des boisements de haute montagne s'opère entre les IXe et XVe siècles. Elle s'accompagne d'une réduction générale des massifs forestiers depuis le fond des vallées jusqu'aux pelouses subalpines conditionnée par une extension majeure des cultures – céréalières et arboriculture fruitière – et des prairies sèches dans les versants d'adrets, des prairies humides et des prés dans les versants d'ubac et le développement de formations arbustives incultes (landes et fruticées). Au Xe siècle, la forêt dense qui s'étire jusqu'à 2100 m d'altitude a totalement changé de morphologie. Elle est dominée par le Mélèze associé au Pin cembro. Elle est

progressivement éliminée sous l'influence multiple des activités anthropiques et notamment minière qui conduit à l'extension des landes et des prairies.

Le XIIIe siècle amorce un autre tournant dans les transformations paysagères avec la disparition du mélézin aux abords du site et une extension des landes à Éricacées et à Genévriers et des formations d'Herbacées de pelouses, des rudéro-steppiques et des Cypéracées. Si le Mélézin disparaît entre 2000 et 2200 m d'altitude, le Pin cembro et le Pin de type P. sylvestre se maintiennent sous forme de boisements morcelés aux altitudes les plus hautes (2300 m d'alt.). Au XVe siècle, l'apogée du pastoralisme de haute montagne avec l'intensification de la transhumance conduit à l'éradication presque totale des pins de haute montagne. Depuis la seconde moitié du XIIIe siècle, mais surtout à partir du XIVe siècle, on note un relâchement progressif et irrégulier des pratiques sylvopastorales (pacage en forêt) dans le cadre d'une politique de préservation des boisements, alors réduits à une peau de chagrin, qui émerge bien souvent des communautés soucieuses de préserver leurs terroirs menacées par les avalanches et les glissements de terrain. Cette évolution doit être envisagée comme la conséquence d'une combinaison complexe de facteurs socio-économiques et environnementaux, notamment climatiques. L'analyse sédimentaire du lac de la Roche de Rame (vallée de la Durance) dans le cadre du programme Éclipse II souligne « une transition régionale entre la période chaude médiévale et le Petit Âge Glaciaire. Les sédiments sont plus clairs pendant le Petit Âge Glaciaire et plus sombres pendant l'optimum médiéval. Les niveaux gris détritiques qui s'intercalent seraient donc reliés aux changements des conditions climatiques entre les périodes chaudes et les périodes froides » (Véron *et al.* 2008). L'apparition de Glomus dans les sédiments du lac aux XVe-XVIe siècles soulignerait une érosion des sols très marquée, liée à un point de rupture situé à la conjonction de l'intensification de l'activité anthropique et des péjorations climatiques.

La forêt se régénère en priorité dans les massifs d'adrets écorchés au profit des pinèdes sèches dont l'accroissement à l'échelle régionale est bien saisi dans le diagramme pollinique de Fangeas. Le pâturage intensif des zones pouvant potentiellement évoluer vers la forêt interdit la régénération des boisements de Pin cembro. Le Mélézin se localise le plus souvent dans les massifs d'ubac où ils constituent des boisements comprimés entre les dernières prairies montagnardes et les landes et pelouses subalpines qui souffrent de la surpression pastorale. La végétation arborescente remonte timidement vers 1900 m d'altitude dans le courant du XIXe siècle où elle est presque exclusivement dominée par le Mélèze qui cède la place au Pin à crochets dans les zones les plus xériques.

Un des aspects les plus remarquables dégagés par l'analyse approfondie du diagramme pollinique de Fangeas est sans aucun doute l'apogée des déboisements et la mise en place du paysage agrosylvopastorale aux XIe-XIIe siècles, structuré et entretenu par l'homme. Alors que les courbes des taxons arboréens sont au plus bas, la société médiévale montagnarde est au comble de son épanouissement (Durand 2004, I). Cet état de fait est en parfaite opposition avec les transformations économiques opérées à partir du XIIIe siècle, et patentes aux XIVe-XVIe siècles où les pratiques ancestrales sont durement condamnées. La volonté d'une mise en valeur industrielle des boisements par le pouvoir delphinal puis royal conduit à la déstabilisation progressive des systèmes mis en place dans le courant du Moyen central. Ce bruit de fond est masqué par la volonté de sauvegarder la forêt non plus perçue comme la gangrène des terroirs, mais comme le manteau protecteur contre les risques naturels (érosion intense des terrains). Ces données conduisent à réviser les schémas du déboisement alpin et à faire la part des choses concernant les bouleversements environnementaux modernes entre les tenants de la cause anthropique et les tenants de la cause naturelle. La réduction du couvert forestier va en effet de pair avec l'installation de communautés sédentaires, mais répond aussi à des facteurs environnementaux cléments. De plus, les données polliniques indiquent clairement que le paysage n'est pas constitué uniquement de forêts séculaires, mais qu'il est déjà composé d'une mosaïque de formations herbeuses et boisées. La construction du paysage agrosylvopastoral donne naissance à une nouvelle morphologie des boisements et au développement de la biodiversité. Les forêts, il est vrai de plus en plus localisées, se régénèrent de façon intermittente, permettant au Pin cembro de se maintenir à de hautes altitudes jusqu'au XIIIe siècle. Le Mélèze, dont la dynamique est mal perçue dans les diagrammes polliniques, est encore présent à 2200 m d'altitude sous forme de boisements assez denses, mais très morcelés au XVe siècle. Ils constituent alors la limite supraforestière. Les Temps Modernes caractérisés par un accroissement des réglementations des usages dans les forêts et les pâturages sont, de façon paradoxale, une ère de reconquête forestière à l'échelle régionale. Au XVIIe siècle et au début du XVIIIe siècle, la forêt est le lieu de pratiques illicites auxquelles il faut remédier. Or, le montagnard est parfaitement conscient des risques naturels et trouve très tôt le moyen de maintenir ses terroirs grâce à la gestion des formations arbustives incultes, sans avoir attendu les prescriptions des réformateurs. Le XIXe siècle est le comble du paroxysme de la parfaite abnégation par l'autorité publique et scientifique du mode de vie des montagnards, en implantant notamment des espèces ligneuses parfaitement incompatibles avec l'agrosylvopastoralisme traditionnel. Aujourd'hui la fermeture du paysage, qui inquiète depuis peu les partisans de la biodiversité, est perçue

comme un véritable stress par les dernières communautés paysannes de haute montagne qui observent impuissants, les terroirs travaillés à la main par leurs ancêtres envahis pas à pas par une végétation de plus en plus abondantes qui n'a même plus aucun intérêt pour le feu domestique. Aux pratiques agraires et sylvopastorales, succède l'aire de la production ligneuse industrielle pour alimenter une société qui se tourne vers l'énergie et les matériaux propres.

Dans cette restitution de l'évolution d'un paysage de haute montagne sur la longue durée, l'époque médiévale apparaît comme un épisode crucial et particulièrement complexe. Cette constatation a conduit à approfondir la réflexion grâce à l'étude des pratiques propres à la production de bois d'œuvre et de combustible domestique et industriel perçues grâce à la richesse et l'originalité des données anthracologiques produites pour ce secteur. L'analyse de ces données nous conduit à élargir notre champ d'investigations aux sources écrites, bioarchéologiques et archéologiques sud-alpines.

IV.3. L'HOMME MONTAGNARD DANS SON ENVIRONNEMENT : LES MODALITÉS DE LA GESTION DES RESSOURCES LIGNEUSES POUR LES ACTIVITÉS AGROPASTORALES ET MINIÈRES AU MOYEN ÂGE ET AU DÉBUT DES TEMPS MODERNES DANS LE MASSIF DES ÉCRINS

IV.3.1. La forêt « domestique »

Esquisses sur l'habitat et le bois

Les données archéologiques acquises récemment permettant d'apprécier l'habitat médiéval subalpin sont ténues. Elles donnent des impressions générales qui seront impérativement à confronter avec de nouvelles découvertes et mériteraient une recherche plus approfondie qui ne trouve pas sa place ici. Mais, les quelques informations récoltées lors de nos travaux et par les autres équipes sud-alpines contribuent à nourrir des hypothèses de travail et à enrichir nos données sur la gestion des ressources ligneuses et les usages du bois. Elles conduisent à dessiner de nouvelles perspectives de recherches sur le secteur Fangeas-Faravel qui constitue un ensemble exceptionnel permettant d'appréhender non seulement l'évolution de la structuration de l'habitat au sein d'un terroir de haute montagne, mais celle des formes et de l'organisation l'habitat depuis le milieu de l'époque carolingienne jusqu'au XVe-XVIe siècles.

Formes, substructions et subdivision de l'espace habité

Les sites rattachés aux trois périodes du Moyen Âge identifiées dans la montagne de Faravel présentent les mêmes caractéristiques concernant les techniques de construction en dur. Tous les bâtiments, de petites ou de plus grande taille, sont bâtis contre une butte morainique creusée de façon à y encastrer des substructions en dur montées avec des blocs de pierres locales non équarris et la plupart du temps non liés. Leur assise constituée de très gros blocs repose presque toujours sur le substrat rocheux. Dans un seul cas, la première assise a été renforcée au niveau de son parement interne avec un bourrelet de terre argileuse car la structure est implantée dans un terrain particulièrement meuble (Fangeas X). La récurrence des substructions en pierres sèches pourrait s'expliquer par un choix technique inhérent aux conditions et aux disponibilités environnementales, par un choix pratique et social lié à la vocation de la structure et au nombre de personnes à accueillir, voire par une raison juridique. En effet, en haut Faucigny comme en Valais occidental, une maison n'est considérée comme un bien immobilier que si elle repose sur des fondements de pierre ; ce qui suppose d'ailleurs l'usage récurrent du bois dans le bâti montagnard médiéval (Carrier 2005, pp. 279-290, 286-288 ; Mouthon 2008, p. 108). Avant de traiter la question de l'usage du bois à proprement parler, explorons la problématique de l'implantation semi-enterrée des structures et du recours à la pierre. En effet, ce point nous paraît crucial puisqu'il conditionne la forme des élévations (matériaux et mode de construction) de la maison voire l'existence ou non d'un rez-de-chaussée[187] en matériaux périssables et/ou en dur.

Avant d'interpréter dans cette perspective nos données archéologiques et les récents résultats acquis par les autres équipes sud-alpines, il est difficile de proposer un point sur la documentation déjà acquises puisqu'elle se réduit à presque rien pour l'aire géographique et la période considérée. Il faut bien souvent se résoudre à se contenter des études réalisées sur l'habitat montagnard dit « traditionnel » des XVIIIe-XIXe siècles, donnant le plus souvent une image figée, même si on élargit le champ géographique aux Alpes du Nord (Robert 1939 ; Mallé 1983a et 1983b ; Arnaud 1983 ; Fray 1983). De surcroît, tous les auteurs qui effleurent cette question font inlassablement référence aux données de Charavines, exceptionnelles

[187] Les structures étant le plus souvent semi-enterrée, elles comprennent un sous-sol. Il nous semble donc plus juste de parler de rez-de-chaussée plutôt que d'étage.

certes, mais concernant une occupation lacustre de type palafitte et non de haute montagne (Colardelle, Verdel 1993). Pourtant, il existe des données pour la haute montagne médiévale, mais il faut se tourner vers les Pyrénées où les recherches conduites par Ch. Rendu ont complètement bouleversé la vision d'un habitat mimétique qui fait corps avec la montagne (Rendu 2003). Avant de faire ce voyage dans une démarche comparative, il nous a semblé pertinent non pas de faire un saut en avant dans le temps, mais un saut en arrière !

M. Segard a réalisé récemment une synthèse sur les habitats de moyenne montagne du Valais et des Alpes centrales à l'âge du Fer et à l'époque romaine qui nous paraît exploitable à plus d'un titre (Segard 2007). Premièrement, les modes de construction observés dans des sites valaisans, de la vallée de l'Adige et du Trentin, situés entre 600 et 1400 m d'altitude, sont totalement distincts de ceux adoptés dans les vallées et à basse altitude. Les structures sont généralement bâties sur des terrains à faible pente, aménagés en terrasses (comme à Coste de Tonis). Elles sont le plus souvent en bois et toujours semi-enterrées. L'arrière de la bâtisse est entièrement sous terre. La pierre est parfois utilisée pour les fondations, les substructions et les élévations. Les élévations mixtes de pierre et de bois sont courantes dans les vallées de l'Adige et du Trentin et de façon plus large depuis la Slovénie jusqu'à la Lombardie. Une restitution d'un habitat de l'âge du Fer découvert dans le Valcamonica (Perscarzo) à partir des données archéologiques montre un rez-de-chaussée en bois bâti sur un sous-sol en dur semi-enterré (Rossi 1999 et Segard 2007, p. 67, fig. 2). Le second point digne d'intérêt est la continuité de ce type de constructions semi-enterrées avec des substructions en dur et des élévations en bois sur des sites occupés depuis l'âge du fer jusqu'au haut Moyen Âge dans certains secteurs alpins. La topographie accidentée et le climat justifieraient leur maintien dans la longue durée. Or, il existe des exemples contradictoires pour des habitats situés dans des contextes topographiques similaires et parfois proches géographiquement où les modes de construction en dur de tradition romaine, sont adoptés aux dépens de la tradition protohistorique (Segard 2007, p. 67).

Toutes les structures pastorales et agropastorales fouillées dans la haute vallée de Freissinières (Faravel et Chichin) datées de l'Âge du Bronze au Moyen Âge central présentent des particularités similaires concernant la construction des substructions. Elles sont toujours en dur (blocs non liés et non équarris), franchement semi-enterrées ou adossées contre une butte morainique, à l'exception d'une installation temporaire du Ier âge du Fer caractérisée par trois trous de poteau (Walsh *et al.* 2003). Le constat est le même pour le Champsaur (Walsh *et al.* 2007). Il existerait donc bel et bien dans cette zone sud-alpine des continuités des modes

de construction à des altitudes comprises entre 1900 m et plus de 2300 m. L'existence de maisons semi-enterrées, bâties entièrement de bois et assises sur un solin de madriers, n'a par contre jamais été mise en évidence. La pierre paraît avoir toujours été de rigueur, tandis que la mixité des matériaux est attestée pour les élévations, du moins jusqu'au Moyen Âge.

Des évolutions sont par contre notables au niveau de la forme des structures et de la partition de l'espace, dessinées par les vestiges des substructions en pierre. Les structures du Moyen Âge central et des XVe-XVIe siècles sont principalement de forme quadrangulaire régulière (rectangulaire à carrée), contrairement aux structures des périodes plus hautes qui sont avant tout circulaires ou ovoïdes (Jujal à Prapic, site du lac des Lauzons à Champoléon, Faravel XIX, Chichin II à Freissinières etc.) et constituent parfois des sortes de nébuleuses adossées à un enclos (Walsh *et al.* 2007). Mais, cette forme de l'habitat pastoral perdure jusqu'au IXe siècle (Fangeas VII, site du Cheval de Bois à Champoléon), manifestement pour des abris temporaires (simple refuge) (Palet *et al.* 2003). Des réoccupations temporaires médiévales de sites ovalaires protohistoriques ne sont pas exclues (Palet *et al.* 2003, p. 208).

Si les sites ovalaires, généralement de très faible superficie, ne présentent pas de partition de l'espace, les sites quadrangulaires eux peuvent être composés de deux pièces. La pièce à vivre, là où est aménagé le foyer, est toujours plus petite et située au nord, dans la zone franchement semi-enterrée. Elle est accessible depuis la pièce agricole qui s'ouvre vers l'extérieur par une porte très souvent ouverte au sud. Mais, certaines structures échappent à cette règle comme Fangeas X où la pièce à vivre possède une porte indépendante, surélevée par rapport à l'accès à la pièce agricole. Toutes les structures rectangulaires ne sont pas équipées d'une pièce agricole à proprement parler qui serait alors à découvrir aux abords. Par exemple, on pourrait penser que certaines structures rectangulaires simples « jumelles », comme Faravel VIIIa et VIIIb, sont pour l'une, le lieu à vivre, et pour l'autre, la cabane agricole (abri pour le bétail, grenier). Il ne faut cependant surtout pas exclure la présence de structures agricoles entièrement bâties en matériaux périssables adossées à l'habitat, comme cela semble être le cas à Faravel XII, ou situées à sa proximité plus ou moins.

Ces interprétations sont sans aucun doute précipitées et méritent une plus mûre réflexion et surtout plus de résultats. Mais, notre objectif n'est pas d'écrire l'histoire de l'habitat sud-alpin ; il s'agit de trouver des indices sur la possible existence d'un rez-de-chaussée (ou étage). Il paraît évident que les structures circulaires n'en possédaient pas. Par contre, la question est plus délicate pour les structures rectangulaires.

Au regard de nos données archéologiques, il semblerait que les structures composées avec une grande pièce agricole et une petite pièce à vivre n'en possédaient pas. Le stockage du fourrage se réalisant manifestement dans cette pièce, la construction d'un rez-de-chaussée (ou d'un étage) ne paraît pas utile. La pièce agricole servirait indifféremment d'étable et de grenier suivant les différentes phases de l'estive. L'existence de greniers agricoles à côté de l'habitat est probable, surtout pour les structures rectangulaires simples pour lesquelles il est impossible de trancher sur l'existence ou non d'un étage, bien que la présence de substructions en pierre pourrait indiquer l'existence d'élévations assez hautes en bois. Enfin, le développement des structures composées pourrait avoir une relation avec l'accroissement des activités agropastorales d'altitude. L'habitat n'est plus seulement un lieu de repos, un abri pour le berger, mais un lieu de vie sociale (accueil de la famille étroite, voire élargie) et de production économique en relation avec le fourrage et la fabrication du fromage.

Les données obtenues pour la montagne d'Enveig par Ch. Rendu n'éclairent pas le problème de la partition verticale (Rendu 2003). Par contre, elles révèlent la constance des structures entièrement bâties en bois et en terre, bien souvent adossées à des éminences naturelles, du Néolithique au Moyen Âge central. Elles sont progressivement abandonnées à la fin du Moyen Âge au profit de la pierre qui va s'imposer jusqu'à l'époque contemporaine, non pas pour des questions environnementales, mais pour des questions de changements et d'évolution des modes d'appréhender, de gérer et de s'accaparer l'espace pastoral. Nous reviendrons sur ce point crucial. Mais d'abord, considérons la question des élévations, de la charpente et de la toiture de façon plus précise.

Élévations et charpente

Dans l'espace sud-alpin, les vestiges évoquant des artefacts en bois et plus précisément des élévations en bois sont rares (problème de conservation et de réemploi). Ils se conservent grâce à un incendie, mais ils sont toujours très fragmentaires et ne permettent pas une restitution des pièces de bois ou même simplement d'une section. Seuls les dépôts carbonisés du site carolingien de Fangeas VII sont sans ambiguïté issus de l'incendie de structures en bois en élévation, mais la part des résidus provenant de la charpente ou des murs – bois empilés (pans-de-bois) ou mantelage en planches ? – est impossible à déterminer. Il faut ajouter à ce maigre corpus, non sans réserve, les dépôts carbonisés prélevés dans les niveaux

de destruction de la structure CT1-16 qui serait médiévale (voire plus ancienne ?) et le fragment de rondin carbonisé provenant de la structure CT1-1. Ce dernier, par son fort diamètre, est indistinctement le vestige d'une poutre ou d'un élément de mur.

Les résultats anthracologiques révèlent sans grande surprise que les structures en élévations ou la charpente sont bâties en bois de Mélèze (*cf. Larix*) avec très rarement recours au Pin cembro dont les quelques résidus pourraient très bien provenir de pièces d'assemblages protégées des intempéries. Le choix prioritaire de ce matériau est probablement lié à sa disponibilité, mais il répond surtout à ses propriétés mécaniques et à son excellente durabilité contrairement aux pins et au Sapin. Suivant certains auteurs, elle serait d'environ 400 à 500 ans dans la construction (Bromberger *et al.* 1980, p. 56). Son utilisation pour la construction des murs et de la charpente, attestée surtout par la documentation écrite moderne, contemporaine et ethnographique, paraît remonter à l'âge du Bronze, comme tendrait à le suggérer les données anthracologiques obtenues par B. Talon pour le site de Faravel VIId. Il est aussi majoritairement utilisé, nous l'avons dit plus haut, pour la charpenterie de mine aux XIe-XIIe siècles dans le site voisin de Fangeas. Le Pin cembro traditionnellement utilisé pour la confection de la vaisselle en bois dans le Queyras (bois tendre) paraît réservé pour d'autres usages dès cette période. Mais encore une fois, la prudence s'impose. Cette essence peut parfaitement convenir pour des éléments qui ne sont pas exposés aux intempéries comme les pièces de charpente.

Les vestiges archéologiques ne permettent pas d'aborder de manière frontale la question des techniques de constructions employées. Ce champ d'investigations a été exploré par A. Durand pour les élévations grâce à l'analyse d'une peinture du calendrier de la Torre Aquila à Trente datée du début du XVe siècle (Durand 2004, I, pp. 219-223). Elle note la coexistence, au sein d'un même groupement d'habitats en bois, de deux techniques encore utilisées dans la construction des chalets en bois actuels : l'empilement horizontal de madriers proprement équarris, appelé aussi dans l'architecture traditionnelle « pans de bois », avec assemblage à entures d'angle, et l'empilement horizontal de rondins assemblés aux angles par entaillures simples. Ces techniques de construction des murs en bois sont attestées pour l'époque médiévale notamment dans les pays slaves et nordiques (Chapelot, Fossier 1980, p. 259) et à Charavines au XIe siècle (Colardelle, Verdel 1993, pp. 133-147). Leur usage pour l'habitat médiéval ne fait aucun doute, mais la typologie des assemblages et leur évolution sont très mal connues. De plus, rien ne permet d'exclure le recours à d'autres matériaux (seuls ou mixtes) comme, par exemple, le pisé-torchis (Durand 2004, I, pp. 223-224).

Le mode d'assemblage par entaillures simples mérite quelques commentaires car il est très probablement le plus ancien et à l'origine de constructions massives et robustes (Gerner 1995, p. 158). De plus, il n'est pas sans rappeler la rusticité des assemblages caractérisés pour la charpenterie de mine dans le même secteur et à la même période. L'entaillure simple entre des rondins emboîtés les uns dans les autres sur leur demi-hauteur, ne nécessite qu'une préparation grossière à la hache. Mais, l'entaille ronde, telle qu'elle est représentée dans la peinture évoquée plus haut, est malgré tout assez difficile à tracer. Elle nécessite, après une préparation à la hache, de présenter les pièces les unes sur les autres, souvent plusieurs fois de suite, pour corriger la découpe. Les troncs qui ne sont pas parfaitement calibrés sont empilés en inversant leur tête à chaque fois sur base et base sur sommet. Chaque découpe était donc différente et seule sa précision pouvait donner de la rigidité à l'angle et à toute la construction. Autant dire que sous des aspects archaïques, ce mode d'assemblage demande un véritable savoir-faire. C'est précisément ce savoir-faire qui doit être valorisé. Les montagnards de la période considérée ne sont pas des techniciens spécialisés, mais définitivement des gens du savoir-faire.

Enfin, un des éléments non négligeables qui militent pour l'utilisation du matériau-bois (seul ou associé à la terre) est la vocation agropastorale des habitats médiévaux, notamment sur le plateau de Fangeas et à Coste de Tonis. La partie agricole de la structure de Fangeas X où ont été retrouvées deux pierres à faux a pu servir au stockage du foin après la récolte. Le foin étant bien souvent rentré encore humide, il fallait pouvoir assurer une bonne ventilation dans le lieu de stockage. Le matériau-bois répond parfaitement à cette contrainte puisqu'il est respirant tout en étant un bon isolant thermique. Le mode de construction des élévations par empilage de pièces de bois augmente la capacité de respiration de la structure. Le séchage des pièces dont les sections ne sont pas parfaitement quadrangulaires entraîne la création de jours plus ou moins importants suivant la qualité des assemblages qui sont autant d'arrivées d'air.

En extrapolant, certes de façon peut-être trop téméraire, il semblerait que l'habitat montagnard de notre zone d'étude, et cela de l'âge du Bronze au début de l'ère moderne, soit dominé par des constructions mixtes, de bois et de pierre, avec des élévations en matériaux périssables qui reposent sur des substructions en pierre dont la hauteur initiale est difficile à évaluer. Cette interprétation fait évidemment écho aux données recueillies par M. Segard pour le Valais et les Alpes centrales. L'existence de structures entièrement de bois reste très problématique. Au regard des nombreuses campagnes de prospections conduites depuis maintenant dix ans dans le massif des Écrins par l'équipe de K. Walsh, et bien que ces

vestiges fugaces soient peu lisibles sur le terrain, il est difficile d'imputer leur absence aux seules lacunes de la recherche.

Cette hypothèse n'est pourtant pas en contraction avec les données pyrénéennes de Ch. Rendu et les particularités régionales voire alpines ne sont pas une surprise. On note en effet un changement dans le choix des matériaux après le XVIe siècle. Les structures les plus récentes repérées sur le plateau de Fangeas et à Coste de Tonis, datées des XVIIe, XVIIIe et XIXe siècles, présentent des élévations en pierre conservées parfois jusqu'au pignon. Seule la charpente est en bois. La couverture par contre relève d'un autre problème.

Les structures conservées en élévation ne présentent pas de rez-de-chaussée et comme au Moyen Âge, elles sont soit de forme rectangulaire simple, soit subdivisée en deux voire trois cellules. Sur la très longue durée, les changements concernent surtout la forme des structures, leur taille et surtout leur organisation au sein d'un site et de façon plus large dans la montagne, mais ils ne sont pas linéaires. Si des emplacements demeurent privilégiés sur la longue durée, d'autres le sont moins ou pas du tout. Ces changements relèvent donc bien d'une dynamique autre que chronologique ou environnementale, alors que l'on ne peut pas totalement exclure des changements complètement dépendants des disponibilités environnementales pour le choix des matériaux. C'est précisément ces points qui devront être étudiés dans le cadre des recherches à venir à la lumière des travaux pyrénéens et de l'ensemble des données déjà acquises dans le domaine sud-alpin. Celles-ci demeurent maigres pour l'époque médiévale contrairement aux périodes Préhistoriques.

La couverture

Dans les niveaux de destruction des structures datées du Moyen Âge central, l'absence d'élément de toiture en pierre conjointement (ou non) à la présence de gros charbons de bois indique l'usage probable de toitures en matériaux périssables (Faravel VIIIb, Faravel XII, Fangeas VII, CTI-16, Fangeas X niveau ancien ?). L'absence d'éléments de constructions incendiés en bois ne signale pas automatiquement l'existence de toitures végétales, mais l'utilisation de chaume ne doit pas être totalement écartée bien qu'elle nous semble peu probable pour la période considérée compte tenu des disponibilités environnementales. À Brandes, les toitures des maisons de mineurs sont en chaume de seigle. Ce mode de couverture particulièrement sensible aux incendies (flambe très vite) conférait une bonne

isolation thermique tout en laissant passer la fumée des foyers qui n'étaient pas équipés de cheminée (Bailly-Maître 2008, p. 38). Certaines maisons possèdent des couvertures mixtes associant chaume aux lauzes. Ces dernières servaient à renforcer le chaume au ras du sol (Bailly-Maître 1998, pp. 33-34). Mais, le choix de ce mode de couverture doit de toute évidence être imputée à la pénurie de grands ligneux sur place attestée par la palynologie (Bailly-Maître 2008, p. 36). Bien qu'il soit impossible de déterminer avec sûreté l'utilisation du bois pour la couverture des maisons d'estive de la montagne de Freissinières à partir des données strictement archéologiques, nous tablons sur la place prédominante du matériau-bois dans ce secteur aux IXe-XIIIe siècles. Trois éléments vont dans ce sens. D'abord la persistance de toitures en bois sur des structures datées des XVIe-XIXe siècles (site de Fangeas I). Deuxièmement, les résidus carbonisés d'artefacts en bois pouvant provenir indistinctement des élévations, de la toiture ou de la charpente, sont pour la plupart du Mélèze (*cf. Larix*). Cette essence est employée de façon presque exclusive en basse Provence et dans les Alpes du Sud à la fin du Moyen Âge pour la fabrication des « tuiles en bois » (Bernardi, Nicolas 2003, pp. 289-290). Troisièmement, l'utilisation de dalles de schiste (lauzes) – lourdes et longues à poser – se place à la fin du Moyen Âge et semble se diffuser durant l'époque moderne dans la haute vallée de Freissinières dans un contexte de déprise forestière (Coste de Tonis CTI-1, Fangeas VI, Fangeas X niveau tardif, Fangeas IV). La coexistence des deux modes de couverture n'est pas improbable[188] puisque les deux types de ressources étaient disponibles encore au XVe siècle. À partir du XVIe siècle, les changements des modes de couverture pourraient répondre à des problèmes d'approvisionnement en grands arbres sur place (coût trop élevé du transport du bois). Mais l'utilisation des deux types de matériaux persiste apparemment durant les périodes plus récentes (XVIIIe-XIXe siècle). Des couvertures en lauzes de schiste sont conservées sur des structures du site de Coste de Tonis, tandis que deux bâtiments montrent des vestiges de couverture en bois à Fangeas. Encore faut-il vérifier si cette couverture de bois n'a pas plutôt été posée par les éleveurs du secteur car les cabanes couvertes servent encore d'abri (au XIXe ou au XXe siècle).

La problématique de la couverture de bois et de sa spécificité alpine, ou plutôt de son savoir-faire alpin est complexe (Bernardi, Nicolas 2003). Le mode de couverture utilisant des planchettes de bois, posées à recouvrement, appelées bardeaux – échandoles dans la zone sud-

[188] Le très bel album « Premières image du Queyras de Guillestre au Haut Queyras 1865-1920 » édité en 2003 par les éditions du Queyras montre la coexistence d'habitat couvert de lauzes, d'ardoises et de bois au sein d'un même hameau ou d'un même village.

alpine et en Basse Provence – est employé durant tout le Moyen Âge et au-delà pour la couverture de multiples formes architecturales. L'archéologie pastorale helvète fait remonter son utilisation à Ämpächli en Suisse aux XIe (Meyer *et al.* 1998, pp. 105-123). Il est connu et utilisé dans les Alpes, le monde méditerranéen, y compris dans des régions plus septentrionales ou occidentales (Allemagne, Angleterre, Normandie, bassin parisien). Il se replie progressivement dans le domaine sud-alpin qui est aujourd'hui un des derniers hauts lieux emblématiques de cette technique de couverture (Bernardi, Nicolas 2003, p. 288).

La méthode de fabrication des échandoles est passée sous silence dans la documentation écrite du Sud-Est (XIVe-XVIe siècles) dépouillée par N. Nicolas et Ph. Bernardi. Bien qu'elles soient posées par des charpentiers à la fin du Moyen Âge, leur production ne fait apparemment pas l'objet d'une spécialisation professionnelle particulière. La technique de fendage est parfaitement adaptée à la production des planchettes. Contrairement au sciage, elle préserve le fil du bois assurant une meilleure résistance à la pièce (Bernardi, Nicolas 2003, p. 290). Il faut ajouter à ce paramètre le choix de la période d'abattage et la durée de séchage qui détermine en partie la résistance de la pièce contre les intempéries et même le feu. Un bois abattu à une période de l'année où il est gorgé de résines et d'extraits se prêtera non seulement moins bien au travail de débitage, mais aussi sera hautement plus inflammable.

Le débitage par fendage contrôlé (radial ou tangentiel) était parfaitement maîtrisé par les hommes qui se sont chargés des boisages et de la fabrication des équipements de la mine de Fangeas. Cette technique était à la portée de n'importe quel membre d'une communauté montagnarde, habitué à changer de métiers ou plutôt d'activités au fil des saisons. Le travail du bois a toujours été la seconde spécificité du montagnard[189]. Il ne faut pas douter que ce mode de débitage était couramment employé par les communautés de la montagne de Dormillouse aux IXe-XIIIe siècles. De façon plus large, à l'échelle régionale, certaines communautés ont pu se détacher du lot et exceller dans la production des échandoles comme le suggère un acte de Château-Queyras de 1339 :

> « *Quia vero edificia ipsi castri sunt coperti de chandolis de meleze mirabiliter durantis et rehedificata de novo* »[190].

[189] Les témoignages de bergers que nous avons pu recueillir tout au long de notre recherche abondent dans ce sens.

[190] A.D.I., 8 B 24, f°80 r°, cité *in* Bernardi, Nicolas 2003, p. 291, n. 19.

Ces remarques soulèvent peut-être un écueil important de la documentation écrite des Xe-XIIIe siècles et même des données paléoenvironnementales qui noient trop souvent sous une impression générale la grande diversité des activités de l'homme médiéval montagnard en relation avec le bois et la forêt.

Un point pourrait aller à l'encontre de notre hypothèse : la pose des échandoles. Les sondages réalisés par Ph. Bernardi et N. Nicolas dans la documentation écrite du Sud-Est de la France indiquent que les échandoles étaient non seulement posées sur un lattis en bois fixés sur les pièces de charpentes, mais agrafées au moyen de clous (Bernardi, Nicolas 2003, p. 293). Un à trois clous métalliques étaient nécessaires pour assurer la fixation d'une pièce. Or, les niveaux de structures en bois incendiés rattachés aux IXe-XIIIe siècles n'ont jamais livré de clous. Faut-il donc réfuter notre postulat de base ? La fourniture métallique utilisée pour assurer la solidité d'un assemblage n'est pas forcément nécessaire. De plus, ce matériau coûteux pouvait avoir été soigneusement récupéré et remployé. Enfin, le maintien des tuiles en bois sur un toit à faible pente (comme c'est le cas des toits couverts de lauzes de schiste ou d'échandoles encore conservés) pouvait être assuré par une densité plus importante de planchettes se chevauchant sur plusieurs couches et étant comprimées par des blocages de pierres. Cette technique est connue pour la pose et la fixation d'un autre type de « tuile en bois » appelée « ancelle ». Elle n'est pas sans rappeler la méthode de pose des lauzes de schiste dont la fixation est assurée par des empilements en tas-de-charge. Sans vouloir faire de conclusion hâtive, il est possible d'envisager une certaine variété des modes de couvertures en bois (et/ou en chaume ?) à la période qui nous intéresse et/ou des spécificités propres à l'architecture pastorale qui est particulièrement rudimentaire et modeste et qui relève du savoir-faire de ses habitants (Duby 1962, pp. 257-261 ; Chapelot, Fossier 1980, p. 135 ; Colardelle, Colardelle 1996, p. 49 ; Falque-Vert 2004, p. 189).

Aménagements intérieurs

Les sols d'occupation sont toujours très minces et aménagés à même le substrat rocheux qui garantit un minimum d'humidité. La roche n'est jamais uniforme. Les endroits où elle disparaît sont parfois légèrement remblayés et recouverts d'une fine couche de terre battue. À Faravel-Fangeas, deux sols d'habitat ont été aménagés avec des grandes dalles de schiste car les cabanes étaient implantées dans des sols particulièrement humides et meubles. Ce type d'aménagement a été aussi mis en évidence dans la cabane Jujal III (Orcières) (Palet *et al.* 2003, p. 206). L'application d'une litière végétale n'a pas été identifiée. Par contre, cela est probable, plus particulièrement dans la cellule qui accueille le troupeau domestique.

L'analyse anthracologique des charbons de bois issus de structures incendiées dans le site de Faravel XII a confirmé l'existence de structures légères et/ou mobiles en bois (cloisons) datées du Moyen Âge central et du bas Moyen Âge (Durand 2004, I, p. 217). Le caractère monospécifique des dépôts et la rareté des branches militent pour la restitution de cloisons en pans de bois de Mélèze. Si l'habitat n'était pas divisé avec des cloisons de pierre, il pouvait l'être avec des cloisons en matériaux périssables aménagées en fonction des besoins saisonniers.

Fig. n°79 : Foyer 2 de Coste de Tonis I-1 (cl. V. Py.).

Un des rares éléments qui attestent un aménagement particulier de l'espace est le foyer. Il est au Moyen Âge toujours situé dans l'habitat, dans la pièce à vivre semi-enterrée située au nord (la plus tempérée). Les fumées s'évacuaient soit par la toiture, soit par la porte. Les foyers sont toujours de très petite taille, le plus souvent encadrés de quelques pierres et/ou insérés dans une dépression naturelle du substrat. Le foyer n'est jamais installé au milieu de la pièce, mais contre un mur (*cf.* fig. n°79, p. 1018). Il servait à chauffer l'air, à éclairer, à cuire la nourriture. Aucun foyer à vocation artisanale n'a jusqu'à présent été

découvert dans le secteur. Par contre, certains foyers ont pu servir pour le travail du lait au chaudron. Dans les Pyrénées, la monospécificité du combustible d'un foyer extérieur en *Rhododendron ferrugineum* (cabane du Serrat de la Padrilla) avait permis d'avancer cette hypothèse (Rendu 2003a, p. 380). Mais, dans le haut Champsaur (Durand 2004, I, p. 203) comme dans le massif des Écrins les analyses anthracologiques de dépôts carbonisés de foyers intérieurs révèlent toujours plusieurs espèces. Rien ne permet d'affirmer une utilisation des foyers pour la fabrication du fromage.

Les charbons de bois recueillis dans les foyers et leurs épandages (charbons dispersés dans les couches d'occupation) sont des artefacts privilégiés pour caractériser les pratiques d'approvisionnement en bois de feu par les agropasteurs. Ils peuvent aussi fournir une image fidèle de la végétation ligneuse locale à extra-locale, lorsque les méthodes de prélèvements et d'échantillonnages, déterminées par les anthracologues, sont respectées. Ce postulat a été établi à nombreuses reprises pour les sites de plaine protohistoriques et médiévaux. Il a été validé plus récemment pour les sites montagnards Pyrénéens où B. Davasse conclut à un approvisionnement en combustible local pour toutes les analyses anthracologiques qu'il a effectué sur les cabanes de la montagne d'Enveig (Rendu 2003, pp. 377-392). A. Durand observe le même phénomène en haut Champsaur en se basant non seulement sur la composition des assemblages floristiques, mais sur les fréquences élevées des charbons présentant du bois de réaction (Durand 2004, I, pp. 202-203). Qu'en est-il des sites agropastoraux du massif des Écrins ?

Le bois de feu : changements et évolution des pratiques d'approvisionnement

Le territoire d'approvisionnement

À l'âge du Bronze ancien, les agropasteurs qui ont occupé la cabane Faravel XIX implantée à l'adret à 2300 m d'altitude ont récolté leur combustible dans des massifs forestiers denses situés aux abords du site. La composition floristique confirme cet approvisionnement local avec de fortes proportions de taxons typiques des forêts subalpines d'adret (*Pinus* type *P. sylvestris*). Ils ont sélectionné uniquement des bois provenant de grands

ligneux (pins, *Larix-Picea* marginal), mais leur calibre n'a pas pu être évalué (charbons de très petite taille). Une seule branchette de 0,6 cm de diamètre a été identifiée. Les courbures de cernes permettant de reconnaître du bois de branchette étant rares, les charbons récoltés proviendraient surtout de moyennes et grosses branches et/ou de bois de tronc. Cette hypothèse est en partie validée par l'occurrence des charbons de bois provenant de bois de réaction ou bois de compression chez les conifères (33 %). Elle suggère qu'au moins un tiers de la récolte provient de troncs avec moelle excentrée poussant dans les zones de fortes pentes et/ou d'une sélection préférentielle des moyenne et grosses branches. L'exploitation de bois de futaie implique un travail d'abattage non négligeable à la hache. La récolte de jeunes brindilles pour l'allumage est probable.

Au XIIIe siècle, le territoire d'approvisionnement des occupants de Fangeas X implanté à 2000 m d'altitude est situé dans la zone de transition entre la forêt dense – mélézin subalpin – et la zone supraforestière composée de landes et landines à Éricacées et à genévriers avec des pieds localisés de Pin cembro et de Mélèze. La confrontation de l'ensemble des données paléocologiques, suggère un approvisionnement local à extra local (au moins 100 m de dénivelée plus bas), avec une nette sursélection des grands ligneux, notamment *Larix-Picea* (formations subalpines). Malgré l'état dégradé des massifs boisés fortement localisés et morcelés, l'approvisionnement en ligneux bas et dans les formations arbustives demeure marginal (7 %). Comme pour l'exemple précédent, l'occurrence du bois de compression (30 %) suggère une recherche locale de bois de feu avec une sélection préférentielle des moyennes et fortes branches.

Durant la première moitié du XVe siècle, le territoire d'approvisionnement en bois de feu des occupants de Coste de Tonis CTI-1 (2200 m d'altitude) est toujours local. Il est situé dans la zone supraforestière caractérisée par les landes et landines à Éricacées et genévriers et des bouquets des grands ligneux dominés par *Larix-Picea*. Les proportions de ligneux bas, jusqu'à présent marginaux dans la composition floristique des dépôts de foyers, ont augmentées significativement (environ 30 %) signalant un changement notable des stratégies d'approvisionnement manifestement lié aux déboisements importants des massifs situés entre 2000 et 2200 m d'altitude. Les fréquences de bois de compression tombent normalement à 10 % compte tenu d'un recours important aux petits ligneux bas qui ne présentent que moins ou peu de bois de réaction.

Au tournant des Temps modernes, les données anthracologiques du site de Fangeas VI (2000 m d'alt.) révèlent un changement important des stratégies d'approvisionnement avec

une récolte du combustible domestique qui n'est plus strictement locale, mais réalisée en partie dans les boisements arbustifs montagnards et plus particulièrement en bordure de torrent et dans les zones humides. La composition floristique des spectres, très cohérente d'un point de vue paléoécologique, permettrait de caractériser un approvisionnement exclusif dans les ripisilves et les fruticées montagnardes (1500-1800 m d'altitude) typique du « boisillage ». Mais, l'exploitation conjointe de fourrés supraforestiers à Aulnes vert et Saules n'est pas à écarter. Malgré cette extension du territoire d'approvisionnement vers le bas des versants, les transports de bois sont locaux et non pas régionaux. Ils se localisent à l'échelle du versant. Cette nouvelle économie des boisements pour la production de combustible domestique trouve des échos dans la documentation écrite et ethnographique moderne et contemporaine qui ne fait que confirmer le postulat de base. Dès lors, comment caractériser cette évolution des stratégies d'exploitation dans une perspective de reconstitution des pratiques et des modalités de gestion des boisements pour la production de combustible domestique ? De façon plus large, comment lire ces données au miroir de l'économie montagnarde ?

Le calibre des produits du boisillage

La pratique du boisillage telle qu'elle est connue par la documentation écrite et ethnographique moderne et contemporaine concerne l'abattage de branchettes et de brindilles dans des boisements arbustifs – fourrés humides des ripisilves – et le ramassage de bois mort, produits de l'élagage naturel, dans les forêts et les fruticées. Le boisillage consiste à prélever du menu bois pour le chauffage. Il est donc caractérisé par des bois de faible calibre issus de la ramification des branchages et non du bois de tronc. Il faut ajouter d'autres types de combustibles d'origine végétale comme les feuilles et les aiguilles sèches de résineux (Mélèze et Sapin), récoltées à Saint-Véran pour maintenir le feu au ralenti, ou encore l'écorce de Mélèze et le bois mort (Arnaud 1983 ; Fortoul 1995, p. 42).

À Fangeas X, les dépôts associés aux derniers fonctionnements du foyer ne comprennent que 7 % de petits ligneux bas très ramifiés. Le calibre (diamètre minimal) a pu être évalué pour 34 % d'entre eux. Il est compris entre 0,2 et 0,8 cm. Cette donnée conjuguée avec les forts pourcentages de bois de compression suggère une récolte de bois de fort diamètre (au moins un tiers) prélevé principalement sur des grands résineux. Il ne semble pas qu'il faille voir dans ces résultats la signature d'une pratique de boisillage à proprement

parler. La récolte de ligneux bas qui est marginale répond avant tout à la nécessité de disposer de petits-bois pour l'allumage du feu entretenu par la suite avec des bois de plus forts calibres.

À Coste de Tonis (CTI-1), le combustible utilisé composé à 30 % de ligneux bas rattachés pour la plupart aux Éricacées de montagne et aux genévriers dont les diamètres minimaux sont majoritairement compris entre 0,2 et 0,6 cm pourrait traduire une tonte des tapis de landes faiblement lignifiés pour alimenter les foyers domestiques (fig. n°80, p. 1022). Cette pratique est totalement originale parce qu'elle n'a jamais consignée dans les textes comme dans la documentation ethnographique. Elle révèle une gestion de l'inculte, la lande, qui envahit les prairies et les pelouses subalpines, là où la forêt pourrait potentiellement exister.

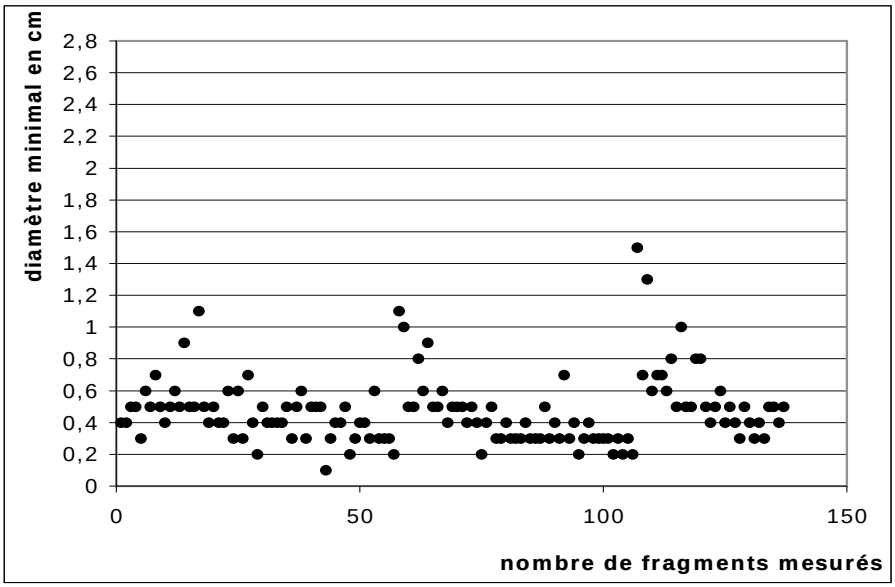


Fig. n°80 : Diamètre minimal en cm des brindilles provenant des foyers de la structure CT1-1 (US 107 et 108).

La coupe des arbrisseaux peut fournir non seulement un combustible d'appoint permettant de pallier en partie la pauvreté de la strate arborescente, mais peut faciliter le contrôle de l'expansion de la lande qui empiète sur les terroirs agropastoraux. Au lieu de brûler cette végétation envahissante sur pied par la technique du feu dirigé, cette dernière pouvait être taillée dans un souci d'économie de tous les bois, même ceux de médiocre intérêt pour la chauffe. En effet, ce combustible faiblement lignifié se prête mal à l'entretien du foyer. Seul, il ne suffirait pas à contenter les besoins en énergie calorifique. Les essences provenant de la strate arborée, pins de montagne et *Larix-Picea*, tiennent une place toujours prédominante pour l'alimentation du foyer (70 %). Le diamètre des résineux n'a pas pu être

évalué. Il s'agit forcément de bois de plus fort calibre, comme des moyennes et grosses branches ou des troncs de faible diamètre, et non des ramilles qui dans ce cas auraient pu être aisément détectées. Encore faut-il considérer qu'une combustion différentielle des ramilles de résineux, plus flambantes, et d'Éricacées est probable. Dans ce cas, les brindilles de résineux seraient légèrement sous-représentées. La faible proportion de bois de réaction est finalement délicate à interpréter. Elle peut être en partie attribuée à la composition floristique des foyers (richesse des ligneux bas). Il ne faut pourtant pas exclure une diminution importante de l'abattage des arbres et des branches charpentières au profit de branches de plus faible diamètre produisant moins de bois de compression. Le ramassage combiné de bois mort issus de l'élagage naturel n'est pas exclu. Cette question est soulevée précisément plus bas.

L'exploitation des landes et des landines supraforestières pour le bois de chauffe peut se comparer au boisillage pratiqué dans les fourrés d'aulnes. Elle est comparable surtout par la faiblesse du calibre des branchettes abattues et non pas par le type de formation exploitée. La composition du foyer avec 30 % de ligneux bas et 70 % d'essences arborescentes est proche de celle du foyer de la cabane de la Barre (Orcières) daté du Xe siècle (Durand 2004, I, p. 162). Les agropasteurs ont dans ce cas exploité un autre type de formation supraforestière, la brousse à Aulne vert (36,8 %). Les calibres, comme à Coste de Tonis, sont majoritairement compris entre 0,3 et 0,8 cm, autant dire qu'ils sont minuscules, surtout pour un bois qui lignifie un peu plus que les Éricacées. Ils indiquent une coupe des arbustes qui peut participer à l'entretien des pâtures. Enfin, la majorité du combustible est constituée de *Larix-Picea*. A. Durand considère que ces bois proviennent surtout de branches prélevées directement sur des arbres ou issus de l'élagage naturel. L'utilisation de bois de troncs, même de faible diamètre n'est pas suggérée (Durand 2004, I, p. 205).

La pratique du boisillage pour alimenter en bois de chauffe les chalets d'estive est bien caractérisée aux XVe-XVIe siècles pour le cas de Fangeas VI où les essences provenant de la strate arborescente ne composent plus que 8 à 10 % de la totalité du combustible.

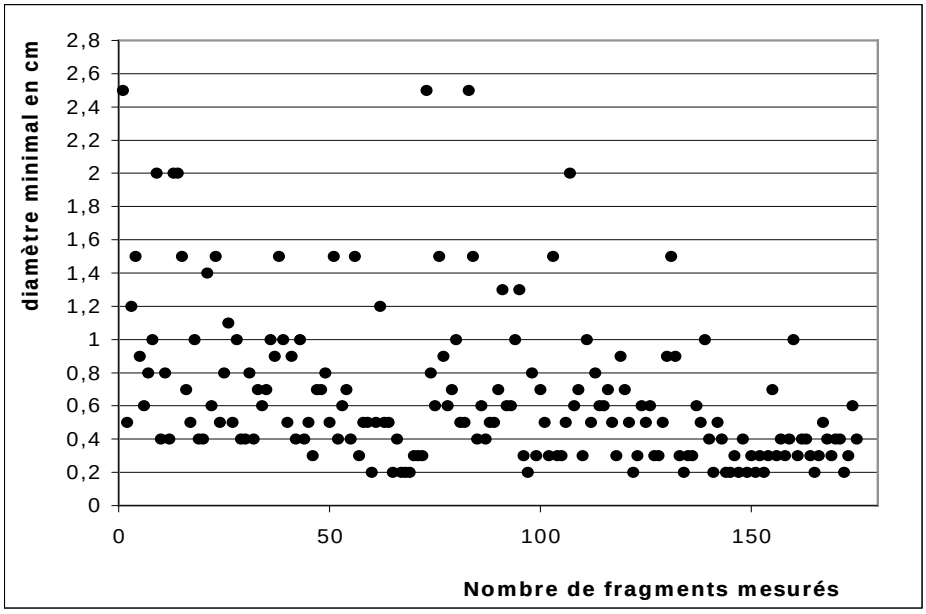


Fig. n°81 : Diamètre minimal en cm des brindilles provenant des foyers de la structure Fangeas VI (US 5).

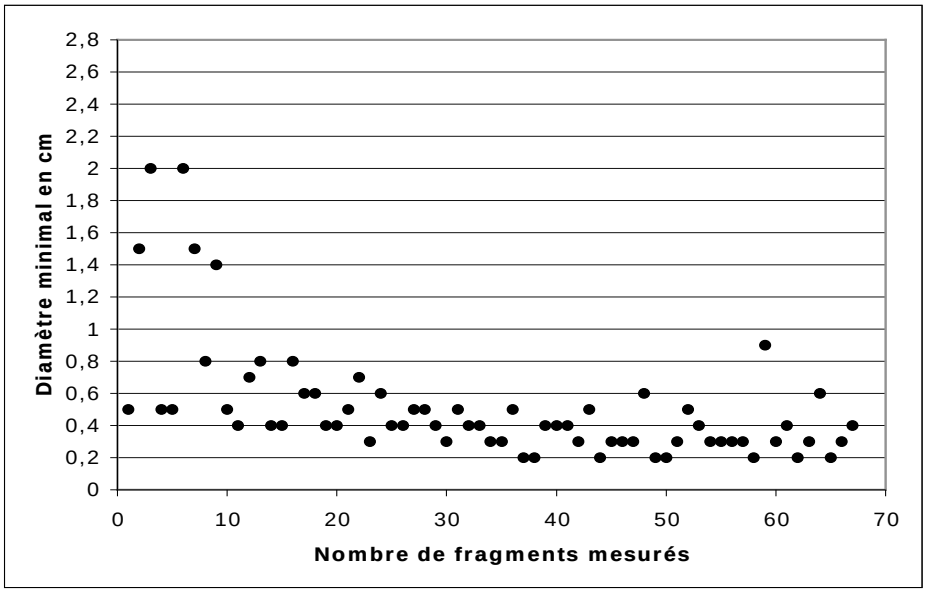


Fig. n°82 : Diamètre minimal en cm des brindilles provenant des foyers de la structure Fangeas VI (US 6).

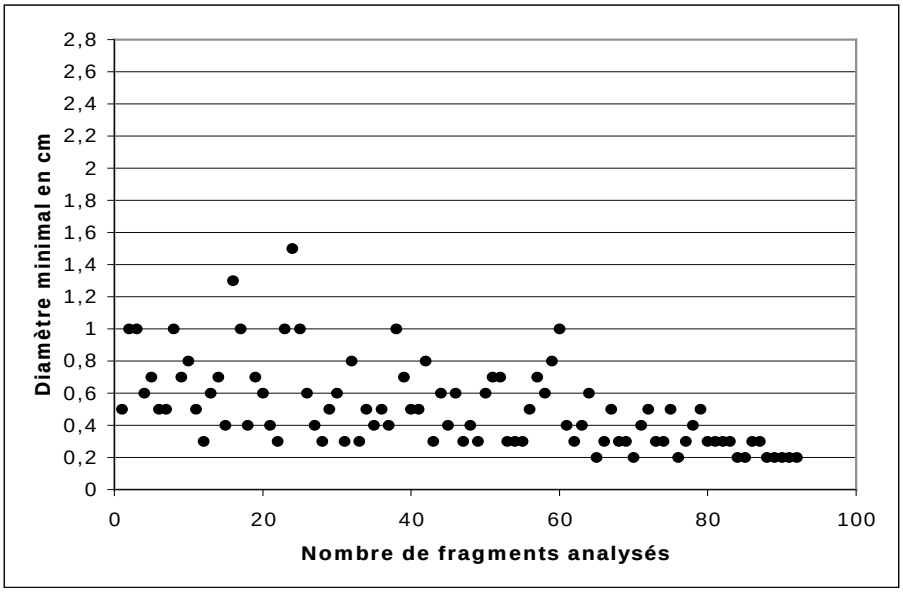


Fig. n° 83: Diamètre minimal en cm des brindilles provenant des foyers de la structure Fangeas VI (US 7).

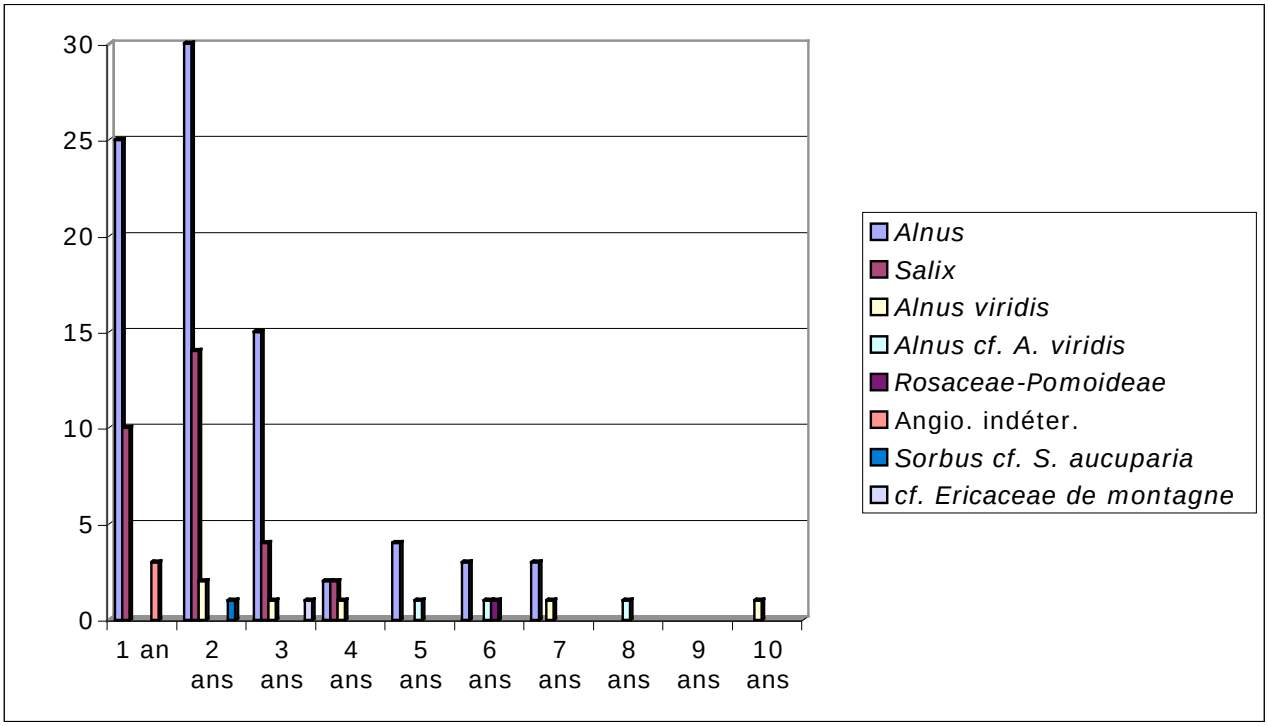


Fig. n°84 : Nombre de fragments par taxons pour chaque rang d'âge. En ordonnée, le nombre d'échantillons mesurés, en abscisse les classes d'âges. On peut noter une très forte concentration des échantillons âgés de 1 à 3 ans avec un pic à 2 ans.

L’excellent état de conservation des brindilles, notamment d’aulnes et de saules, a permis une évaluation du diamètre minimal pour la plupart d’entre elles. Les trois diagrammes proposés ci-dessus montrent sans ambiguïté une très forte concentration des calibres compris entre 0,2 et 0,8 cm de diamètre (fig. n°81-82-83, pp. 1024-1025).

28 % du combustible utilisé était donc composé de très petites brindilles. Le reste des échantillons provenant d’essences arbustives et d’arbrisseaux est pour la plupart issu de branchettes de plus fort calibre (courbures des cernes franches) dont le diamètre n’a pas pu être évalué précisément. La presque totalité du combustible brûlé dans ce foyer était donc composée de ramilles et de branches.

Pour 10 % des échantillons, l’écorce et la moelle étaient parfaitement conservées. Il a donc été possible d’évaluer leur âge de façon très précise pour les aulnes et les saules et, à cause de la mauvaise lisibilité des cernes, avec une marge d’erreur d’un ou deux ans maximum pour les Éricacées de montagne qui ne composent qu’une minorité du corpus (*cf.* fig. n°84, p. 1025). Il est frappant de constater une très forte concentration des individus âgés d’un à trois ans (84 %), avec un pic à 1-2 ans (67 %). Comme la faiblesse des diamètres minimaux, cette nouvelle donnée confirme la régularité de la pratique du boisillage mené dans les fourrés d’Aulne et de Saule tous les un à trois ans. Les individus âgés de plus de trois ans et surtout de plus de 7 ans sont peu nombreux et concernent les essences les moins bien représentées, comme notamment l’Aulne vert. Cette dernière information confirmerait l’hypothèse émise plus haut concernant le territoire d’approvisionnement qui serait plutôt localisé dans les fourrés humides des bords de cours d’eau (étages montagnard et subalpin) que dans la brousse supraforestière. Cette formation est d’ailleurs actuellement très localisée dans la vallée de la Byaisse. Quelques îlots recouvrent la zone du Ruine Niere et le Pleynet. Elle est absente au-delà de Dormillouse et dans le torrent des Oules (1600 – 2100 m d’altitude) (Meyer 1981, p. 161).

Il est possible de resserrer la chronologie de la pratique du boisillage, telle qu’elle est perçue à Fangeas au tournant de l’époque moderne, grâce à la conservation chez 20 % des individus de leur enveloppe corticale (écorce).

Le temps du boisillage, le temps de la feuille ?

Période de coupe

La question de la période de coupe des branchages a été abordée par A. Durand grâce à l'analyse anthracologique des vestiges de combustion du foyer de la cabane pastorale de La Barre à Orcières (Champsaur) implantée à 2200 m d'altitude (Durand 2004, I, pp. 206 et suiv.). L'occupation associée au fonctionnement du foyer a été datée de 880-1020 ap. J.-C. âge calibré. La détermination de la saison d'abattage de brindilles d'Aulne vert conjuguée au diagramme phénologique pour l'altitude considérée place le principal moment de coupe des branchages durant les mois d'août et de septembre et jusqu'aux premiers frimas. Avant cette période, l'abattage des branchages, est sporadique et marginal (Durand 2004, I, p. 206). Il y a encore une centaine d'années, cette période correspondait à une phase d'intensification des activités agropastorales de haute montagne avec la récolte du foin. Nous ne disposons que des données ethnographiques pour placer sur l'échelle du temps la pratique de la fenaison qui n'est malgré tout pas totalement intemporelle (Parisot 1931, p. 880). Au début du siècle dernier, les équipes de faucheurs gagnaient les chalets d'estive durant le mois d'août pour couper le foin de montagne, le « foin des chalets ». Ils y séjournaient de façon hebdomadaire. La production n'était pas stockée sur place, mais descendue au grenier à foin au moyen de « trousses » portée à dos de mulet (Cézard 1981, p. 146). Le mois de septembre, occupé plus bas dans la vallée par les semailles, la récolte des pommes de terre et la vendange, était aussi à Freissinières le moment de faire la provision de bois et de couper les feuilles qui serviront à nourrir le bétail (Parisot 1931, p. 880). Ailleurs, en haut Embrunais, l'autre moment réservé aux préparatifs de l'hiver avec la coupe du bois de chauffe était le mois de novembre.

Le boisillage médiéval dans le haut Champsaur commençait donc au moment le plus propice à la fenaison de haute montagne, c'est-à-dire le mois d'août. La période peut avoir été décalée de quelques semaines d'un siècle à l'autre, au rythme des variations microclimatiques, mais jamais de plus de trois semaines. La récolte du menu bois s'intensifiait en septembre, comme à Freissinière encore au début du XXe siècle où elle est intimement liée à la récolte des feuilles. L'affouragement des troupeaux à l'aide de feuilles et de branches feuillées était pratiqué dans tout l'arc alpin jusqu'au siècle dernier. Il a été décrit par de nombreux auteurs. Les feuilles étaient soit séchées et consommées par les bêtes en

complément du foin pendant les longs mois d'hiver, soit consommées vertes au pâturage (Lachaux *et al.* 1987). Les différents modes de récolte pratiqués dans le domaine sud-alpin ont été décrits récemment par A. Durand (Durand 2004, I, pp. 187-192). Ils sont fort mal référencés dans la documentation médiévale. Seules les archives modernes laissent penser que la récolte des feuilles contribue à pallier le manque de foin pendant l'hiver dès le XIVe siècle dans les Alpes du Sud (Durand 2004, I, p. 189). Les données anthracologiques obtenues par A. Durand pour le site du Vallon de la Vallette II (Champsaur), implanté à 2179 m d'altitude et datées du Xe siècle, suggèrent le recours à la feuille en complément alimentaire pour les bestiaux en estive (Durand 2004, I, pp. 192-197). Les branchages ont manifestement été recyclés pour le chauffage. Mais, nous ne disposons pas, pour cet exemple, de données précises sur la question de la saison d'abattage qui permettrait de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse d'une récolte de la feuille simultanée au boisillage. Nous reviendrons précisément sur ce problème. Il s'agit pour l'heure de régler la question de la saison d'abattage des brindilles qui ont servi à alimenter les foyers des cabanes agropastorales médiévales et du début de l'ère moderne.

La composition floristique des dépôts de foyers et la morphologie des charbons de bois conditionnent la possibilité de détermination de la saison d'abattage. Seuls les charbons ayant conservé leur écorce ou quelques rangées de cellules de parenchyme cortical peuvent se conformer à la détermination de la saison d'abattage. Dans les corpus que nous avons étudiés, une partie des branchettes et des jeunes tiges ont conservé des cellules d'écorce, mais rien de tel pour les autres charbons provenant souvent indistinctement de bois de cœur ou de l'aubier issu de tronc ou de grosses branches. Il faut ajouter à ces problèmes de conservation et de fragmentation des charbons celui de l'essence de l'arbre d'où ils proviennent. Les bois à zone poreuse ou semi-poreuse ou les conifères se concilient en général parfaitement à ce type d'analyse qui devient extrêmement délicate et ardue pour certains bois à pores diffus. Seule une étude statistiquement fiable a pu être réalisée pour les dépôts du foyer de Fangeas VI composés majoritairement d'Aulne et de Saule. Ces deux genres présentent un bois à pores diffus, mais leurs limites de cernes sont bien visibles grâce à des aménagements particuliers des pores. Les dépôts des foyers de CTI-1 et de Fangeas X sont dominés par *Larix-Picea* avec des charbons très fragmentés sans écorce et par des brindilles et branchettes d'Éricacées de montagne qui ont conservé dans quelques cas leur enveloppe corticale. Or, la détermination de la saison d'abattage n'a été possible que pour quelques charbons rattachés à cette famille dont les limites de cernes sont très souvent indistinctes.

Sur 1200 fragments analysés, seuls 269 charbons avaient conservé leur enveloppe corticale. La saison d'abattage a été déterminée pour 239 d'entre eux (tabl. n°20, p. 1029). Il n'a pas été jugé nécessaire de différencier le moment de l'abattage à l'intérieur du bois initial ou du bois final car dans la majorité des cas, soit 95 % des échantillons, l'abattage de la tige ou de la branche a été réalisé à la fin du bois final, soit avant la reprise de l'activité cambiale printanière. Les 5 % restant englobent les échantillons avec arrêt indistinct de croissance (ou abattage) au début, au milieu ou à la fin du bois initial.

Taxons	**BI**	**BI-BF**	**fin BF**	**Total**
Salix	3		45	
Alnus	6		154	
Alnus viridis	1		9	
Alnus cf. A. viridis			12	
Rosaceae-Pomoideae	1		3	
Frangula alnus			2	
Sorbus cf. S. aucuparia			1	
Juniperus sp.	1			
Angio. indéterminable			1	
Total charbons	12		227	239
%	**5**		**95**	

Tabl. n°20 : Période de coupe des brindilles (BI = bois initial, BI-BF = transition bois initial – bois final, fin BF = fin bois final).

D'après le diagramme phénologique établit par P. Ozenda (Ozenda 1994, p. 179), la fin de la période végétative est amorcée vers 2000 m d'altitude à partir de la fin du mois d'août et s'arrête définitivement à la mi-octobre. La récolte d'une partie du combustible qui a servi à alimenter le foyer, celle pour laquelle la saison d'abattage a pu être déterminée, s'est donc déroulé au début de l'automne et à l'arrière-saison comme à Orcières au Xe siècle. La récolte de bois de feu réalisée au commencement de la belle saison qui correspond aussi à la transhumance des troupeaux vers l'estive serait donc très marginale. Il est par conséquent tentant de voir ici une récurrence temporelle des pratiques du boisillage, amorcées au début du Moyen Age central, qui confirmerait l'hypothèse du stockage du bois vert dans les chalets d'estive pour une utilisation lors de la saison suivante.

Séchage et durée de stockage

Concernant l'exemple de la Cabane de La Barre à Orcières, A. Durand, en se basant sur les propriétés combustibles du bois vert et du bois sec, postule pour une récolte mise à sécher d'une année sur l'autre et stockée dans la cabane ou dans des structures attenantes en matériaux périssables pendant la période hivernale. Ce mode de stockage du combustible est connu dans le haut Champsaur par les données ethnographiques (Mallé 1983b). Qu'en est-il pour le massif des Écrins ?

L'état physiologique et phénologique du bois avant sa combustion peut être appréhendé grâce à la détection de déformations anatomiques ou d'altérations dues à un parasite saprophage (champignons, insectes). Une étude approfondie été réalisée sur ce sujet pour caractériser l'état du bois utilisé pour l'abattage par le feu (mine). La démonstration ayant trait à l'intérêt de la reconnaissance des attaques fongiques (champignons lignivores) pour caractériser l'usage de « bois sec » ou de bois mort, est proposée plus loin dans le chapitre consacré au combustible minier. On retiendra ici que l'occurrence des hyphes microscopiques dans les cellules ligneuses pourrait indiquer un temps de stockage avant combustion compris entre une à deux années (durée de la colonisation). Les spores issues de la fructification en tombant sur du bois humide (fraîchement coupé ou stocké dans un abri humide) trouvent des conditions favorables pour germer. Ils émiettent les hyphes qui se développent dans les lumières des cellules ligneuses. La fin du printemps, l'été et le début de l'automne réunissent les conditions nécessaires pour que le champignon puisse se développer (humidité de l'air et températures). Le champignon le mieux adapté aux conditions de montagne serait la mérule (pourriture cubique) qui contrairement à d'autres champignons peut se développer à seulement 22 % d'humidité et entre 7 et 26°C. Son développement est favorisé par une atmosphère confinée et par l'obscurité (Dirol, Pruvost 2002).

Les insectes à larves xylophages (coléoptères) capables de coloniser du bois d'œuvre ou du bois de chauffage stocké à l'intérieur comme à l'extérieur sont assez nombreux. Les plus connus pour le bois d'œuvre sont la petite et grosse vrillette, le capricorne des maisons et les charançons du bois (Dirol, Pruvost 2002, pp. 133 et suiv.). Le faible diamètre et la forme circulaire des galeries creusées observées en microscopie, indistinctement dans des bois de feuillus ou de conifères, plaident pour la reconnaissance d'un insecte de type petite vrillette. Mais, cette détermination qui mériterait un support morphométrique demeure à l'état d'hypothèse. La durée du cycle de cet insecte est très variable en fonction des conditions

climatiques (comme pour d'autres insectes). Elle est évaluée d'un à quatre ans. Le développement des larves (maturation des œufs et nymphose), nécessitant une température supérieure ou égale à 12°C et une humidité supérieure à 10 %, a lieu au printemps et durant l'été (Dirol, Pruvost 2002, p. 135). La présence des trous dans les charbons observés implique donc un stockage du bois au moins pendant un an.

Les filaments de mycélium (appareil végétatif) ont été observés pour les échantillons provenant des foyers de Fangeas X et de Coste de Tonis CTI-1. Tandis que la reconnaissance des trous de tunnels d'insectes xylophages dits de « bois sec » a été faite pour tous les échantillons (tabl. n°21, p. 1021). Mais, l'observation de ces parasites a été réalisée de façon complètement aléatoire. Nous n'avons pas cherché à les détecter absolument. Lors de l'analyse des caractères anatomiques discriminants, lorsque nous avons rencontré un trou de tunnel ou des hyphes nous avons simplement noté leur présence et leur occurrence. Il faut donc considérer que les résultats obtenus sont des valeurs minimales.

Sites	Trous nymphes	hyphes	Nbre total frag analysés	% tunnels	% hyphes
CTI-1	83	348	880	23,9	39,5
CT1-16	0	5	75	0	6,7
Fangeas X	1	273	750	0,1	36,4
Fangeas VI	22	X	1200	1,8	X

Tabl. n°21 : Occurrence des attaques parasitaires relevées dans les échantillons des structures CTI-1, CTI-16, Fangeas X et VI.

Les résultats sont variables, notamment pour les trous d'insectes. Les fréquences des attaques parasitaires relevées pour les dépôts du foyer de CTI-1 indiquent sans ambiguïté l'utilisation de bois stockés pendant une durée relativement longue (plus de deux ans ?). Le fort pourcentage de trous d'insectes en comparaison avec les autres dépôts va dans ce sens. L'occurrence des hyphes dans les charbons de Fangeas X suggère l'utilisation de bois stockés au moins pendant une année à 2 ans. La faiblesse des fréquences d'hyphes dans les charbons de CTI-16 peut s'expliquer par leur origine. Les éléments de constructions sont moins soumis aux attaques car ils sont posés secs et ne sont pas en contact avec le sol.

La présence de saprophages dans les bois carbonisés pose le problème de la récolte de bois mort. Théoriquement, il présente un stade de dégradation plus élevé que le bois sain dont l'attaque fongique aurait eu lieu pendant la phase de séchage et de stockage. La présence d'altérations importantes des microstructures et l'abondance des filaments d'hyphe constitue *a priori* de bons critères de détermination du bois mort. Les hyphes observées dans les

charbons des structures agropastorales sont généralement très discrètes indiquant un temps de stockage, et/ou de séjour à terre relativement court (un à deux ans maximum), non pas par rapport à la durée de stockage, mais pour la prolifération des parasites. Par contre, quelques cas de prolifération abondante ont été relevés. Elle concerne pour le corpus de Coste de Tonis exclusivement des charbons de résineux (15 cas pour *Larix-Picea* et 1 cas pour *Pinus cembra*). Il en est de même pour le corpus de Fangeas X (23 cas pour *Larix-Picea* et 2 cas pour *Pinus cembra*). Bien que nous ne puissions pas totalement exclure le ramassage de bois mort dans les formations d'arbrisseaux, nous maintenons l'hypothèse d'invasion parasitaire limitée liée au stockage. Par contre, il est évident que le ramassage de bois de résineux morts est très probable. Ces interprétations sont non seulement basées sur l'étude de la récurrence des hyphes, mais sur la régularité des calibres d'arbrisseaux pouvant répondre à une pratique de tonte régulière sur des individus vivants.

Cette étude reste préliminaire. Il faudrait pouvoir reprendre l'analyse des charbons de Fangeas VI dans l'objectif de relever la présence ou l'absence d'hyphe pour chaque échantillon. Malgré cela, les résultats sont dignes d'intérêt et corroborent à leur tour l'hypothèse d'un stockage du combustible au moins pendant un an pour les bois de faibles diamètres (ramilles) destiné à une consommation l'année suivante.

Le diamètre des ramilles, la saison d'abattage, le stockage des ramées dans les chalets d'estive, militent pour établir une relation temporelle et économique entre la récolte de la feuille et le boisillage. Or, encore faut-il déterminer si les essences reconnues peuvent produire des feuilles adaptées au fourrage.

Feuilles à ruminer ?

Pour caractériser le fourrage de feuillages donné aux bestiaux, les sources écrites du haut Moyen Âge et du Moyen central sont d'un piètre secours (Durand 2004, I, pp. 187-189). De façon générale, les textes du XIIIe siècle ayant trait à l'ensemble du haut Dauphiné ne donnent aucune précision sur les types de boisements potentiellement exploitables pour l'effeuillage. Il faut se contenter de mentions vagues comme *nemora alba*, ou « bois blancs », pouvant recouvrir une large palette d'espèces, ou *foyllacers* assez souvent situés *in rovoira* suggérant une récolte de feuilles de Chêne (Falque-Vert 1997, p. 68). Par contre, les pratiques de récoltes de feuilles recueillies dans la littérature géographique à vocation anthropologique

et dans les sources écrites des XVIIIe-XIXe siècles sont relativement variées. On y mentionne le plus souvent le Frêne et l'Orme très productifs en feuillage car ils supportent parfaitement les coupes en têtard. Leur valeur alimentaire paraît dépasser celles de toutes les autres espèces utilisées pour l'effeuillage. Le Hêtre est une essence également très prisée, mais malheureusement trop localisée en Haute Durance pour faire l'objet d'une exploitation particulière. Au XIXe siècle, dans les Hautes-Alpes, on note l'exploitation du Peuplier noir qui est plus souvent cultivé que spontané. Il se propage facilement par bouture et plançon sur les berges de torrents, dans les terrains vagues et sur les bords de chemin[191]. Toujours dans les Alpes du Sud au XIXe-XXe siècle, le Cytise aubour était apprécié pour sa teneur en azote plus importante que chez les autres espèces effeuillées pour le fourrage (Lachaux *et al.* 1987). Il faut ajouter à cette liste les feuilles de Saule, d'Érable, de Chêne et de Châtaignier qui font partie du groupe des arbres traditionnellement acceptés comme les plus adaptés pour la production de fourrage. Les agronomes contemporains ont démontré leur intérêt nutritif qui dépasse la simple considération de fourrage « d'à point » ou « palliatif » (Guichonnet *et al.* 1980, II, pp. 45-49).

À la lumière de ces données, attardons-nous sur les données anthracologiques agropastorales. À Fangeas X, au XIIIe siècle, les essences utilisées pour le foyer qui pourraient se prêter à l'effeuillage – *Acer* sp. et *Salix* – ne totalise que 0,06 % du combustible total. Autant dire que leur présence est totalement anecdotique et ne peut en rien coïncider avec une telle pratique. L'absence de ramilles de faible calibre va dans ce sens.

À Coste de Tonis au XVe siècle, les essences brûlées potentiellement utilisables pour le fourrage sont *Salix* et *Fraxinus* sp. Mais là encore, elles sont anecdotiques car elles ne totalisent que 1,2 % du combustible. La conclusion est la même que pour le cas précédent.

À Fangeas VI, si on se base sur les postulats traditionnellement admis, on peut ranger dans la classe des arbres propres au fourrage : *Salix*, *Fraxinus*, *Acer* et *Acer cf. A. pseudoplatanus*. Ces taxons à eux seuls totalisent 20 % du combustible total. Compte tenu du faible calibre des ramilles, ils peuvent clairement être associés à une pratique de la feuille avec leurs ramilles. Or, il faut ajouter très probablement à ce corpus l'Aulne. Dans ce cas, le pourcentage de taxons potentiellement exploités pour l'effeuillage s'élève à 56 %. En effet, l'Aulne, même s'il n'est pas consigné sur la liste des espèces acceptées comme particulièrement adaptées au fourrage dans l'aire sud-alpine aux XIXe-XXe siècles, était très

[191] BILLECARD (L.), Notice sur le dixième…, p. 79.

apprécié dans les régions septentrionales. Les feuilles du Hêtre et des chênes étaient utilisées, mais elles étaient moins populaires. Au même titre que les frênes, l'Aulne était taillé en têtard de façon à produire tous les trois à six ans les précieuses feuilles (Slotte 2006). Comme dans les Alpes, le fourrage était constitué de brindilles ou de feuilles arrachées. Les branches de feuilles étaient liées en gerbes. Les feuilles étaient données fraîches ou séchées au bétail. Les gerbes destinées au fourrage hivernal étaient séchées avant stockage de façon à assurer une bonne conservation des feuilles (Slotte 2006). Elles doivent être conservées sur leur branche pour préserver leur valeur nutritive Les exemples d'utilisation de l'Aulne comme source de fourrage, excentrés de notre zone d'étude, pourraient se multiplier. Il suffit de consulter les travaux récents de S. Thiébault sur le fourrage d'arbre et l'élevage depuis le Néolithique pour se convaincre que la palette des essences potentiellement exploitables est très vaste et que l'Aulne tient une place non négligeable (Thiébault 2005). Sa présence dominante dans certains écosystèmes de ripisilve de haute montagne entretenus aux abords des torrents ne fait que faciliter sa récolte. Son utilisation à la fin du Moyen Âge et au début des temps modernes a pu tout simplement s'effacer des mémoires aux profits d'autres essences plus rentables, plus disponibles ou tout simplement plus « populaires ».

Les résultats anthracologiques obtenus à Fangeas VI concourent tous à reconnaître la forte probabilité qu'une partie du combustible utilisé dans les foyers domestiques provient de la récupération des branchages délaissés par le troupeau après consommation des feuilles. Cette hypothèse n'est pas formulée à partir de la surreprésentation d'une ou plusieurs espèces comme pour le cas des diagrammes anthracologiques préhistoriques étudiés par S. Thiébault, mais sur leur provenance locale (échelle d'un versant de vallée), leur calibrage et la saison d'abattage. Les feuilles prélevées avec leurs branches étaient récoltées juste avant l'automne (août, septembre). Elles étaient séchées plus stockées dans les chalets d'estive pour être distribuées aux bestiaux durant les derniers mois de l'estive (mi-octobre au plus tard) ou consommées l'année suivante pour les bêtes en stabulation. Un autre scénario est possible. Les feuilles étaient récoltées puis distribuées vertes au troupeau qui, à cette période, a habituellement déjà quitté les très hauts pâturages (2300-2500 m d'alt.), pour les prairies situées entre 1900 et 2000 m d'altitude (les mêmes qui sont occupées par les troupeaux au début de l'estive). Le bois non consommé était conservé et stocké dans les chalets pour alimenter le foyer la saison suivante.

Le cycle de la feuille et le cycle du boisillage seraient donc intimement liés aux XVe-XVIe siècle. Cette forme de gestion de l'inculte pourrait répondre à une conjonction complexe

de facteurs économiques, sociaux et environnementaux. Avant cette période, la récolte du bois paraît indépendante de la collecte de feuilles. Mais, on note le même phénomène cyclique aux XIIIe-XIVe siècle. La récolte de combustible – bois mort, coupe des ligneux bas de landes – est probablement réalisée avant l'automne (départ de l'estive). Elle serait stockée dans les chalets et utilisée dès le printemps suivant. Pour le cas de Coste de Tonis, la faiblesse des calibres des ramilles, identique à celle des produits de l'effeuillage à Fangeas VI, pourrait suggérer une récolte de ligneux bas de type Éricacées pour nourrir le troupeau ou servir de litière. Pour infirmer ou confirmer cette hypothèse fragile, il conviendrait de multiplier les analyses anthracologiques de foyers d'estive qui s'avèrent pertinentes non seulement pour caractériser l'évolution du paysage ligneux sur la longue durée, mais pour étudier les modalités de gestion des boisements et des *hermes* pour l'activité économique agropastorale.

- . -

Que conclure sur la forêt « domestique » de haute montagne ? D'abord, où est-elle située ? Les données anthracologiques s'accordent pour la localiser aux abords plus ou moins directs des lieux occupés. Les changements observés dans les diagrammes entre l'âge du Bronze et le début des Temps modernes, sont intimement liés aux transformations du couvert forestier. Les agropasteurs exploitent d'abord des boisements de haute futaie denses dominés par les pins, puis des boisements morcelés et ouverts dominés dans la strate arborescente par *Larix-Picea* et dans la strate arbustive par les landes à Éricacées et Genévriers et enfin ils se tournent vers des boisements presque exclusivement arbustifs localisés dans les zones humides et en bordures des torrents plus bas dans les versants. La forêt domestique change de visage au cours des siècles. Elle est exploitée pour bâtir et structurer l'abri, le lieu de vie, le lieu de travail. Le Mélèze et/ou Épicéa favorisé par l'homme, l'allié du montagnard sud-alpin, fournit non seulement le bois de construction, l'énergie calorifique, mais il abrite les prairies d'altitude (prés boisés). Le Mélézin subalpin de substitution et de reconquête est la forêt domestique par excellence au Moyen Âge dans la haute Durance. L'homme a saisi son intérêt dès la Protohistoire. Là où il recule pour se replier dans les zones inexploitées et/ou préservées, il cède la place aux landes peut-être entretenues et gérées au XIVe siècle pour pallier en partie le manque de combustible tout en préservant l'espace pastoral, et peut-être fournir la litière végétale. Les boisements de futaie préservés sont toujours des lieux

privilégiés pour fournir le bois de construction et pratiquer le boisillage. Au début de l'ère moderne, les boisements arbustifs montagnards et subalpins deviennent la forêt domestique. Ils sont source de nourriture pour le bétail, de bois de feu pour le foyer, de bois pour l'artisanat (panier, clayonnage etc.). Le Mélézin devient la forêt gardée, la forêt stigmatisée, la forêt convoitée, la forêt exploitée pour l'industrie du bois. L'habitat devient de pierre, mais les communautés ont bien du mal à abandonner leur matériau de prédilection qui trouvera un regain d'intérêt avec la déprise agraire amorcée au XIXe siècle.

IV.3.2. La forêt pour la mine

À la lueur de l'ensemble des données archéologiques, anthracologiques et paléoenvironnementales rassemblées et interprétées en termes d'évolution du paysage et de gestion des ressources ligneuses, il est maintenant possible de caractériser la forêt pour la mine entre les Xe et XIIIe siècles. Avant de traiter la question des interactions des pratiques minières et agropastorales, nous avons jugé nécessaire de synthétiser les données anthracologiques minières pour définir spatialement et biogéographiquement le territoire d'approvisionnement en bois de feu des mineurs.

Un territoire d'approvisionnement en bois de chauffe ancré dans la forêt subalpine ?

Avant l'an mil (Xe siècle), les mineurs ont exploité pour la production de bois de chauffe destiné à l'abattage par le feu des boisements dominés par la série du Mélèze et du Pin cembro caractéristique de la forêt subalpine. Mais, le Mélèze compose à lui seul presque 80 % des boisements exploités. La comparaison des spectres anthracologiques miniers et du spectre issu d'un incendie associé à une phase importante d'ouverture du paysage, suggère un approvisionnement local (aux alentours de 2100 m d'altitude). L'absence dans les spectres de *Pinus* type *P. sylvestris*, composante des forêts de hauts ligneux subalpines, suggèrerait un approvisionnement localisé dans les formations d'ubac où *Larix-Picea* tient une place dominante. Les forêts exploitées par les mineurs sont surmontées, voire morcelées, par les

pelouses subalpines gagnées sur les boisements par le feu. Elles confrontent les terroirs agrosylvopastoraux sur prés bois.

De l'an mil au XIIe siècle, phase qui connaît un franc développement de l'activité minière à Fangeas comme à Faravel, le territoire d'approvisionnement des mineurs est ancré dans la forêt subalpine dominée par *Larix-Picea* qui fournit jusqu'à 90 % du bois de chauffe. Les pins de montagne et particulièrement le Pin cembro chutent sous la barre des 5 %. À en juger par ces résultats, cette espèce est en voie d'extinction dans l'étage subalpin d'ubac où les mineurs paraissent s'approvisionner exclusivement. L'omniprésence de *Larix-Picea* (sursélection) dans les résidus de foyers d'abattage peut révéler de façon indirecte le morcellement des boisements exploités par les mineurs. Ce postulat est confirmé par la palynologie qui enregistre aux XIe-XIIe siècles une chute vertigineuse des taux de pollens de pins. Le paysage est dominé par les prairies d'altitude morcelées et/ou délimitées de landes et de zones boisées dominées presque exclusivement par le Mélèze. L'étendue du territoire d'approvisionnement est difficilement évaluable. L'absence de taxons montagnards prône pour un approvisionnement local (entre 1800 et 2200 m d'altitude).

La fourchette chronologique comprise entre la deuxième moitié du XIe et la première moitié du XIIe siècle, correspond à une recrudescence du Pin cembro, notamment dans les secteurs situés à 2100 m d'altitude. Ces fréquences dans le combustible utilisé atteignent 20 % à Faravel I. Lors de cette campagne de travaux, les boisements exploités par les mineurs seraient donc plutôt situés au-delà de 2100 m d'altitude. L'apparition de *Pinus* type *P. sylvestris* et le spectre atypique de la Tranchée Amont (utilisation de genévriers et de Raisin d'ours), excavée entre la deuxième moitié du XIe siècle et la fin du XIIe siècle, appuie l'hypothèse d'une extension du territoire d'approvisionnement vers les hauts versants d'adret fortement ouvert et dégradés. Ce changement des stratégies d'approvisionnement peut s'expliquer par l'ampleur des ponctions opérées entre 1900 et 2100 m d'altitude et par un abaissement de la limite supérieure de la forêt dense dominée par *Larix-Picea.* En effet, sa courbe pollinique opère une nette inflexion entre les XIe-XIIe siècle. Par contre, ces résultats ne se corrèlent *a priori* pas avec la courbe pollinique du Pin cembro dont les fréquences sont alors anecdotiques. Or, les travaux pédoanthracologiques menés par B. Talon et A. Ali dans les Alpes du Sud ont démontré que la palynologie enregistre mal les pollens d'arbres provenant d'altitudes supérieures à 2100 m. En effet, la palynologie suggérait que quelques centaines d'années après la dernière glaciation, la limite supérieure des grands arbres était approximativement située en dessous de 2100 m d'altitude. Les données

pédoanthracologiques (Talon *et al.* 1998) attestent la présence généralisée de charbons de bois de Pin cembro et de Mélèze dans les sols jusqu'à 2900 m d'altitude permettant de réviser l'interprétation des données palynologiques où la limite supérieure des arbres avait été sous-estimée (Beaulieu 1977 ; Wegmüller 1977). Cette divergence doit être attribuée au décalage qui existe entre la limite altitudinale des arbres producteurs de pollens et la limite de développement potentiel des espèces ligneuses où les individus, souvent prostrés, peuvent se reproduire par voie végétative sans dépenser de l'énergie dans la voie sexuée (Ali *et al.* 2003b ; Carcaillet *et al.* 1998 ; Ozenda 1985). La synthèse récente des données paléoécologiques (pollens, stomates, macrofossiles) obtenues à partir de six sites des Alpes internes françaises met en évidence l'existence passée de cembraies denses entre 2000 et 2250 m d'altitude dans les Alpes du Sud et du Nord (Muller *et al.* 2006). Ces peuplements, formés autour de 6000 et 6500 cal. BP dans les sites septentrionaux auraient été assez fermés pour filtrer l'apport pollinique régional. Pour soutenir cette hypothèse à l'échelle des Alpes, l'équipe de paléoenvironnementalistes qui s'est penchée sur le sujet, suggère une élévation de la limite supérieure des forêts qui pourrait être attribuée à une hausse des températures. Quant à elle, l'expansion de *Pinus cembra* traduirait une augmentation de la fréquence des incendies, un assèchement du climat et/ou l'immigration de son disséminateur. Sa régression, enregistrée entre 2430 et 2060 cal. BP serait due aux défrichements opérés durant l'époque romaine. L'ouverture de cette « barrière forestière » a été favorable au développement des pelouses et des prairies alpines dans l'étage subalpin et au développement de formations secondaires à *Larix decidua* et *Pinus uncinata* dans l'étage subalpin inférieur (Muller *et al.* 2000). L'ensemble de ces données confrontées à l'anthracologie minière dans le massif des Écrins asseoit notre hypothèse sur les modalités d'approvisionnement en bois de chauffe pour la mine. L'intense pression agropastorale et minière dans les terroirs situés entre 1900 et 2200 m d'altitude ont conduit les mineurs à exploiter des boisements préservés en zone supraforestière (au-delà de 2200 m d'altitude). Le Pin cembro a donc survécu en altitude durant le Moyen Âge central. Ce postulat corrobore les déductions d'A. Durand dans le haut Champsaur à des altitudes comprises entre 2100 et 2300 m. Dans certains secteurs pastoraux, le Pin cembro mêlé à *Pinus* type *P. sylvestris* (*cf. Pinus uncinata*), est même encore très largement dominant au XIe-début du XIIIe siècle (Durand 2004, I, pp. 165-170).

Durant la première moitié du XIIIe siècle, période probablement à rattacher à une ultime phase de recherche minière médiévale, la quête de combustible dans les hauteurs, amorcée au XIe-XIIe siècle, s'accentue de façon franche. Les pins de haute montagne, *Pinus cembra* et

Pinus type *P. sylvestris*, composent plus de la moitié du combustible utilisé. Leurs rapports de proportions indiquent même leur sursélection par rapport à *Larix-Picea*. Le territoire d'approvisionnement paraît presque exclusivement tourné vers les derniers massifs boisés d'altitude (ravins, combes). La strate arborée de la limite supraforestière serait alors constituée de Pin cembro mélangé au Mélèze et/ou Épicéa (*cf.* Mélèze) et à *Pinus* type *P. sylvestris.* Cette interprétation est encore une fois parfaitement corroborée par la palynologie qui enregistre l'extinction du mélézin entre 1900 et 2100 m d'altitude.

Les données anthracologiques minières ne révèlent en aucun cas un transport de bois provenant de l'étage montagnard et du fond de la vallée. La présence du Pin cembro, dont les fréquences sont variables en fonction des stratégies d'approvisionnement, est un indice fiable. Les mineurs, après avoir ponctionné copieusement le mélézin subalpin, ont cherché leur combustible toujours plus haut en altitude. Ils ne se rabattent que de façon très marginale sur les ligneux bas. D'abord localisé dans les massifs forestiers subalpins d'ubac, le territoire d'approvisionnement s'étire progressivement vers les derniers bouquets d'arbres de la zone supraforestière, en ubac comme en adret. On peut avancer comme hypothèse au XIIIe siècle un parcours et un débardage des bois pour la chauffe sur 100 à 300 m de dénivelée au-dessus des sites d'extraction alors qu'au Xe siècle, ils s'approvisionnaient *in situ.* Les mineurs montent chercher leur bois de chauffe tandis que les agropasteurs opèrent une tendance inverse au XIIIe siècle pour le combustible domestique.

Interactions et divergences des modalités d'approvisionnement minières et agropastorales

L'écriture de ce dernier chapitre a pour objectif de comparer les modalités d'approvisionnement en bois de chauffe destiné à des activités domestiques et industrielles. Sont-elles divergentes ou en interaction ? Il ouvre sur la question de la chaîne opératoire technique de l'abattage par le feu mise de côté tout au long de notre discours et qui est traitée dans la dernière partie de ce mémoire. Le problème abordé ici est assez délicat sachant que nous ne disposons pas d'information sur le combustible domestique utilisé entre les Xe et XIIe siècles dans la haute montagne de Dormillouse. Par contre, les données obtenues par A. Durand pour le haut Champsaur éclaircissent ce point et font le relais avec nos données pour les XIIIe et XIVe siècles (Durand 2004, I) (*cf.* pl. 85, p. 1043).

Les essences exploitées

La forêt domestique en haut Champsaur entre les Xe et XIIIe siècles montre des visages parfois différents suivant l'altitude et l'exposition. Les structures agropastorales situées juste au-dessus de 2300 m d'altitude (Chapeau Roux et Cheval de Bois) datées des Xe-XIe siècles et des XIe-début XIIIe siècles par l'analyse radiocarbone, révèlent un approvisionnement très majoritaire dans les formations arborescentes dominées dans un cas par les pins de haute montagne (Pin cembro, Pin de type P. sylvestre) et dans l'autre par *Larix-Picea* (Durand 2004, I, pp. 163-170). Les ligneux bas des landes et landines à Éricacées, en pleine expansion à cette altitude, contribuent à fournir plus d'un tiers du combustible comme à Coste de Tonis au XIVe siècle, mais à 2200 m d'altitude, soit 100 m plus bas. À Clot Lamiande, à 2140 m d'altitude, aux VIIIe-XIe siècles, les résineux de haute montagne composent presque à eux seuls la totalité du combustible qui alimente le foyer d'estive. *Larix-Picea* est dominant avec 56 à 75 % et *Pinus cembra* secondaire avec 19 à 29 % (Durand 2004, I, pp. 171-172 ; *cf.* pl. 85, p. 1043). À la cabane La Barre IV, au Xe siècle à 2200 m d'altitude, le combustible du foyer se compose d'un peu plus d'un tiers de ligneux arbustifs et de 60 % de *Larix-Picea* (Durand 2004, I, pp. 161-163). 100 m plus bas, à Fangeas X, aux XIe-première moitié XIIIe siècles (surtout XIIIe siècle d'après le mobilier), le combustible se compose à plus de 90 % de grands résineux avec *Larix-Picea* très largement dominant (80 %). L'ensemble de ces données indiquent que durant le Moyen Âge central, le combustible domestique se compose majoritairement de bois issus de ligneux arborescents subalpins et supraforestiers, les mêmes qui sont exploités à la mine dans la montagne de Dormillouse entre le Xe et la première moitié du XIIIe siècle. Alors que les ligneux bas ne contribuent pas à alimenter les foyers d'abattage, ils peuvent faire l'objet d'une gestion particulière par les agropasteurs, mise en relation avec l'entretien des espaces ouverts et/ou la diminution des disponibilités environnementales en grand ligneux comme dans les lieux d'approvisionnement situés au-delà de 2300 m d'altitude.

Dès lors, les espaces boisés parcourus par les agropasteurs pour la récolte de bois de chauffe sont-ils les mêmes que ceux qui sont exploités par les mineurs ? *A priori*, les données floristiques sont complémentaires. L'anthracologie minière reflète la fluctuation des rapports de proportions entre les grands ligneux dans la strate arborescente tandis que l'anthracologie

agropastorale complète le spectre floristique en intégrant les formations de ligneux bas et arbustifs.

La forêt domestique est-elle aussi la forêt industrielle ?

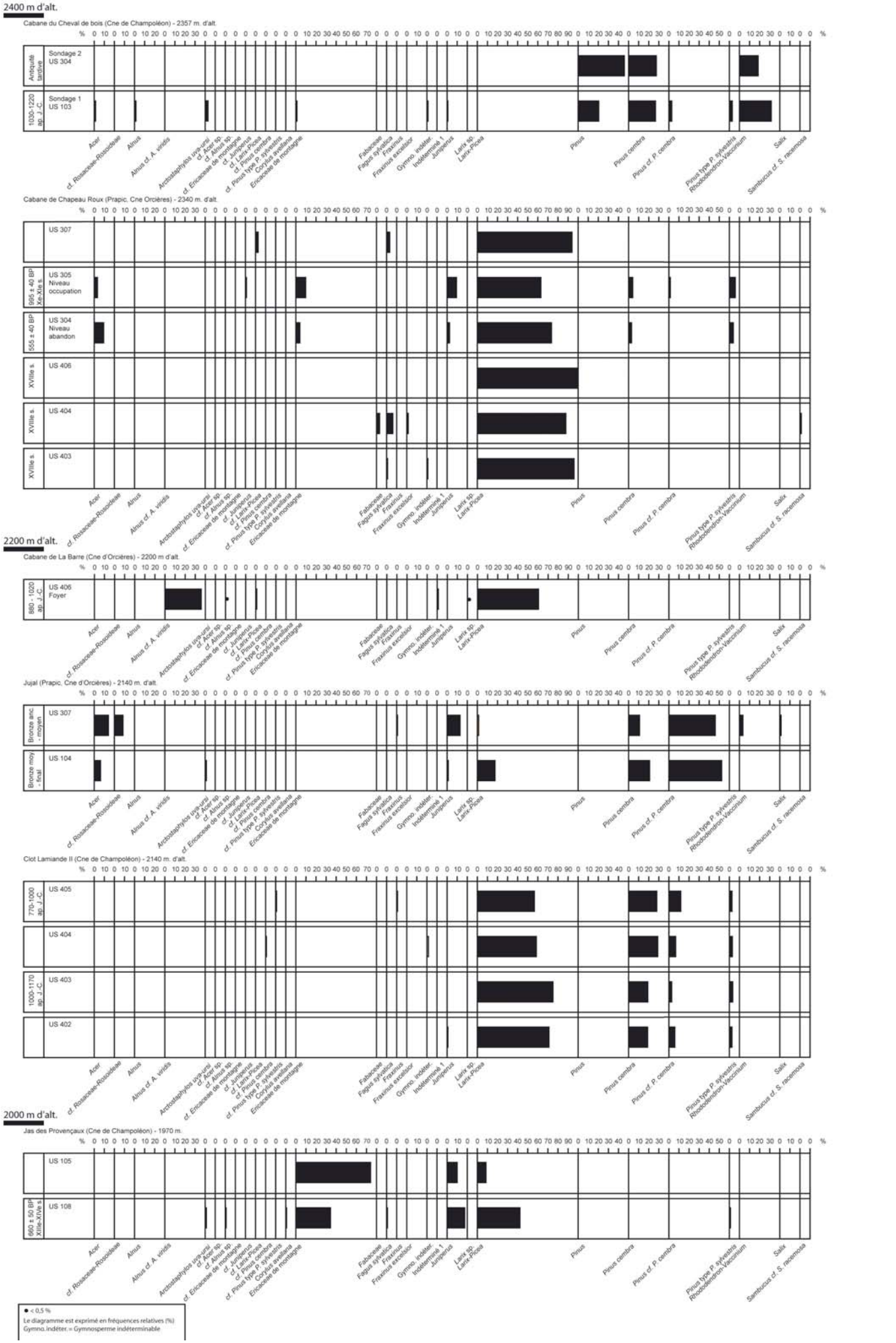
À Fangeas aux XIe-XIIe siècles, les bois (*Larix-Picea*) non carbonisés (quartiers courts) destinés à la chauffe des fronts de taille sont débités dans des billes âgées de 75-100 à 150-200 ans. L'exploitation d'arbres âgés et matures pour les feux d'abattage est confirmée par l'anthracoanalyse pour toutes les phases d'exploitation (Xe-XIIIe siècles). Les cernes courbés sont rares, comme les charbons issus de branchettes ou de brindilles. Ce choix peut aisément s'expliquer en termes de rentabilité ou s'accorder avec un souci de gestion des boisements sur la longue durée. Les individus arrivés à maturité, ceux qui dépérissent ou qui sont trop serrés, sont généralement choisis pour une coupe destinée à la production de bois de chauffe. Les jeunes pieds sont préservés pour la régénération des boisements. Ces informations indiqueraient que les forêts situées dans le territoire d'approvisionnement des mineurs étaient composées non seulement d'individus jeunes, par ailleurs utilisés pour les boisages et l'étayage, mais d'individus matures à âgés. Les déboisements pratiqués ne sont donc pas réalisés à blanc. La combinaison des individus d'âge différents prélevés sur un même site coïncide avec l'image d'une forêt ouverte, occupée, pâturée, où se côtoient différents groupements d'âges liés aux aléas de son histoire. Seules les forêts cultivées pour la production de bois d'œuvre se composent d'individus proches en âge et en calibre.

Concernant les foyers domestiques des structures agropastorales du haut Champsaur, seul celui de la cabane de La Barre indique l'usage de très faibles calibres concernant la récolte dans les boisements arbustifs. Les calibres des bois provenant de *Larix-Picea* compris entre 0,2 et 2,5 cm de diamètres, sont également faibles, mais ne représentent pas une majorité du corpus. Le recours à des bois de plus fort calibre est probable, mais demeure hypothétique. À Fangeas X, les bois de faible calibre coïncident avec la récolte de ligneux bas qui est totalement marginale. Le reste du combustible provient de bois tirés de fortes branches et/ou de bois de tronc refendu. Le territoire d'approvisionnement est localisé dans les deux cas dans des formations arborescentes de reconquête dominées par *Larix-Picea*.

À Fangeas, il est donc probable que les mineurs et les agropasteurs ont côtoyé les mêmes massifs boisés situés en marge des terroirs agrosylvopastoraux, du moins entre les Xe

et XIIe siècles. Par contre, à partir du XIIIe siècle, lorsque les agropasteurs glanent du combustible dans les boisements de reconquête repliés sous la barre des 2000 m d'altitude, là où se pratique le pacage sous forêt, les mineurs cherchent des boisements plus matures dans les massifs boisés d'altitude pouvant se développer au-delà de la barre des 2300 m d'altitude. Lorsque l'agropasteur se contente de bois mort et de branchages, le mineur lui arpente les sommets pour prélever du bois de tronc.

PLANCHE N°85 : DIAGRAMME ANTHRACOLOGIQUE DE SYNTHÈSE DU HAUT-CHAMPSAUR



PARTIE IV

ÉLÉMENTS POUR UNE HISTOIRE CULTURELLE ET TECHNIQUE DU FEU MINIER

> « Le sujet du travail par le feu particulièrement fascinant, même pour le moins doué des étudiants en école des mines. »[192].

L'abattage par le feu est mis en œuvre de façon récurrente dans les mines médiévales alpines et dans la plupart des mines occidentales protohistoriques, antiques et médiévales exploitées en roche dure. Il nécessite un approvisionnement régulier en bois de feu dans des quantités probablement importantes. Comme nous avons pu le voir à travers les exemples du Fournel et de Faravel-Fangeas, il conditionne fortement la morphologie des ouvrages, des déblais, et les stratégies d'exploitation. Pour cette raison, le feu tient une place privilégiée dans l'organisation des chaînes opératoires techniques. Or, la conduite du feu minier et la gestion du combustible associée est fort peu documentée par les sources textuelles, particulièrement dans notre fenêtre d'étude, et demeure, pour cette raison, peu étudiée pour elle-même, alors qu'elle conditionne toute la chaîne opératoire technique. Pourtant, étudiés jusqu'à présent dans une perspective paléoenvironnementale, les charbons de bois archéologiques miniers portent les stigmates de pratiques qu'il faut déchiffrer en prêtant une attention particulière à des paramètres peu étudiés jusqu'à présent afin de mieux caractériser le calibre et l'état phénologique du combustible. De façon à réaliser une lecture plus pertinente des traces mises au jour par l'archéologie minière, l'étude du feu minier passe aussi par une enquête sur les sources écrites et anthropologiques et par le recours à l'expérimentation sérielle. Les traités et les rapports des ingénieurs qui se sont passionnés sur ce sujet renferment quelques précieuses images qui mettent en scène l'homme, le bois et le feu. Depuis la Renaissance, le corpus de textes savants ne révèle pas que les formes du savoir, mais aussi leur imaginaire, qu'il convient d'étudier. Les données archéologiques et historiques sur le savoir-brûler minier existent, mais elles n'ont pas encore été rassemblées, mises en corrélation, confrontées pour écrire une histoire culturelle du feu minier, des pratiques et des gestes techniques. Pour cette raison, l'objectif de cette dernière partie est de pallier ce manque grâce à une analyse croisée des données écrites, iconographiques, archéologiques, expérimentales et anthracologiques. Elle conduit à une restitution détaillée de la chaîne opératoire de l'extraction par le feu, depuis l'exploitation en forêt jusqu'au front de taille.

[192] Propos de M. Bennet H. Brough (Londres) cité par le docteur C. Le Neve Foster (1893), *in :* COLLINS (A. L.), Fire-sitting : the art of mining by fire, *Journal of Federate Institute of mining engineers*, V, 1893, pp. 88-92.

I. L'ABATTAGE PAR LE FEU : SAVOIR, TECHNIQUES, PRATIQUES[193]

> L'utilisation du feu pour abattre et broyer la roche est assurément une des grandes découvertes de la race humaine, et elle a causé une révolution dans l'activité minière (Stoces 1954, pp. 28-29).

Depuis la nuit des temps, le feu fascine. Progressivement dompté par l'homme, il est entré dans leur quotidien pour chauffer, cuire, sécher, fumer, et dans leur travail pour transformer la matière. Lors d'un incendie de forêt ou à l'occasion d'un feu de campement, l'homme a pu constater que le feu avait le pouvoir de fendre ou d'altérer les roches même les plus dures. Il a ainsi très tôt compris l'utilité de maîtriser cette source d'énergie pour attaquer et découper les roches qui résistaient aux outils en pierres, en bois, en os ou en corne, et même en métaux. La mention écrite la plus ancienne de cet usage est consignée dans la Bible (Job 28, 1-10) (Bromehead 1954, pp. 564-565 ; Sandström 1963, p. 25). Les premières attestations archéologiques remontent au Paléolithique pour l'extraction du silex et du quartz (Weisgerber, Willies 2001). Les dernières applications de cette technique ancestrale remontent au début du XXe siècle.

Deux phénomènes physiques entrent en jeu dans ces attaques par le feu : la dilatation différentielle ou la transformation chimique de la roche. Comme pour beaucoup de matériaux solides, le chauffage entraîne une augmentation du volume de la roche qui peut être sans conséquence s'il se produit de manière lente et homogène. Par contre, si le chauffage est violent, le surface se dilate plus vite que l'intérieur de la roche. Il se produit alors de fortes tensions entraînant sa fissuration et son écaillage. Ce phénomène est appelé « étonnement ». Contrairement aux roches plastiques, déjà fissurées ou litées, sur lesquelles l'action du feu est discrète, les manifestations de l'étonnement sont d'autant plus prononcées lorsque la roche est dure et homogène. L'action du feu peut aussi modifier la structure minéralogique de la roche,

[193] Un important travail de rassemblement de la documentation écrite et iconographique concernant la technique d'abattage par le feu est mené de pair avec B. Ancel depuis le début de notre thèse. Nous sommes sur le point d'achever la réalisation d'une base de données diachroniques qui doit servir à la publication d'un ouvrage ou d'un important article de synthèse sur cette technique. À ce jour, 800 références ont été recensées. Nous avons rédigé une première synthèse grand-public dans la revue Archéopage (Ancel, Py 2008).

comme transformer un calcaire en chaux, et la rendre plus tendre superficiellement. Pour toutes ces raisons, le feu est devenu très tôt un outil à tout faire, adapté à de multiples contextes de travail : terrassement, carrière, voierie, militaire et minier. L'assimilation de la technique à l'air libre avec la technique minière, malgré leur similitude, mérite quelques précisions.

I.1. UN « OUTIL » À TOUT FAIRE

De prime abord, le principe du travail par le feu paraît simple : il faut chauffer la surface de la roche à attaquer à l'aide d'un feu de bois. Lorsqu'elle est refroidie, la roche fragilisée qui n'est pas tombée seule est purgée au moyen d'un outil à percussion posée ou lancée. Alors, un nouveau feu peut être lancé. Quand le travail est abouti, les parois rocheuses montrent une surface lisse et concave, elles sont noircies par la suie, et les déblais de taille sont riches en écailles de roche et en charbons de bois. L'action répétée de plusieurs feux attaque la roche plus en profondeur. *A priori*, le phénomène de dilatation est efficace si la montée en température de la roche a lieu de façon rapide. Au contraire, si le chauffage a lieu progressivement, il ne va pas provoquer d'étonnements spectaculaires.

La combustion d'un bûcher de bois ou de tout autre combustible dégage de la fumée irritante voire mortelle dans un milieu confiné. De surcroît, le chauffage de certaines roches, des minerais en particulier, produit des gaz toxiques comme des vapeurs sulfureuses ou d'arsenic. De ce fait, le travail par le feu ne peut pas être conduit de la même manière à l'air libre ou au fond d'une cavité souterraine. Sous terre, la chaleur dégagée pendant la combustion du bûcher rayonne comme dans un four. Une fois le bûcher allumé, accompagné de fumées, le feu empêche toute intervention humaine avant plusieurs heures. Par contre, à l'air libre, le bûcher, qui peut recouvrir complètement la surface à attaquer, peut être alimenté à volonté. Dans ce cas, après la combustion totale des bois, il est possible de dégager les braises avec un outil adapté et de procéder à un refroidissement rapide de la surface attaquée en projetant de l'eau. Beaucoup d'auteurs ont ainsi mélangé le travail par le feu à l'air libre et en souterrain, et ont affirmé un usage combiné du feu et de l'eau en contexte minier alors qu'il n'a été que tout à fait exceptionnel.

La résistance d'une roche varie selon sa composition d'origine et son état d'altération. Sa cohésion interne dépend notamment de sa porosité, des minéraux constitutifs et de leur assemblage. Ainsi, les roches courantes les plus dures sont d'origine magmatique, comme les granites et les laves, et d'origine métamorphique, comme certains gneiss, les calcaires silicifiés, les marbres et les quartzites. La substance exploitée peut elle-même présenter une dureté importante, comme l'émeri, le jade, les imprégnations de sulfures ou les gangues de quartz. Quelle que soit sa nature, une roche s'effrite sans problème lorsqu'elle est naturellement fissurée. De même, elle est entaillée sans difficulté lorsqu'elle est altérée en surface par les intempéries ou en profondeur par les circulations hydrothermales. Un litage ou une fracturation facilite l'extraction de blocs, fracassés à coups de masse.

Aujourd'hui, le recours au feu pour la destruction de roches à l'air libre semble tout à fait singulier. Par contre, des mentions dans la littérature technique et savante révèlent qu'il a été courant en Afrique[194], en Asie[195] (Craddock 1996, p. 10) et en Amérique[196] jusqu'au milieu du XXe siècle, et en Europe[197] jusqu'au milieu du XIXe siècle. Son usage intervient dans des contextes variés souvent pour régler un problème ponctuel comme détruire des rochers trop durs pour être désagrégés manuellement ou par forage et explosif, ou encore trop lourds et volumineux pour être déplacés. Ainsi, l'abattage par le feu apparaît à l'occasion d'un épierrage de champ, du traçage d'une route[198] ou d'un canal. La méthode a aussi été utilisée pour l'extraction de roches dures en carrières, comme les granites ou le jaspe[199]. Avec des petits feux bien dirigés, il est possible de contrôler le développement de fissures pour détacher de gros blocs ou de grandes dalles. Dans des carrières de granites du Sud de l'Inde, elle a perduré jusque dans les années 1990 (Rickard 1938, p. 24 ; Craddock 1996). Son application

---

[194] LABAT (J.-B.), *Relation historique de l'Éthiopie occidentale*, t. 4, Paris, 1732, p. 442 ; BURTON (R. F.), *Wanderings in West Africa from Liverpool to Fernando Po*, vol. I, London, 1863, pp. 226-227 ; RECLUS (É.), *Nouvelle Géographie Universelle*, XII, Paris, 1887, p. 346.

[195] COLLINS (A. L.), Fire-setting : the art of mining by fire…, pp. 82-92.

[196] AMPERE (J. J.), *Promenade en Amérique. Etats-Unis-Cuba-Mexique*, Paris, 1855, I, chap. XVIII, p. 238 ; HATON de la GOUPILLIÈRE (J. N.), *Cours d'exploitation des mines*, Paris, 1907, p. 224.

[197] GAUTIER (H.), *Traité de la construction des chemins*, Paris, 1721, p. 288 ; DUTENS (L.), *Mémoires d'un voyageur qui se repose*, t. III, Paris, 1805, pp. 34-35 ; ANONYME, Lettres écrites de Lausanne, *Revue Suisse et Chronique Littéraire*, t. 12, Neuchâtel, 1849, p. 528 ; LE NEVE FOSTER (C.), L'exploitation des carrières, *Revue Universelle des Mines*, 3ème série, t. XXXV, p. 281.

[198] Voir par exemple Campbell 1909 concernant le traçage d'une route par le feu dans le Parc de Yellowstone.

[199] LAHARPE (J.-F.), *Abrégé de l'Histoire Générale des voyages*, t. VIII, Paris, 1820, livre V, p. 428 (exploitation du Jaspe en Petite Boukharie).

au percement de tunnel est tout à fait exceptionnelle[200]. En 1861, A. Daubrée publie ses expériences conduit en laboratoire avec un chalumeau à oxygène et hydrogène pour percer des échantillons de quartzites très dures[201]. La chaleur intense produite rapidement et dirigée sur une zone circonscrite du rocher, fait décrépiter la roche et permet de la forer. Il conseille alors aux ingénieurs italiens, pour le percement du tunnel du mont Cenis, d'appliquer cette technique modernisée (Dubois 1996, p. 42). Mais, ce problème a été résolu de manière plus pratique avec l'utilisation de l'air comprimé et des perforatrices[202].

Avant que l'usage de la poudre ne se généralise en Europe dans le courant du XVIIe siècle, l'abattage par le feu devait être une technique très répandue, mais elle demeure peu documentée. Dans la littérature moderne et contemporaine, il est parfois précisé que l'étonnement était obtenu par un refroidissement brutal de la roche échauffée par projection d'eau[203]. Inutile puisque le feu agit seul sur la roche, ce recours à l'eau peut être justifié dans certains cas. Le chauffage d'une roche était souvent réalisé avec des bois trouvés (bois mort) ou coupés au dernier moment (bois vert), donc pas toujours bien secs. L'allumage du bûcher était par conséquent plus poussif et la combustion des bois plus longue. Dans ces conditions, il est difficile d'obtenir un véritable choc thermique puisque la montée en température est lente. Cependant, la perte de chaleur liée à l'humidité du bois et à l'aération de l'espace de travail peut être en partie compensée par une réalimentation régulière du bûcher jusqu'à une parfaite chauffe du matériau. D'ailleurs, dans tous les cas évoqués dans la littérature, l'eau est projetée sur la surface traitée après la combustion totale du bûcher et non lorsque le feu bat son plein. Alors, le mérite le plus grand de l'aspersion d'eau est de refroidir l'espace de travail pour une intervention rapide des ouvriers, et non pas de provoquer un choc thermique nécessaire à la dilatation et à l'étonnement de la roche. De plus, dans certains textes qui évoquent ce recours à l'eau, il s'agit d'abattages réalisés dans des conditions presque

[200] DRINKER (H. S.), *Tunneling, explosive compounds, and rock drill*, New-York, 1878, pp. 1-2.

[201] DAUBRÉE (A.), Emploi de la chaleur et de la décrépitation qu'elle peut produire pour le percement de certaines roches très dures, et notamment des quartzites, *Annales des Mines*, 5ème série, XIX, Mémoires, 1861, pp. 23-25.

[202] HABETS (A.), *Cours d'exploitation des mines*, I, Liège, 1906, pp. 142-143.

[203] LABAT (J.-B.), *Relation historique…*, p. 442 ; ANONYME, Méthode pour fendre les rochers par l'action du feu, par le Dr. J. Mac-Culloch, *Bulletin des Sciences Technologiques*, t. III, 1825, pp. 166-167 ; HENRY (D. M. J.), *L'Égypte pharaonique, ou Histoire des institutions des Égyptiens sous leurs rois nationaux*, t. II, Paris, 1846, p. 250 ; BURTON (R. F.), *Wanderings in West Africa…*, pp. 226-227.

expérimentales[204] (anonyme 1921). Dans ces cas, l'aspersion d'eau relève plus de la croyance (nécessité de rassembler les quatre éléments) que de la pratique.

La plus ancienne évocation de la technique de l'abattage par le feu à l'air libre est relative au célèbre passage de l'armée d'Hannibal à travers les Alpes en 218 av. J.-C.[205] Au moment de la descente du col, les terrassiers devaient rétablir en trois jours un chemin effondré, l'élargir pour le passage des éléphants et détruire un obstacle rocheux en l'attaquant par le feu. Longtemps interprété comme fabuleux[206], l'usage du feu par l'armée d'Hannibal apparaît aujourd'hui comme très probable[207], même si Polybe n'en fait pas mention. Cette épopée alpine étant un fait historique marquant, elle a été abondamment reprise dans la littérature minière dès la Renaissance de façon à marquer l'ancienneté de cet usage[208] (Holman 1927, pp. 239-240). Dans les versions de Tite-Live, d'Appien et d'Ammien Marcellin, il est question d'une aspersion de vinaigre qui a été l'objet de fascinations et d'innombrables commentaires, discussions et polémiques[209] (Feldhaus 1914 ; 1965, pp. 307-308 ; Sage 1922, p. 75 ; Holman 1927, pp. 239-240 ; Davies 1935, pp. 21-22 ; Frassinetti 1950 ; Deman 1962 ; Sandström 1963, p. 28 ; Ramin 1977, p. 62 ; Healy 1978, p. 85 ; Rosumek 1982, p. 25 ; Dubois 1996, p. 34 ; Téreygeol 2001, I, p. 117, p. 131, n. 152 ;

---

[204] LABAT (J.-B.), *Relation historique…*, *ibid*.

[205] TITE-LIVE, *Histoire romaine*, livre XXI, 37 ; SILIUS ITALICUS, *Les guerres puniques*, livre III ; APPIEN, *Histoire romaine*, Livre V (le livre d'Hannibal), IV, 15 ; JUVENAL, *Satire X*, vers 151-153 (et scholie, X, 153) ; AMMIEN MARCELLIN, *Histoire*, livre XV, 10, 11. Polybe est le seul historien antique à ne jamais mentionner l'usage du feu par l'armée d'Hannibal pour ouvrir un passage étroit dans le défilé des Alpes, POLYBE, *Histoire*, livre III, 48.

[206] DUTENS (L.), *Mémoires d'un voyageur…*, pp. 34-35.

[207] Une équipe de chercheurs canadiens et anglo-saxons a démontré grâce à des analyses *ToF-SIMS réalisées sur des échantillons de roches, que des feux ont bien été pratiqués sur la route du Col du Clapier, une des possibles voies empruntée par l'armée d'Hannibal. Cependant, rien de permet d'affirmer que ces feux d'abattage sont bien l'œuvre de l'armée du chef carthaginois (Sodhi *et al.* 2006).

[208] AGRICOLA (G.), *De Re Metallica*, trad. de France Lanord, 1987, livre V ; GARRAULT (F.), Des mines d'argent trouvées en France, 1579, *in* : GOBET (N.), *Les anciens minéralogistes du Royaume de France*, I, 1779, pp. 48-49 ; HOOSON (W.), *The Miners Dictionary*, Wrexham, 1747, *cf.* « fireing » ; AMEILHON, Premier mémoire sur la métallurgie des anciens. Exploitation des mines d'or, *Mémoires de Littérature*, tirés des registres de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, t. 46, Paris, 1793, pp. 490-493 ; BRARD (C. P.), *Éléments pratiques…*, pp. 120-122 ; BURAT (J.), Les mines du Harz, *Annuaire de l'économie politique pour 1846*, 3ème année, Paris, 1846, pp. 305-314 ; SIMONIN (L.-L.), *La vie souterraine ou les mines et les mineurs*, Paris, 1867, pp. 459-461 ; MAXIME (V.), *Les galeries souterraines*, Paris, 1876, p. 41 ; DRINKER (H. S.), *Tunneling…*, pp. 1-2.

[209] BLÜMNER (H.), *Technologie und terminologie der gewerbe und künste bei griechen und römern*, IV, reproduction de l'édition de 1887, Leipzig, 1969, p. 115, n. 2 ; BERTHELOT (M.), Lettre à M. E. Havet sur l'emploi du vinaigre dans le passage des Alpes par Annibal, *Journal des Savants*, août 1889, pp. 508-511 ; *Histoire des Sciences. La chimie au Moyen Âge*, 1893, pp. 370-375 ; COLLINS (A. L.), Fire-setting : the art of mining by fire…, pp. 82-92.

Weisgerber, Willies 2001, p. 132). À l'heure actuelle, il est communément admis que cet usage doit être attribué à une corruption des textes ou à une croyance (Sandström 1963, p. 28). L'action combinée du feu et du vinaigre, pour venir à bout des roches les plus récalcitrantes, est décrite par Pline l'Ancien[210] et par Vitruve[211] probablement inspirés par le récit de Tite-Live (Sandström 1963, p. 28). Pline l'Ancien suggère que la technique de terrassement adoptée par l'armée d'Hannibal était couramment usitée pour l'exploitation des mines espagnoles du chef carthaginois[212]. Pour Galien, le vinaigre agit à la façon du feu pour attaquer les pierres, le cuivre, le fer, le plomb, et les pénétrer[213]. Les propriétés corrosives du vinaigre sont également mises en avant par Vitruve[214]. Or, le vinaigre était surtout connu par les Grecs et les Latins pour ses propriétés réfrigérantes[215]. Comme pour l'eau, son apport en tant qu'adjuvant doit être perçu en relation avec son action réputée pour éteindre un feu efficacement et refroidir le matériau avec lequel il entre en contact[216] (Domergue 1990, p. 412). Il existe bien une cohérence dans cette association improbable. Toutefois, son usage par l'armée d'Hannibal doit être perçue non pas comme un fait véridique, mais comme un moyen de valoriser la puissance et la richesse de l'armée carthaginoise, n'hésitant pas à utiliser une quantité fabuleuse de vinaigre[217] pour avancer dans le défilé des Alpes. Elle a été de cette manière reprise et adaptée par d'autres peuples pour valoriser le génie de leurs héros ou de leur armée[218]. Malgré tout, l'association feu-vinaigre pour ouvrir ou réduire des blocs de

[210] PLINE L'ANCIEN, *Histoire Naturelle*, livre XXIII, 27, XXVII, 54.

[211] VITRUVE, *De l'architecture*, livre VII, 19.

[212] PLINE L'ANCIEN, *Histoire naturelle*, livre XXI, 71. L'idée est notamment reprise par A. Deman qui généralise de façon totalement abusive cet usage à toutes les mines alpines et espagnoles (Deman 1962, p. 92).

[213] GALIEN, *Opera omnia – De Simplicium medicamentum facultatibus*, livre I, XXII.

[214] VITRUVE, *De l'architecture*, livre VII, 18.

[215] PLINE L'ANCIEN, *Histoire Naturelle*, livre XXIII, 27, XXVII 54, livre XXXIII, 30, XXX ; GALIEN, *Opera omnia…*, livre I, XIX ; AULU-GELLE, *Nuits Attiques*, livre XVII ; MACROBE, *Les saturnales*, livre VII, chap. VI.

[216] THÉOPHRASTE, *De igne*, 25 ; PLUTARQUE, *Œuvre morales*, Propos de tables, livre III.

[217] D'après A. Deman, en supposant qu'il ait fallu déblayer au moins 2000 m^3 de roche, il aurait fallu environ 60000000 litres de vinaigre à 10 % pour réaliser l'opération !

[218] LE CLERC, *Histoire physique, morale, civile et politique de la Russie ancienne*, t. II, livre cinquième, Précis historique des Tatars, Paris, 1783, section XVI, p. 18 ; DE HAMMERT (J.), *Histoire de l'Empire Ottoman*, t. 9, Paris, 1837, p. 224 (insurrection en Syrie) ; CENAC-MONCAUT (J. E. M.), *Histoire des Pyrénées et des rapports internationaux de la France avec l'Espagne depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours*, t. II, 1853, pp. 5-6. Dans acte daté de 1480 délivré par l'empereur Frédéric III, on trouve mention de l'usage du feu et du vinaigre pour le percement du tunnel de la Traversette (voir anonyme 1914).

roches, persiste dans la tradition orale jusqu'au milieu du XIXe siècle[219]. Symbole du chaud contre le froid, elle trouve ses origines dans les textes pré-alchimiques (intervention des quatre éléments). Elle existe aussi dans d'autres anciens récits d'Asie Centrale[220].

L'usage du feu pour les travaux de terrassement ou de carrière est très mal connu pour l'époque médiévale. Les dépouillements entrepris sur des séries d'actes de la pratique sud-alpins ont permis de recenser deux textes datés de 1397 et 1398[221], déjà étudiés par N. Nicolas dans sa thèse sur le coût de la mise en défense des châteaux du Haut-Dauphiné (1360-1400) (Nicolas 2002). En 1397, le gouverneur Jacques de Montmaur requiert des avis divers pour aménager dans la cour du château de Château-Queyras une citerne quadrangulaire profonde de 3,5 cannes (6,55 m) et large de 2,5 cannes (4,68 m) pour récupérer les eaux pluviales et contenir jusqu'à 3000 setiers d'eau. Son coût s'élève à 80 florins. Le bois nécessaire en très grande quantité pour brûler et déliter la roche représente à lui seul la moitié du prix fixé. Il n'est jamais question d'une utilisation combinée de l'eau.

En 1398, le maçon, Bertrand de *Subina*, renonce à creuser la citerne à cause de la dureté de la roche[222]. Il ne peut la tailler à moins d'y mettre le feu. Comme la citerne n'est pas achevée en 1419, le prix-fait est concédé à un certain Bertrand de *Lazer* et à un second maçon. Les travaux se terminent en 1420, soit 23 ans plus tard. D'après les échéances de paiement, N. Nicolas conclut que ce retard n'est nullement anecdotique, mais lié aux difficultés rencontrées par les maçons pour creuser le roc à l'aide du feu (intempéries, difficultés à garder le bois sec ?). Les maçons ont mis 23 ans pour abattre environ 200 m^3 de roche. Cette quantité est considérable et justifie la très forte consommation en combustible. Il faut ajouter à la dureté de la roche la nécessité de travailler à la verticale et du haut vers le bas. À travers ces

---

[219] ROLLIN (C.), *Histoire ancienne des Egyptien, des Carthaginois, des Assyriens, des Babyloniens, des Mèdes et des Perses, des Macédoniens, des Grecs*, vol. V, Paris, 1740 ; ATHENAS, *Du passage des Alpes par Annibal et de l'emploi du vinaigre pour rompre les pierres*, Le Lycée Armoricain, Nantes, vol. X, 1827, p. 217.

[220] HERBELOT (B.) *et al.*, *Bibliothèque orientale ou dictionnaire universel contenant tout ce qui fait connaître les Peuples de l'Orient*, tome IV, Paris, 1769, p. 306.

[221] *« Et opportet ibidem pro duricia ruppis ponere ignem pro ipsa fragenda cavanda plusque IIII^{XXX} fl. supra dicta* […]. *Et pro dicta citerna ad precium factum tradita VIII^{XX} fl. de quibus detrahi deberentur XL fl. vel circa pro lignis et manuobris necessaries pro comburendo ruppem et extrahendo seu removendo lapides a loco in quo fiet dictam ruppis de quibus providere tenentur universitatis unius castelliane quia in parte ipsas solvit et residium »*, A.D.I., 8 B 671, f° 143 r°/v°, 9 juillet 1397 et f° 143 v°-146 v°, 21 mai 1398, Château-Queyras (Nicolas 2002, p. 373).

[222] *«* […] *dimitendo dictam citernam eo quia cocet magister ipsam facientem seu cavantem, habere octies viginti fl. quia ruppis est epessura et dura et frangere bene non posset quia opportet ibidem propter duricia ruppis ponere ignem pro ipsa fragenda cavenda. »*, A.D.I., 8 B 671, f° 145 v°-146 r°, 21 mai 1398 (Nicolas 2002, p. 373).

documents, il est impossible de se faire une idée de la manière de procéder empruntée par les maçons, ni de leur niveau de technicité. Par contre, on peut constater la relative lenteur du procédé et son faible rendement pour un ouvrage vertical creusé dans une roche très dure.

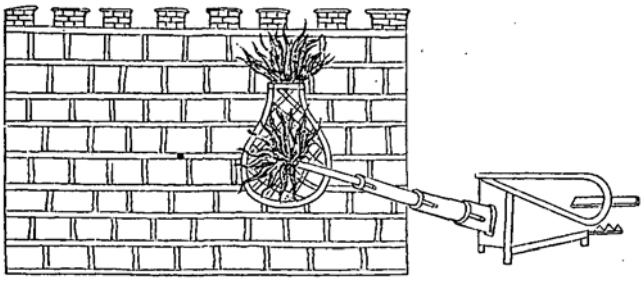


Fig. n°85 : Forge portative décrite et illustrée dans les Poliorcétiques d'Apollodore de Damas.

L'usage du feu a connu une application militaire pour le siège des cités fortifiées[223]. Thucydide en offre le plus ancien récit connu[224]. Il a été décrit précisément par Apollodore de Damas dans ses Poliorcétiques[225] et a été mis en œuvre de façon marginale jusqu'à la fin du Moyen Âge[226]. En effet, dans l'art du siège, le feu ne joue qu'un rôle très ponctuel. Il permet d'amorcer le creusement d'un pan d'une muraille lorsque les sapeurs sont confrontés à des pierres massives très dures. L'opération consiste à mettre le feu au pied de la muraille pour desceller plusieurs blocs et créer une ouverture pour y développer une sape conventionnelle. Apollodore de Damas explique que les feux allumés aux pieds des murs en pierre sont continuellement menacés par les jets d'eau versés par les assiégés du haut des murailles. De plus, l'action des flammes, qui tendent toujours à s'élever, est faible sur les remparts. Pour parer à ces désagréments, on peut faire usage de « forges portatives » : il s'agit de jarres en terre cuite, cerclées de bandes de fer, ouvertes dans leur partie inférieure. Elles sont remplies de charbon de bois, et reliées à un tube de fer communiquant avec un soufflet de forge. Ces

---

[223] Pour compléter ce chapitre, il conviendrait d'éclaircir le problème des forts vitrifiés. Au moyen du feu, les pierres de construction auraient été littéralement fondues en surface de façon à obtenir un matériau résistant. Ce sujet, qui a fasciné des érudits entre la fin du XIXe et le début du XXe siècle, n'a jamais été réellement approfondi (voir par exemple : PREVOST (F.), *Mémoire sur les anciennes constructions militaires connues sous le nom de forts vitrifiés*, Saumur, 1863, 47 p. et Autorde 1908). Sans être vraiment explicite, P. Fustier fait le rapprochement entre l'existence de murs vitrifiés et l'usage de l'abattage par le feu (Fustier 1968, p. 80), comme l'avait déjà fait avant lui J. N. Haton de la Goupillière : HATON de la GOUPILLIÈRE (J. N.), *Cours d'exploitation des mines*, t. I, Paris, 1883, pp. 167-170.

[224] THUCYDIDE, *La guerre du Péloponnèse*, livre IV, C.

[225] APOLLODORE DE DAMAS, *Les Poliorcétiques*, chapitres III et IV.

[226] CHERESEDDIN (A.), *Histoire de Timur-Bec, connu sous le nom de grand Tamerlan, empereur des Mogols & Tartares*, (trad. Pétis de La Croix), t. 3, Paris, 1722, p. 337 (prise du château de Damas par Tamerlan en 1411) ; MARGAT DE TILLY (J.-B.), *Histoire de Tamerlan, empereur des Mogols et conquérant de l'Asie*, t. 2, Paris, 1739, p. 317-319 ; MEYER (M.), Manuel Historique de la technologie des armes à feu, *Journal des Sciences Militaires*, tome XI, 2ème série, 1835, pp. 31-83 ; CHATEAUBRIAND (F.-R. de), Études historiques, troisième discours sur la chute de l'empire romain, la naissance et les progrès du christianisme et l'invasion des Barbares, *Œuvres complètes*, t. II, 1836, p. 118.

forges sont les ancêtres de l'appareil de Hugon adapté pour l'extraction minière, notamment pour l'exploitation des mines du Grand-Clot dans les Hautes-Alpes (fig. n°85, p. 1056).

Les vestiges archéologiques de ces applications du feu dans des contextes de génie civil, de carrières ou militaires, ont été très rarement observés. On doit attribuer cette carence au manque d'intérêt de la communauté scientifique, mais aussi à des problèmes de conservation. Les surfaces rocheuses qui portent les stigmates de cet usage sont aujourd'hui masquées ou défigurées par les intempéries ou des reprises de travaux et les déblais sont dispersés, remobilisés, mélangés.

I.2. UNE SPÉCIALISATION MINIÈRE

Contrairement aux autres applications, l'usage minier du feu a laissé une abondante littérature et iconographie surtout modernes et contemporaines, et de nombreux témoignages archéologiques. Partout dans le monde, depuis la Préhistoire et jusqu'à l'usage généralisé de la poudre, dès que les roches étaient trop dures, les mineurs ont eu recours à l'abattage par le feu. Les exemples de travaux miniers protohistoriques, antiques et médiévaux ouverts par le feu sont très nombreux. Dès le XIXe siècle, à l'occasion de reprises d'exploitations, les ingénieurs des mines décrivent ces ouvrages caractérisés par des parois lisses et concaves. Avec le développement de l'archéologie minière, de nombreux sites et vestiges ont été étudiés de façon plus ou moins détaillées, pour toutes les époques, surtout en Europe, et pour l'exploitation de diverses substances minérales (Ancel 1998a ; 1998b ; Bailly-Maître, Bruno-Dupraz 1994 ; Bailly-Maître 1996 ; 2002, pp. 73-82 ; Cauuet 1999, pp. 31-87 ; Domergue 1990, p. 133 et p. 414 ; Dubois 1990 ; 1996 ; 1999 ; Francovitch 1991 ; Lumley 1997 ; Mari 1984 ; Pittioni 1951 ; Py, Ancel 2006b ; 2007 ; Téreygeol 1998 ; 2000 ; 2001 ; Timberlake 1990a ; 1990b ; Tizzoni *et al.* 2003)[227]. Il y autant de cas de figures qu'il y a de types de gisements en roche dure. Or, les données archéologiques offrent le résultat (fronts de taille et remblais) d'une technique d'abattage encore mal étudiée pour elle-même, et cela malgré la multiplication des travaux sur ce sujet, surtout à partir des années 90. Aujourd'hui, il demeure difficile de s'en faire une idée concrète, notamment dans les ouvrages exigus creusés sur un

[227] Il s'agit ici là d'une sélection de références bibliographiques pour les périodes protohistoriques, antiques et médiévales, qui n'est pas exhaustive.

filon étroit ou dans les roches stériles (galeries, puits). Avant de caractériser la chaîne opératoire technique de l'abattage par le feu dans la mine médiévale, depuis l'approvisionnement en combustible jusqu'au front de taille, et son impact sur les stratégies d'exploitation, sur la gestion de la mine, sur le quotidien des mineurs, et sur l'environnement, il est apparu nécessaire d'entreprendre des expérimentations sérielles en contexte minier et souterrain. Mais en amont, une approche historique, basée sur le dépouillement d'une documentation élargie géographiquement et chronologiquement, s'est avérée nécessaire.

Avant l'introduction de la poudre, les textes ou l'iconographie qui évoquent ou décrivent l'usage de l'abattage par le feu par les Anciens sont peu nombreux et les descriptions sont succinctes. Chez les Grecs, l'usage du feu pour l'abattage des roches fait écho à une théorie platonicienne : lorsque la terre n'est pas condensée avec force, il n'y a que l'eau qui puisse la dissoudre, mais lorsqu'elle est compacte, il n'y a que le feu, le seul corps qui puisse y pénétrer (Berthelot 1938, p. 72). Durant l'Antiquité, l'application minière de l'abattage par le feu transparaît à travers quelques rares passages[228] dont le plus vivant est la description d'Agatharcide de Cnide du travail dans les mines d'or d'Égypte rapportée par des auteurs plus tardifs[229]. Une foule d'esclaves, surtout des prisonniers des rois d'Égypte, sont condamnés au travail forcé dans les mines d'or. Sous la menace de leurs gardiens, ils peinent jour et nuit dans des boyaux courbes et sinueux. L'auteur précise qu'ils emploient de « grands feux » pour amollir la partie la plus dure du terrain aurifère, mais il n'est aucunement question d'un recours à l'eau ou au vinaigre pour faire étonner la roche. Elle est par la suite attaquée à la main. Les roches plus tendres sont, quant à elles, brisées au moyen d'outils de carrière en fer. Ces mines n'ont jamais été vraiment étudiées par les archéologues, mais les vestiges observés attestent bien l'usage du feu (Lethbridge 1946, pp. 223-224).

À l'époque romaine, les effets du feu sur le roc sont magnifiés dans des poèmes et des récits épiques qui révèlent la fascination des Anciens pour les métaux et les arts du feu[230]. C'est la même fascination qui a attiré tant de voyageurs érudits du Sud et du Nord-Ouest de l'Europe dans les mines du Nord et du Nord-Est de l'Occident dès le XVIIe siècle pour admirer le travail par le feu devenu alors un véritable objet de curiosité.

---

[228] THÉOPHRASTE, *De igne*, 70 ; LUCRÈCE, *De Natura Rerum*, livre 1, Propriétés (1, 483-634) ; PLINE L'ANCIEN, *Histoire naturelle*, livre XXXIII, 21 ; MANILIUS, *Les Astronomiques*, livre IV, 243-251 ; DIODORE DE SICILE, *Bibliothèque historique*, livre III, XII ; PHOTIUS, *Bibliothèque*, tome VII, Agatharchide, 25.

[229] DIODORE DE SICILE, *Bibliothèque historique*, *ibid.* ; PHOTIUS, *Bibliothèque*, *ibid.*

[230] LUCRÈCE, *De Natura Rerum*, *ibid.* ; MANILIUS, *Les Astronomiques*, *ibid.*

Le seul texte antique tiré d'un traité, le *De igne* de Théophraste, parle des problèmes de pollution de l'air et de suffocation des mineurs lors de son usage souterrain[231]. La « densité » de l'air le rend difficile à respirer. En l'absence de ventilation, les feux s'éteignent car l'air est « épais et immobile ». L'aération des travaux doit être conçue de manière à ce que « l'air soit dilué par le mouvement ». Théophraste explique que les fumées sont nocives, non pas pour les mineurs qui sont à proximité des feux, mais pour ceux qui sont situés dans des travaux en amont, car le « feu s'enflamme pour la fumée, la porte, et la pousse vers le haut »[232].Ces désagréments sont évoqués dans les plaidoyers civils de Démosthène attestant son recours ponctuel dans les mines athéniennes[233] au IVe siècle av. J.-C. (Davies 1935, p. 21 ; Weisgerber, Willies 2001, p. 132). Le problème de l'enfumage d'une mine mal aérée, les nuisances et les dangers de l'abattage par le feu sont traités de façon plus ou moins détaillée dans les statuts et les règlements miniers médiévaux.

Les textes réglementaires toscans et sardes sont les plus connus et les plus précis, mais ils n'ont jamais été étudiés de façon approfondie[234] (Braunstein 1993 ; 2003). Cette lacune de la recherche est à attribuer à des études souvent anciennes, peu renouvelées, et à des approches archéologiques souterraines trop limitées pour tenter des comparaisons entre données textuelles et matérielles. Ces textes semblent directement inspirés de la réglementation minière saxonne également à l'origine de la réglementation slave. À Massa, les « concessionnaires » ou partenaires et leurs ouvriers (*partiariis et eorum laboratoribus*) pouvaient ouvrir des puits à quinze pas de ceux des autres exploitants. Bien souvent, les concessions étant fort étroites, les réseaux étaient recoupés par plusieurs travaux appartenant à différents exploitants. Dans ces conditions, pour éviter des dangers mortels, le code prévoyait une clause sur la mise à feu des bûchers d'abattage (*cf.* article VI. *De inmictendo ingnem in*

[231] THÉOPHRASTE, *De igne*, 24, 70.

[232] Trad. française réalisée d'après la trad. anglaise : *De Igne*, Edited with introduction, translation and commentary by COUTANT (V.), Assen, 1971 (70).

[233] Des travaux au feu préhistoriques ont été reconnus à Siphnos en Grèce (*cf.* Weisgerber, Willies, 2001, pl. X, 1).

[234] SIMONIN (L.), Histoire de l'exploitation des mines en Toscane, *Annales des Mines*, cinquième série, tome XIV, Paris, 1858, et du même auteur : De L'ancienne loi des mines de la république italienne de Massa Marittima (Toscane), *Annales des mines*, Partie administrative, cinquième série, tome VIII, Paris, 1859, pp. 1-15.

foveis)[235]. L'usage du feu était toléré en cas de nécessité, mais il fallait demander une autorisation particulière au maître des montagnes. L'allumage des feux devait être exécuté le samedi ou à la veille des jours fériés, avant la neuvième heure du jour. À l'exception de ces temps réglementaires, il est strictement interdit de faire usage du feu dans les mines exploitées par plusieurs partenaires. Au moment de la mise à feu des bûchers, il est interdit à qui que ce soit de fréquenter les travaux. À la Villa di Chiesa[236], le *Breve* prévoit une très lourde peine pour les mineurs qui usent du feu dans l'objectif de nuire à d'autres. Si un feu est à l'origine d'un décès, le mineur fauteur est puni de la peine de mort. Il en est de même à Schladming en Autriche (Styrie) dans le règlement de 1322 (Kunnert 1961). À la Villa di Chiesa, comme à Massa, l'usage du feu dans les mines était toléré, mais il était strictement réglementé dans les travaux où se croisaient plusieurs exploitations. L'allumage des bûchers était autorisé la veille des dimanches et des jours fériés. Avec l'accord des mineurs voisins, il est possible d'allumer des feux en milieu de semaine lorsque les fêtes principales tombent un mardi ou un jeudi.

Les autres règlements miniers médiévaux promulgués avant le XIVe siècle, sont moins précis sur la réglementation de l'usage du feu. C'est le cas du *Codex Wangianus* de Trente et

---

[235] *« Item statuimus et ordinamus quod sit licitum partiariis et eorum laboratoribus ingnem inmictere in foveis ad eorum voluntatem absque licentia magistrorum curie, ita tamen quod fovea sive fovee in qua vel quibus ingnem imiserint non habeant nec habuerant fondoratum cum aliqua fovea. Si vero dicta fovea habeat fondoratum cum aliqua fovea, possint partiarii et eorum laboratores aut magister ipsorum mictere ingnem in dictis eorum foveis cum licentia et parabola suprascriptorum magistrorum aut maioris partis. Et dictam licentiam suprascripti magistri vel duo ipsorum dare et concedere teneantur et debeant unicuique petenti vel petentibus in die sabbati tantum, videlicet posse micti ingnis in foveam vel foveas ab ora nona in antea. Salvo quod si fovea vel fovee que sunt dicte fovee vel foveis in quam vel quas ingnis inmicteretur convicine cum vel quibus haberet fondoratum nollent laborare dicta die sabbati, quod magistri montis dicte civitatis possint concedere licentiam posse micti ingnis in ipsam vel ipsas foveas dicta die sabbati ante nonam summo mane. Et si diceret quod vellet laborare seu laborari facere dicta die, magister fovee que esset convicina fovee ingnem inmictere volentem, et non laboraret vel laborari faceret, puniatur in libris XXV denariorum pro quolibet et qualibet vice. Et si occurreret quod infra eddomadam essent festa unum vel plura, suprascripti magistri curie possint concedere licentiam inmictendi ingnem in suprascriptis foveis vel fovea si eis videbitur, et qua hora et quando eis videbitur, non preiudicando que dicta sunt de die sabbati tantum ; que licentia appareat in actis Comunis »*, BONAINI (F.), *Ordinamenta super arte fossarum rameriae et argenteriae civitatis Massae - Statuto delle miniere d'argento e di rame della città di Massa*, *Archivio Storico Italiano*, T. 6, série 1, appendice 8, 1850, appendice all'archivio storico italiano n° 27, pp. 641-642.

[236] *Breve* : CVI. *Di non mettere fuocho in alcuna fossa. Ordiniamo, che se alcuna persona mettesse o facesse mettere fuocho in alcuna fossa per malfare maliciosamenti, paghi libbre C d'alfonsini* […] *; et se alcuno homo morisse par cagione di quello cotale fuocho, perda la testa sì che muoja. Et intendase che paghi la pena quello che fa lo excesso, et che la fossa et li parsonavili di quella fosse u' fosse messo non siano di ciò tenuti in alcuna chosa. Et se advenisse che tra li maestri delle fosse alcuna lite fusse di volere mectere fuocho la septimana una volta o piò, di ciò sia a providimento delli Maestri del Monte ; sì veramenti, che se advenisse che festa principali fusse in martidì o in giovidì, che in nessuna fossa si possa mettere fuocho piò che una volta quella semana ; salvo se fusse in concordia col suo vicino, o con colui a cui li fuochi impedisse : et se non avesse vicino, et che non facesse dapno altrui, sia licito ad ogni persona potere mettere fuocho ad sua volontà ; et di ciò si stia a providimento delli Maestri del Monte. Et chi non observasse quello che li Maestri del Monte provedesseno, pena libbre XXV* […].

des statuts d'Iglau en Moravie. À Trente, la charte promulguée le 19 juin 1208 contient cependant un court paragraphe qui interdit la dérivation des eaux et l'usage frauduleux du feu créant des dommages dans les travaux d'autrui[237]. On retrouve la même disposition dans le *Statuta medalorum a venis* de Bovegno de 1341[238]. L'abattage par le feu est par ailleurs attesté pour l'exploitation de la mine de Novo Brdo et dans les mines serbo-croates où était appliqué le règlement saxon. Le terme technique utilisé dans les règlements pour désigner cette opération est *« prant »*[239]. À Novo Brdo, des ouvriers étaient chargés spécialement de cette tâche[240] (Gille 1969, pp. 279-298). Par contre, ces textes ne sont pas vraiment précis sur la réglementation de son usage. Néanmoins, ils spécifient que les possesseurs d'une mine qui pénètrent entre deux puits, à l'endroit supposé d'une borne de délimitation, peuvent allumer un ou deux feux lorsque la roche est dure sans que les possesseurs des autres mines ne les chassent, sauf si l'on procède à une délimitation ou que l'on ne fasse valoir les bornes de délimitation placées après le mesurage. Comme dans les autres mines depuis l'Antiquité, son usage frauduleux dans les travaux dans l'objectif de nuire à un autre exploitant est condamné par une lourde peine[241].

L'ensemble des règlements médiévaux indique que l'usage du feu est récurrent, toléré, mais extrêmement dangereux. Il est sévèrement condamné lorsqu'il nuit à autrui. Dans le statut vénitien de 1488, inspiré du code minier de Schwaz (1449)[242], il est spécifié que la sécurité dans les chantiers doit être une des préoccupation dominante des exploitants de façon à ce que les mineurs travaillent sans peur, et que la mise à feu des bûchers dans les galeries ne

---

[237] HÄGERMANN (D.), LUDWIG (K.-H.), *Europäisches montanwesen im hochmittelalter. Das Trienter Bergrecht 1185-1214*, Wien, 1986, p. 39.

[238] NOGARA (B.), CESSI (R.), BONELLI (G.) a cura di, *Statuti Rurali Bresciani del secolo XIV (Bovegno, Cimmo e Orzinuovi. Corpus Statutorum Italicorum*, n°10, Milano, 1927, p. 281, *De pena facientibus fumum et prohitientibus aquas in medalis alienis.*

[239] Règlement concernant la mine de Novo Brdo (25 avril 1494), *in* : BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans...*, document 22, § 39, pp. 252-253. Règlement saxon : document 24, § 21, p. 264. Un terme très proche, *« brand »* est encore employé au XIXe siècle au Rammelsberg pour désigner le bûcher de bois dressés contre un front de taille, *cf.* E.M.P., Mémoire de voyage, M 865, SILHOL (A.-A.), *De l'exploitation et du traitement métallurgique du minerai au Rammelsberg* (1867) (transcription inédite B. Ancel, base de données feu).

[240] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, document 20 (règlement de 1488), § 3, p. 234. Dans le langage minier germanique moderne, l'ouvrier occupé à la méthode d'abattage par le feu, à entretenir ce dernier et à veiller aux boisages est appelé *« feuerwächter »*, *cf.* CAMBRESY (A.), *Dictionnaire minier et métallurgique allemand-français*, Paris, 1868.

[241] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans...*, document 22, § 2, p. 243.

[242] WORMS (S.), *Schwazer Bergbau im 15*, Jahrhundert, Vienne, 1904, document n°7.

les incommode pas[243]. Cela sous-entend une bonne entente entre les différents exploitants pour décider des périodes d'allumage des feux, qui ne sont que rarement stipulées par écrit à l'exception des règlements toscans et sardes. Malgré ces précautions, les mineurs travaillent souvent dans des conditions épouvantables. Une déficience de système d'aérage peut suffire à nuire à leur vie. L'article 10 de la charte de Mendips en Grande-Bretagne datée des alentours de 1480 prévoit l'enterrement des corps des mineurs tués sous terre par accident ou par suffocation[244].

La réglementation du temps de travail pour l'allumage des feux se retrouve dans la législation minière de la Renaissance et des Temps Modernes. Dans le règlement du Leberthal[245] daté de 1527, inspiré directement du règlement médiéval de Schladming[246] (1322), un article (art. 52) spécifie que chaque exploitant doit attendre son tour pour « faire sauter le roc » (Kunnert 1961). De la saint Michel (29 septembre) à la saint Georges (24 avril), les feux doivent être allumés à la tombée du jour, et de la saint Georges à la saint Michel, les feux doivent être allumés « à la place du poste de droit » (il faut entendre par là après une journée de huit heures de travail). Chaque exploitant doit prévenir l'autre de l'allumage du feu (art. 53). Les mineurs qui omettent de prévenir leurs voisins sont punis par la justice. Enfin, il est précisé que cet usage doit être si possible de recours limité.

On retrouve la nécessité de prévenir le ou les autres exploitants avant l'allumage des feux dans le traité de G. Agricola[247] et jusqu'au XVIIe siècle, avant l'usage presque généralisé de la poudre[248]. Dans le règlement anglo-saxon, mis par écrit par Th. Houghton en 1681, n'importe quel mineur dans un « filon en chantier », peut allumer un bûcher, mais seulement

---

[243] *Cf.* paragraphes 14 et 30 du statut minier de 1488 *in* : FOUCARD, *Notizie sull'industria mineraria nella Venezia sotto il dominio della Repubblica, Appendice alla Rivista del Servizio minerario nel 1913*, Rome, 1915.

[244] HUNT (R.), *British mining*…, 1884, book V, chap. III, p. 134 et p. 137 ; COLLINS (A. L.), Fire-setting : the art of mining by fire…, p. 84.

[245] A.D.H.R., Archives de Sainte-Marie-aux-Mines, D 3497 (2), Règlement minier du Leberthal (1527), trad. Degermann.

[246] Art. 7 et art. 4 cités *in* Kunnert 1961.

[247] *De Re Metallica* (1556), trad. France-Lanord, livres V et VI.

[248] Les articles qui réglementent l'usage du feu sont abandonnés au milieu du XVIIIe siècle, *cf.* HARDY (W.), *Miners Guide or Compleat Miner*, Birmingham, 1762, article XL, note.

après quatre heures de l'après-midi[249], et après avoir averti les exploitants voisins[250]. Il en est de même dans les mines de fer de Dannemora en Suède au milieu du XVIIIe siècle[251]. De façon générale, dans la plupart des mines du nord de l'Europe, les bûchers sont allumés quotidiennement après une journée de travail. Ils brûlent ainsi toute la fin de la journée et la nuit. Comme à Massa ou à la Villa du Chiesa au Moyen Âge, au Rammelsberg près de Goslar, encore aux XVIIIe-XIXe siècles, les bûchers étaient mis à feu uniquement le samedi, à midi. De la sorte, les feux pouvaient brûler le samedi depuis midi et tout le dimanche[252]. Dans certaines mines, comme à Felsoe-Banya en Hongrie, les bûchers brûlent depuis le vendredi. Les mineurs reprennent le travail le lundi matin. Parfois, la semaine de travail sous terre se réduit à deux ou trois jours et tout le reste du temps, les bûchers se consument[253]. Dans certaines mines d'étain de la province de Cornouaille en Angleterre, l'abattage par le feu est pratiqué seulement en hiver, probablement parce que la circulation de l'air sain est facilitée dans les travaux[254].

La réglementation de la période d'allumage des bûchers pour éviter des accidents parfois mortels est un des seuls traits communs entre la documentation médiévale, de la Renaissance et des Temps modernes. Avant le XVIe siècle, les textes n'offrent aucune précision d'ordre technique ou pratique sur l'abattage par le feu. Étrangement, aucune mention de cette technique n'a été relevée dans les ouvrages encyclopédiques du XIIIe siècle, inspirés des textes scientifiques (médecine, philosophie naturelle) rédigés par les Arabes (Déprez-Masson 2004), ni dans les traités consacrés aux procédés techniques, chimiques,

---

[249] W. Hooson, dans son *The Miners Dictionary*, explique au mot *« Mineral Time »* qu'une journée de travail à la mine, ou *mineral time*, est comprise entre huit heures du matin et quatre heures de l'après-midi. Ce temps est rigoureusement respecté lorsque l'on a recours au feu : aucun mineur ne doit lancer un feu pendant cette durée de façon à ne causer aucun désagrément à ses voisins. Tous les mineurs doivent sortir des travaux quand ce temps est écoulé, HOOSON (W.), *The Miners Dictionary*…, *ibid*. Voir aussi FAREY (J.), *General view of the agriculture and minerals of Derbyshire.*…, London, 1811, p. 371.

[250] HOUGHTON (Th.), *Rara avis in terris, or the Compleat miner*, London, 1681, art. XL.

[251] JARS (A.-G.), *Voyages Métallurgiques*, I, huitième mémoire, 1767, p. 123

[252] MONTESQUIEU (Ch.-L. de S.), *Voyages de Montesquieu, mémoire sur les mines (vers 1730)*, Bordeaux, 1896, pp. 245-248 et pp. 268-271 ; COMBES (Ch.-P.-M.), *Traité de l'exploitation des mines*, t. I, Paris, 1844, pp. 292-297, *cf.* « travail au feu au Rammelsberg ».

[253] BORN (I. E.), *Voyage minéralogique fait en Hongrie et en Transilvanie*, 1770, trad. française par A. G. Monnet, Paris, 1780, lettre XVIII ; DELIUS (Ch.-F.), *Traité sur la Science de l'Exploitation des mines*, 1773, trad. de J. G. Schreiber, Paris, 1778, § 213.

[254] JARS (A.-G.), *Voyages métallurgiques*, III, septième mémoire, p. 164.

métallurgiques, ou à la genèse des métaux comme la *Mappae clavicula*, les *Compositiones ad tingenda*, le *Liber ignium* de *Marcus Graecus*, et le *De mineralibus* d'Albert le Grand[255].

Il faut attendre la Renaissance pour voir naître quelques rares traités[256] et des ouvrages techniques consacrés à la mine et au souterrain. Les descriptions de la mise en œuvre du feu pour abattre la roche sont plus détaillées que dans les textes antiques et médiévaux, mais demeurent sommaires jusqu'au XVIIIe siècle.

G. Agricola est le premier à mettre en évidence la difficulté de sa mise en œuvre et la variabilité des usages en fonction des contextes rocheux et du type d'ouvrage à percer. Le feu est utilisé uniquement lorsque la roche est extrêmement dure ou lorsqu'il faut élargir des ouvrages trop étroits pour permettre un abattage conventionnel au marteau et à la pointerolle[257]. Dans ces cas, on place un tas de bois dans la tranchée ou dans la galerie basse et on l'enflamme. L'abattage des fronts de taille des galeries hautes nécessitent l'emploi de deux tas de bois superposés. Mais le feu ne fait qu'éclater « quelques morceaux en surface ». Le feu est également employé de façon combinée avec la taille à l'outil, notamment dans le cas où seul le filon serait trop dur. La technique est plus rentable dans les ouvrages spacieux pouvant accueillir de grandes quantités de bois, mais le feu attaque plus le toit et le mur de l'ouvrage que la sole. Cette technique est aussi employée pour creuser des petites veines grâce à des petits bûchers de bois secs. Le feu « ramollit » le filon au point qu'il devient très fragile. Les mineurs détachent les morceaux de roche et de minerais déstabilisés au moyen de « leviers » et lorsqu'ils résistent, au moyen de pinces de fer introduites dans des fentes ou au moyen de coups de masse. La description de la technique offerte par G. Agricola est conforme aux témoignages consignés dans les rapports d'activités de mines de l'ancienne province minière germanique avant la fin du XVIIe siècle. L'étude comparée des vestiges archéologiques confirme que le travail par le feu a très souvent été mené de concert avec les techniques de taille manuelle. Concurrencé par l'abattage au marteau et à la pointerolle, il paraît de moins en moins utilisé dans certaines mines, notamment dans les Vosges. Le travail étant long, pénible, parfois extrêmement dangereux[258], et les pertes humaines importantes[259],

---

[255] MAGNUS (A.), *De mineralibus*, 1250-1252. Voir la trad. anglaise de D. Wickoff : WICKOFF (D.), *Albertus Magnus, Book of Minerals*, Oxford, 1967.

[256] Le *De Re Metallica* de G. Agricola (1556) et le *Sarepta Oder Bergpostill* de J. Mathesius (1559).

[257] AGRICOLA (G.), *De Re Metallica*, livre V.

[258] Innsbruck Pestarchiv, XIV 826, EMPL (H.), *Rapport sur les mines du Leberthal : Am Neuen perg zu Eckerich*, trad. P. Fluck inédite.

les mineurs ont cherché à la réduire au strict minimum, seulement là où la roche était extrêmement dure et le minerai de belle qualité, avec l'usage combiné de la taille à l'outil. Exceptionnellement, lorsqu'on ne trouve plus assez de travailleurs robustes et habiles pour le travail à la pointerolle[260], l'abattage par le feu supplante la taille à l'outil.

La moindre zone de faiblesse du front de taille, zone broyée d'une faille ou partie tendre d'un filon (calcite, barytine etc.), a presque toujours été entamée à la pointerolle. Lorsque la minéralisation est concentrée dans un filon étroit de quelques centimètres à quelques décimètres de puissance, les mineurs vont s'efforcer de creuser des chantiers d'abattage étroits, d'une largeur d'homme tout au plus, pour minimiser les efforts de creusement en roche stérile. Dans un premier temps, la réalisation d'entailles étroites à l'outil pouvait être poussée jusqu'aux limites du possible. Dans un second temps, l'application du feu servait à élargir le passage et à abattre les parties dures du filon. Les parois des ouvrages taillés avec cette technique mixte présentent des successions de concavités, qui souvent dépassent les limites de la zone d'exploitation ou le gabarit utile d'une galerie. Ce résultat est lié à un manque de contrôle du creusement par le feu lors de l'élargissement de la cavité. La forme de ces concavités et les rétrécissements peuvent, dans certains cas, permettre de reconstituer la chronologie du creusement des chantiers (Ancel 1998).

Au XVIIIe siècle, l'abattage par le feu perdure, soit seul, soit en association avec l'abattage par percussion posée ou avec l'abattage à la poudre dans de nombreuses mines (Berg 1992). Cette dernière technique consiste à forer une série de trous cylindriques, d'au moins 50 cm de profondeur, pour y placer des cartouches de poudres dont l'explosion fragmente une partie du front de taille. Lorsque la poudre est un moyen trop cher, l'abattage par le feu est privilégié[261]. Pour cette époque, la majeure partie de la documentation, constituée de descriptions du travail dans les mines par des voyageurs, traite d'ouvrages très

[259] HIPP (H.), *Rapport sur les mines de Newenberg zu Eckerich*, Innsbruck Pestarchiv XIV 697, trad. P. Fluck *in* : *Pierres et Terre*, 18, 1979, pp. 45-53 ; A.D.H.R., E 1979, *Rapport sur les mines du côté d'Alsace : am Neuenberg*, trad. de P. Fulck, *in* : *Pierres et Terre*, 30, 1988, pp. 34-52.

[260] PRECHTER (W.), *Rapport sur l'activité du Val de Lièpvre*, 1er octobre 1602, A.D.H.R., E 1979, trad. P. Fluck *in* : *Bulletin de la Société Historique du Val de Lièpvre*, IX, 1974, pp. 15-61.

[261] ASTRUC (J.), Mine de plomb près de Durfort, 1737, *in* : GOBET (N.), *Les anciens minéralogistes du Royaume de France*, II, 1779.

spacieux et spectaculaires[262], rarement étayés, opérés sur des filons très puissants (*cf.* fig. n°89, p. 1072). Dans certaines mines, comme à Falun en Suède, les mineurs travaillent presque nus dans une chaleur étouffante[263]. Certains témoignages supposent, comme ceux de R. Outhier et de A.-G. Jars[264], que des équipes travaillent dans la mine alors que des bûchers sont toujours en train de se consumer. La sécurité des mineurs est assurée par des ouvrages d'aérage très spacieux et une parfaite maîtrise du courant d'air leur permettant de travailler quotidiennement dans la mine. Les bûchers sont dressés en fin de journées. Ils continuent à se consumer le jour suivant. À Falun, les mineurs dégagent les brasiers non éteints et projettent de l'eau pour refroidir l'atmosphère et la surface de travail. L'usage combiné de l'eau, déjà cité pour les travaux à ciel ouvert, jamais stipulé dans les documents miniers des XVIe et XVIIe siècles, est mentionné pour la première fois par R. Outhier. Il est aussi attesté dans les mines d'étain de Gayer ou Geyer en Saxe, exploitées au XVIIIe siècle[265]. W. Hooson dans son *The Miners Dictionnary*, rapporte cet usage au mot *« fireing »*[266]. D'après lui, l'eau est utile pour refroidir les chantiers trop chauds. La roche échauffée réagit alors avec un bruit semblable « à des pistolets tirés au loin ». On la retire plus aisément que sans son apport, « mais on n'a pas toujours de l'eau à sa disposition ». À partir du XIXe siècle, les écrits qui mentionnent l'usage combiné du feu et de l'eau, supposent l'emploi d'eau ou ne font que répéter les informations rapportées par R. Outhier, A.-G. Jars, ou dans le dictionnaire de W. Hooson, en en faisant une généralité répétée au fil des années dans des ouvrages

[262] Selon X. Marmier, ces cavités parfois démesurées, creusées comme des voûtes de cathédrale, comme à Falun (*cf.* fig. n°89, p. 1072) et de façon plus générale dans les mines scandinaves, génèrent des importants éboulements qui ont considérablement ralenti et perturbé l'exploitation de ces mines au XIXe siècle, *cf.* DUROCHER (J.), Note sur l'exploitation des mines et des usines dans le nord de l'Europe, *Annales des Mines*, 5ème série, t. VII, 1855, pp. 237-238 ; MARMIER (X.), *Voyage de la Commission Scientifique du Nord en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux Feroë, pendant les années 1838, 1839 et 1840*, …, Paris, 1843, t. II, p. 77.

[263] OUTHIER (R.), *Journal d'un voyage au Nord en 1736 et 1737 pour déterminer la figure de la Terre*, 1744, reprint, Paris, 1994, 1 juillet 1737, Les mines de cuivre (Falun).

[264] JARS (A.-G.), *Voyages Métallurgiques*, I, huitième mémoire, 1767, p. 123.

[265] JARS (A.-G.), *Voyages métallurgiques*, III, septième mémoire, pp. 169-170.

[266] HOOSON (W.), *The Miners Dictionary…*, *ibid*.

encyclopédiques ou techniques sur les mines[267]. Elle a été ainsi reprise au XXe siècle par de nombreux auteurs qui ne s'appuient sur aucun élément fiable, sinon les écrits de leurs prédécesseurs (Levat 1913 ; Martel 1920, p. 49 ; Poire *et al.* 1924, II, p. 922 ; Ford, Rieuwerts 1968, p. 13). Ainsi, l'usage combiné du feu et de l'eau en contexte minier a pris une dimension disproportionnée alors qu'il n'est véritablement attesté que dans deux mines, et encore, la véracité des témoignages pourrait être sujette à controverse (Berg 1992, n. 4). Quand l'apport de grandes quantités d'eau sur les fronts de taille était techniquement possible, elles servaient surtout à refroidir les fronts de taille et l'atmosphère étouffante afin de travailler en continu (temps de refroidissement de la roche raccourci).

Au XIXe et au début XXe siècle, les quelques descriptions de sites miniers exploités de manière « traditionnelle » en Afrique, en Asie et sur les marges de l'Europe, rapportées dans les récits de voyageurs, concernent des puits et des tranchées à ciel ouvert peu profonds, comparables à certains ouvrages protohistoriques, antiques et médiévaux. L'aérage n'était pas problématique et l'aspersion d'eau y était apparemment souvent pratiquée pour refroidir la roche (Mc Carthy 1920, p. 230 ; Eaton Turner 1932, p. 329). Il est donc permis de supposer que les Anciens pouvaient avoir eu recours à l'eau pour les travaux miniers à ciel ouvert et peu profonds. Or, malgré certaines assertions[268], il n'a jamais été véritablement attesté d'un point de vue archéologique, et nous devons encore progresser sur cette question notamment grâce à l'analyse des déchets expérimentaux. Dans les ouvrages profonds examinés, nous avons été amenés à exclure l'utilisation de l'eau comme agent de refroidissement. Les accès étant très incommodes, il devait être extrêmement difficile d'apporter des quantités importantes d'eau jusqu'aux fronts d'abattage[269] et les fumées rendaient une telle approche hautement périlleuse. De plus, l'eau pouvait rendre les fronts de taille très humides et

---

[267] BRARD (C. P.), *Éléments pratiques d'exploitation des mines*, 1829, pp. 120-122 ; PERDONNET (A.), *Dictionnaire de l'Industrie Manufacturière, Commerciale et Agricole*, 1833, p. 670 ; BURAT (A.), *Géologie appliquée, ou Traité de la recherche et de l'exploitation des minéraux utiles*, Paris, 1843, pp. 223-225 ; DIDOT (F.), RENIER (L.) *et. al.*, *encyclopédie moderne : Dictionnaire abrégé des sciences, des lettres, des arts, de l'industrie…*, t. XXI, 1860, p. 10 ; SIMONIN (L.-L.), *La vie souterraine…*, pp. 459-461 ; LAMI (E.-O.), *Dictionnaire encyclopédique et biographique de l'industrie et des arts industriels*, 1884, *cf.* « mine » ; BADOUREAU (A.), GRANGIER (P.), *Les mines, les minières et les carrières*, 1892, p. 66 ; DORION (C. J.), *Exploitation des mines*, 1893, pp. 185-186 ; KNAB (L.), *Les minéraux utiles et l'exploitation des mines*, Paris, 1894, p. 191.

[268] D'après A. Léger, dans certaines mines romaines espagnoles, des canaux auraient servi à amener de l'eau jusque vers les fronts de taille, LÉGER (A.), *Les travaux publics, les mines et la métallurgie aux temps des romains*, Paris, 1875. Cette assertion n'a jamais été validée par des données archéologiques satisfaisantes.

[269] À l'heure actuelle, la dérivation des eaux d'exhaure par des canaux pour amener l'eau jusqu'au front de taille n'a jamais été démontrée et prouvée.

compliquer l'étape de tri souterrain des fragments de roche étonnés, englués dans les charbons de bois ramollis.

L'usage combiné de la poudre et du feu est attesté dans les sources écrites pour le percement des ouvrages d'assistance (puits, galeries) dès le XVIIIe siècle, mais doit remonter au XVIIe siècle[270]. Il est alors pratiqué dans toutes les grandes mines du Nord et du Nord-Est de l'Occident où l'abattage par le feu est encore de rigueur. En Felzebanie, près des frontières de la Transylvanie, au Rammelsberg, ou encore à Kongsberg en Norvège, les sols des ouvrages et certains fronts de taille sont retouchés à la poudre[271]. À Falun, l'introduction de la poudre remonte à la première moitié du XVIIIe siècle. Elle est l'œuvre de mineurs allemands[272]. Elle est d'abord utilisée seulement pour l'approfondissement des puits[273]. À Felsobanya, où la roche est d'une extrême dureté, l'usage de la poudre a été exclu car il aurait nécessité des dépenses beaucoup trop grandes[274]. L'abattage par le feu est même souvent préférable à la poudre pour le percement des galeries comme à Kongsberg[275], où l'usage du feu se maintient jusqu'en 1890 (Berg 1992), et pour l'exploitation de filons puissants et très durs comme au Rammelsberg au Hartz et à Altemberg en Saxe[276]. Les dépenses pour la poudre sont considérables et dans certains cas, l'abattage à l'explosif n'est pas plus performant que l'abattage par le feu. Cependant, à l'aube du XIXe siècle, dans certaines régions, comme celle du Hartz ou en Scandinavie[277], l'augmentation du prix du bois fait restreindre l'abattage par le feu au profit de la poudre[278]. Suivant les mines, toujours en

[270] L'usage de la poudre dans les mines apparaît en Saxe en 1613 et dans les Vosges en 1617 (Ancel, Py 2008).

[271] DELIUS (C.-F.), *Traité sur la Science de l'Exploitation des Mines*, 1773, trad. de J.-G. Schreiber, Paris, 1778, § 207 ; HÉRON DE VILLEFOSSE (A.-M.), *De la richesse minérale*, t. II, 1819, pp. 303-309.

[272] Les premiers essais ont eu lieu entre 1722 et 1730, *cf.* DUROCHER (J.), Note sur l'exploitation des mines…, p. 240.

[273] JARS (A.-G.), *Voyages métallurgiques*, III, second mémoire, pp. 38-39.

[274] BORN (von I. E.), *Voyage minéralogique fait en Hongrie et en Transilvanie*, 1770, trad. de l'allemand par A. G. Monnet, Paris, 1780, lettre XVIII.

[275] E.M.P., Mémoire de voyage M 831, NIVOIT (E.), *Mémoire sur les mines d'argent de Kongsberg en Norvège*, 1864.

[276] MONNET (A.-G.), *Traité de l'exploitation des Mines*, Paris, 1773, pp. 79-82 ; HÉRON DE VILLEFOSSE (A.-M.), *De la richesse minérale…, ibid.*

[277] DUROCHER (J.), Note sur l'exploitation des mines…, pp. 243-244.

[278] E.M.P., Mémoire de voyage, n°436, LAN (Ch.-R.), *Mémoire sur l'exploitation par le feu de la mine du Rammelsberg*, 1850 (transcription B. Ancel inédite, base de donnée feu).

combinaison avec la poudre, il n'est plus qu'utilisé pour le percement des galeries, et de façon de plus en plus rare pour l'abattage en chambre[279].

Fig. n°86 : Utilisation du « prägelkatze » d'après L.-L. Simonin, La vie souterraine ou la mine et les mineurs, 1867, fig. 120.

À partir du XVIIIe siècle, les voyageurs ont enregistré un perfectionnement technique de l'abattage par le feu dans la région de Felsobanya. Les mineurs ont mis au point une sorte de grille en fer[280] couverte de tôles, appelée *« Procgel-katze »* ou *« prägelkatze »*. Elle était placée dans une cavité, ouverte au préalable à la poudre, de façon à circonscrire et retenir le bûcher, puis à diriger les flammes vers l'avant. Les mineurs doivent se munir d'une sorte de racle ou d'une fourche avec un long manche pour pouvoir pousser de loin, du bois sous la grille de façon à réalimenter le bûcher qui est en train de se consumer[281] (fig. n°86, p. 1069) Cette technique permettrait notamment de réduire la taille des ouvrages sur le filon et faciliterait le percement des galeries au moyen de la taille par le feu. Mais, les mineurs étaient souvent obligés de retoucher le sol à la poudre, car la pente aurait été trop grande. À Kongsberg, dans les années 1840, les mineurs optent pour l'installation de parois en métal ou en brique à l'arrière des bûchers de façon à condenser la chaleur comme dans un four. L'évacuation des fumées était réalisée grâce à des conduits de ventilation en fer installés dans des emmurements destinés à canaliser l'air (Berg 1992, p. 73).

[279] DUROCHER (J.), Note sur l'exploitation des mines…, p. 244 ; SILHOL (A. A.), *De l'exploitation et du traitement…*, *ibid.*

[280] I. E. von Born est le premier à rapporter l'usage de cette technique particulière : BORN (von I. E.), *Voyage minéralogique…*, *ibid.*

[281] DELIUS (C.-F.), *Traité sur la Science…*, pp. 245-256 ; HÉRON de VILLEFOSSE (A.-M.), *De la richesse minérale*…, pp. 107-108 ; BURAT (A.), *Géologie appliquée…*, pp. 223-225 et fig. 40.

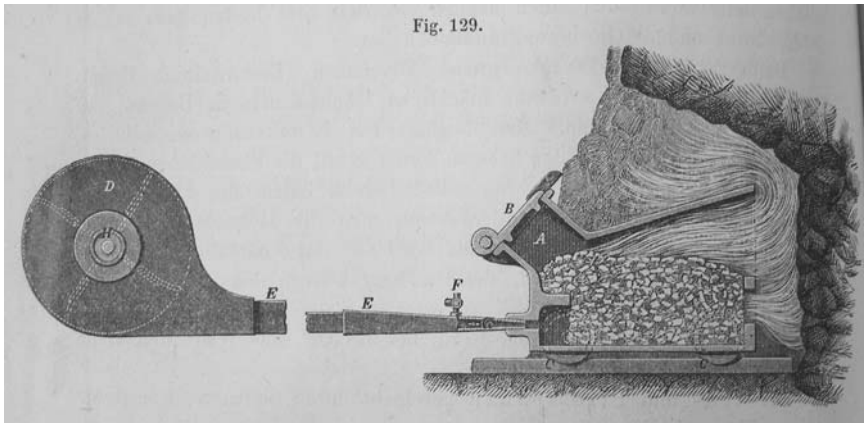


Fig. n°87 : Adaptation de l'appareil de Hugon pour l'abattage par le feu en souterrain. Illustration tirée de l'ouvrage de SERLO (A.), Leitfaden zur Bergbaukunde, 1875, pp. 275-279, d'après PAYEN (.), op. cit., pp. 156-161. *La combustion de la coke placée dans un fourneau sur rail est activée par de l'air comprimée.*

Dans les années 1860, on tente de remettre la méthode par le feu au « goût du jour ». Devenu beaucoup trop onéreux, le bois est substitué par de la houille placée dans des sortes de poêles[282] pour concentrer la chaleur, ou dans des fourneaux mobiles activés par de l'air comprimé[283] (application de l'appareil de M. Hugon[284]). Une machine de ce type a été testée dans la mine de plomb du Grand-Clot[285] (Hautes-Alpes) (fig. n°87, p. 1070). Elle a prouvé son efficacité pour le creusement, mais faisait silicatiser une partie du minerai posant d'importants problèmes lors des opérations de métallurgie.

Fig. n°88 : Brûleurs à gaz testés par B. Stoces dans les mines d'étain de Zinnwald et d'Hodrusa (Stoces 1927).

Enfin, en 1926, l'ingénieur B. Stoces teste avec succès des brûleurs à gaz dans les mines d'étain de Zinnwald et d'Hodrusa, mais ses résultats restent confidentiels (Stoces 1927) (fig. n°88, p. 1070). L'ère du feu sous terre était finie.

---

[282] GRATEAU (E.), Exploitation par le feu, *Revue Universelle des Mines*, 1ère série, t. XVI, 1864, pp. 197-198.

[283] PAYEN (A.), Flambage des bois et des roches, *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, 1ère série, t. VI, 1865-1866, pp. 156-161 (Application de l'appareil de M. Hugon à la désagrégation des roches).

[284] À propos de l'appareil de Hugon et de son application originelle pour brûler la surface des traverses de chemin de fer *cf.* CALLON (P. J.), *Cours professés à l'École des Mines de Paris, 2e partie, « Cours d'exploitation des mines »*, I, Paris : Dunod, 1874, p. 243.

[285] A. D.R.I.R.E., Gap, dos. 52/59 et 52/68 (transcription B. Ancel inédite), BAUDINOT (L.), *Rapport annuel sur la concession de la mine de plomb du Grand Clot*, 1867 ; GUEYMARD (É.), Exploitation du filon de plomb du Grand-Clot au moyen du feu, *Bulletin de la Société Scientifique de l'Isère*, 3ème série, 1867, I, pp. 293-295.

Mines	Région	Pays	Substance	Roche	début	XVII°	XVIII°	XIX°	XX°
Rammelsberg	Harz	Allemagne	Cu		XIV°	X	X	> 1870	
Mansfeld	Harz	Allemagne	Cu			X	X		
……	Ober-Harz	Allemagne				X			
Ehrenfriedersdorf	Saxe	Allemagne	Sn	quartz		X	X	X	
Gayer	Saxe	Allemagne	Sn	granite	1400	X	X	X	
Altenberg	Saxe	Allemagne	Sn	quartzporphyr	1458	X	X	X	
Berggießhübel	Saxe	Allemagne				X	X	X	
Freiberg	Saxe	Allemagne			XVI°				
St Cristoph	Saxe	Allemagne	pyrite					1864	
Theresia	Saxe	Allemagne							
Zinnwald	Saxe	Allemagne	Sn	quartz					1926
Schlackenwald	Saxe	Allemagne	Sn, Cu				X	X	
Swapavara	Konges	Finlande	Cu			1685			
Durfort	Cévennes	France	Pb				1737		
Farinole	Corse	France	fer			1665			
Grand Clot	Hautes-Alpes	France	Pb	gneiss				1867	
Echallanges	Oisans	France	Pb, Ag	quartz				1865	
Leberthal	Vosges	France	Ag, Cu, Pb	gneiss	XVI°				
Château-Lambert	Vosges	France	Cu			1617			
Braastad	Arendal	Norvège				X	X	X	
Klodeberg	Arendal	Norvège				X	X	X	
Næs Jernverk	Arendal	Norvège				> 1665	X	X	
……	Christiana	Norvège				X	X	X	
Skuterud	Vikersund	Norvège	Co				1772	X	
Kongsberg		Norvège	Ag				X	> 1890	
Röraas		Norvège	Cu				X		
Bajutz	Siebenbürgen	Roumanie						X	
Olahlaposbanya	Siebenbürgen	Roumanie						X	
Felsobanya	Transylvanie	Hongrie				X	X	X	
Uwaroxitgrube	Perm	Russie		magnétite				xxx	
Falun	Dalecarlie	Suède	Cu		XIV°	X	X	X	
Dalsgrube	Falun	Suède	Fer	magnétite			X	X	
Coperberyt	Sala	Suède	Fer			X			
Adelfors	Smaland	Suède	Au, Ag				X	X	
Dannemora		Suède	Fer				X	X	
Sahleberg		Suède	Au, Ag		XIII°	X	X	X	
Nyakopparberg		Suède	Cu				X	X	
Garpenberg		Suède	Cu				X	X	
Hodrusa	Banska Stiavnica	Tchéquie							1926

Tabl. n°22 : Liste des mines où l'abattage par le feu était pratiqué durant les Temps Modernes (parfois depuis le Moyen Âge) d'après la documentation écrite dépouillée (B. Ancel, V. Py inédit).

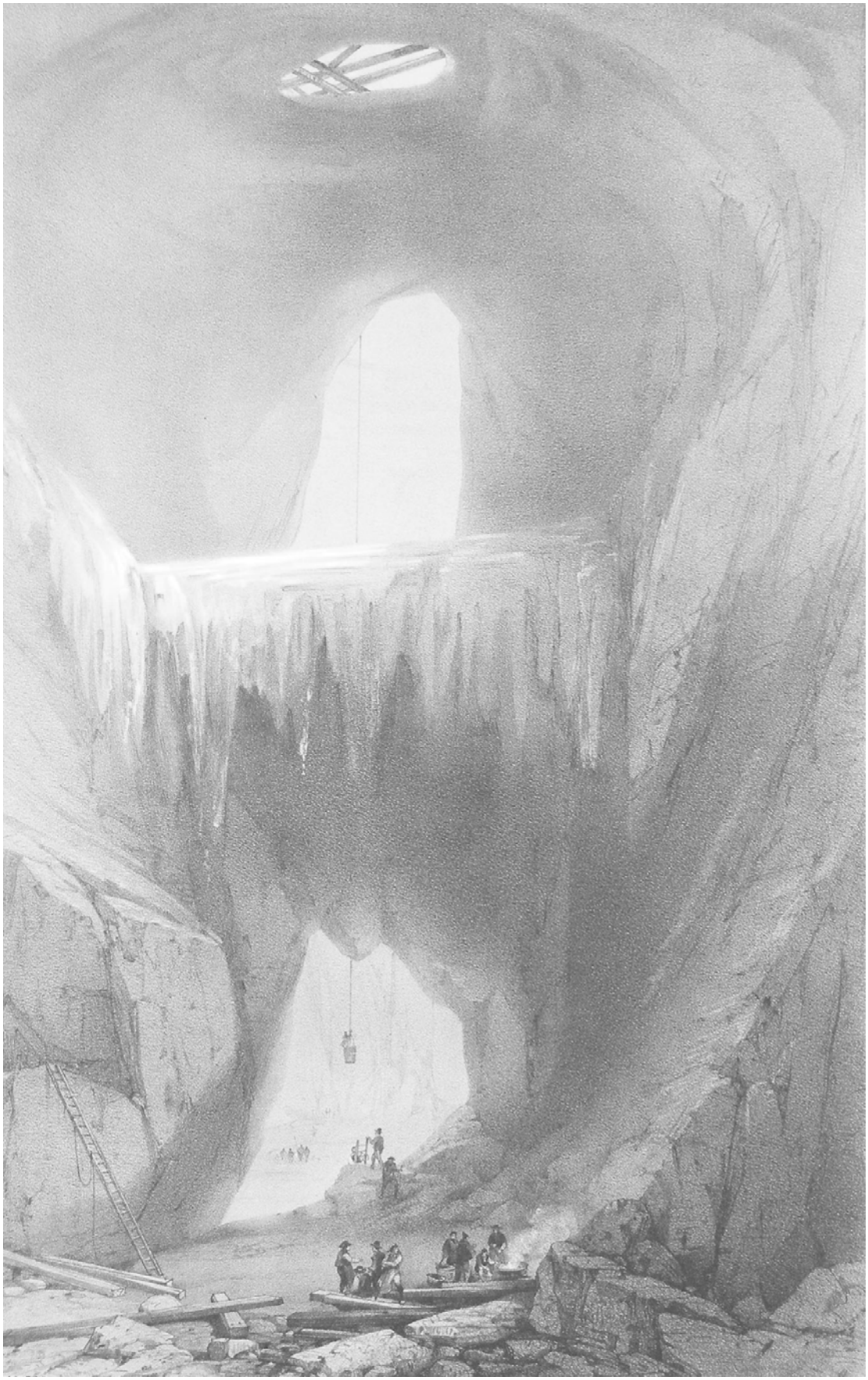


Fig. n°89 : Représentation d'une salle ouverte par le feu à Falun (XIXe siècle) (communication de cette iconographie par B. Ancel).

- . -

Les textes antiques attestent le recours à l'abattage par le feu dans certaines mines grecques, en Égypte, et dans les mines romaines. L'usage combiné de l'eau et du feu ou l'apport du vinaigre pour attaquer les roches sont la conséquence de croyances nourries par les théories pré-alchimiques sur l'association des quatre éléments. La mise par écrit de ces croyances pour l'usage minier du feu remonte à l'Antiquité romaine et perdure jusqu'à l'ère industrielle. Mais dans la pratique, l'apport de ces adjuvants en contexte minier est très ponctuel pour l'eau, et sert à refroidir l'espace de travail, et le vinaigre n'a jamais été employé. Le problème de l'aérage des travaux et les dangers du feu en contexte minier sont des sujets récurrents dans la documentation historique depuis l'Antiquité. Ils occupent une place centrale dans la réglementation médiévale dans laquelle les informations techniques ou pratiques sont réduites à une peau de chagrin. Par contre, le temps et les conditions de travail sont entraperçus. À partir de la Renaissance, la documentation s'enrichit. L'abattage par le feu est toujours sévèrement réglementé et considéré comme dangereux, mais il est fortement concurrencé par les techniques de taille manuelle. À partir du XVIIe siècle, l'usage du feu se maintient, mais l'usage de la poudre le supplante progressivement. Dans certaines mines, dans les roches très dures, le forage des trous est resté problématique, c'est pourquoi l'usage du feu s'est maintenu. La difficulté de la foration est surmontée à la fin du XIXe siècle avec l'introduction des machines de perforation électrique ou pneumatique qui supplantent définitivement le feu. Dans cette compétition entre techniques de taille, le facteur économique a été déterminant. Quand le bois était trop onéreux par rapport à la valeur de la substance exploitée, les techniques d'abattage classique sont restées en vigueur, ou, au contraire, les mineurs ont expérimenté de nouvelles techniques. La méthode par le feu a pu perdurer dans les régions forestières d'Europe du Nord et du Nord-Est pour l'exploitation de substances précieuses (or, argent, cuivre, jade, lapis-lazuli, émeri), et dans les contrées non-industrialisées où les techniques modernes peinaient à supplanter des techniques traditionnelles éprouvées[286].

[286] Voir par exemple Noshomusho 1909 à propos de l'introduction tardive de la poudre au Japon (1863).

II. REGARDS CROISÉS SUR LE COMBUSTIBLE BOIS MINIER

Depuis la Protohistoire, l'histoire de l'abattage par le feu est intimement liée à celle de l'industrie minière. Son usage qui paraît simple, puisque le feu est à la portée de tous, contrairement au maniement des explosifs et de la pointerolle, est en réalité complexe. Il semble que la technique ait connu une évolution technologique, non seulement avec l'élaboration d'ouvrages perfectionnés d'aérage, ou avec l'apport des machineries, mais avant tout dans l'art de gérer le combustible et de construire le bûcher. Faire un feu, qui plus est pour attaquer ou percer des roches dans les mines, relève d'un véritable savoir-faire que nous avons traqué dans un premier temps à travers une approche croisée de la documentation écrite et anthracologique. Avant cela, il est utile de caractériser en quoi consiste un feu et les propriétés combustibles du bois dont l'état est un facteur prédominant pour la conduite du feu ou de différents types de feux.

II.1. DES PROPRIÉTÉS COMBUSTIBLES DU BOIS

II.1.1. Les étapes de la combustion du bois

Sous l'action du feu, le bois subit des transformations liées à quatre phases physico-chimiques et thermiques qui sont la déshydratation, la torréfaction, la pyrolyse ou carbonisation et la comburation (Chabal *et al.* 1999, pp. 51-52). La connaissance de ces étapes permet de mieux envisager les propriétés combustibles du bois en fonction de l'essence et des facteurs extrinsèques.

La déshydratation correspond à la phase de libération de l'eau contenue dans les tissus du bois après un apport de chaleur conséquent. L'eau libre s'écoule facilement par les vaisseaux ou les canaux du bois et la production d'énergie thermique entraîne sa vaporisation.

L’évacuation de l’eau dite « liée » nécessite un apport énergétique croissant obtenu au fur et à mesure de la déshydratation. Lors de cette phase, on peut observer des bulles d’eau qui bouillonnent à la surface du bois. Au fur et à mesure de l’évacuation de l’eau, la température monte. De façon théorique, en conditions aérobies et sous pression atmosphérique, cette phase prend fin à partir de 170 °C. Jusqu’à 200 °C, le bois poursuit sa déshydratation au niveau de ses couches superficielles et libère des gaz combustibles et de la vapeur d’eau. À ce moment, le bois est anhydre car il est totalement privé d’eau. La dégradation des hémicelluloses provoque l’apparition de dioxyde de carbone, d’acides formique et acétique, de glyoxal et de méthane (Théry-Parisot 1998 ; Chabal *et al.* 1999, pp. 51-53). Lorsque le bois atteint les températures théoriques de 200 °C à 280 °C, la réaction thermique se poursuit plus profondément dans la bûche et la proportion de gaz libérés augmente. Ils sont constitués de dioxyde de carbone incombustible (70 %) et de monoxyde de carbone combustible (30 %). Lorsque le feu n’est pas assez alimenté en oxygène, ils produisent d’abondantes fumées noires. Les hémicelluloses se décomposent entre 200 °C et 300 °C et la cellulose entre 240 °C et 350 °C. Le résidu obtenu à l’arrêt de cette seconde phase est appelé bois torréfié. Il se caractérise par une couleur rousse-dorée observable à l’œil nu. De tels résidus ont été retrouvés dans des proportions infimes dans le combustible résiduel prélevé dans les fours de potiers médiévaux de Cabrera d’Anoia (Catalogne). Ils concernaient systématiquement des fragments de racines de pins insinuées dans les parois du four et dont la torréfaction aurait eu lieu accidentellement (Py 2001, p. 215). Au Fournel, 0,4 % des fragments analysés sont torréfiés. Cette faible proportion doit aussi être attribuée à des combustions incomplètes de pièces de bois qui ont chuté du bûcher, ou à la torréfaction de débris de bois issus de la préparation du bûcher (refente et tronçonnage) et éparpillés à côté du foyer.

La réaction devient *exothermique à partir de 275 °C et 280 °C car la température s’élève sans l’apport de calories extérieures grâce à la combustion des gaz inflammables, constitués essentiellement des hydrocarbures entre 380 °C et 500 °C. La cellulose est détruite entre 275 °C et 300 °C. Les lignines et les autres composés organiques sont détruits entre 280 °C et 500 °C pour former du charbon qui contient 80 % de carbone fixe. Cette phase, qui se déroule entre 275 °C et 500 °C, est nommée pyrolyse ou carbonisation. Les charbons s’enrichissent de carbone jusqu’à 90 et 95 % de leur constitution totale au-delà de 500 °C. Si le taux d’oxygène est insuffisant par rapport aux inhibiteurs de la réaction d’oxydation, le bois se calcine en produisant une quantité de charbons de bois qui ne brûlera pas. Si le feu est suffisamment alimenté en oxygène, on assiste au phénomène de comburation ou oxydation. Il

consiste en la combustion des résidus charbonneux. Elle est accompagnée suivant l'apport d'oxygène de l'air de l'inflammation des gaz. Mais, cette phase peut se produire sans production de flamme. Les charbons oxydés forment des braises incandescentes au-dessus de 700 °C et produisent des cendres résiduelles. Les charbons résiduels conservés dans les remblais miniers sont issus de la carbonisation. Ils ont donc été produits en raison d'un taux d'oxygène insuffisant qui résulte de l'aération du feu, de son intensité, et de la forme des bûchers. Ils conservent des propriétés combustibles. Leur réutilisation pour l'abattage par le feu et/ou pour d'autres étapes de la chaîne opératoire métallurgique est possible, mais doit être démontrée.

G. E. Sandström s'est basé sur la dégradation chimique des hémicelluloses (qui n'est pas propre au bois vert) pour expliquer la mention du vinaigre dans la traversée des Alpes par d'Hannibal racontée par Tite-Live (Sandström 1963). En effet, lors de cette phase physico-chimique et thermique de la combustion du bois, certains composés comme l'acide acétique constituent une grande part de l'acide pyroligneux, appelé aussi « vinaigre de bois » qui dégage une forte odeur de vinaigre. Elle serait à l'origine du mythe. Or, la combustion à l'air libre de bois vert, même gorgé de résines, ne permet pas d'obtenir de l'acide pyroligneux. Les sous-produits se dégageant à l'état de vapeur et de gaz et s'échappant dans l'atmosphère sous forme de fumées, doivent être récupérés à travers des tuyaux réfrigérés. Seule la distillation permet d'obtenir l'acide pyroligneux qui se compose principalement d'eau et de substances chimiques dont l'acide acétique, le méthanol et l'acétone. Il est donc difficilement concevable que l'armée d'Hannibal ait produit une telle substance en conduisant des feux d'abattage.

II.1.2. Variation des propriétés combustibles en fonction de l'espèce

Avant l'avènement de l'ère industrielle, le bois était la source d'énergie de base commune à de très nombreuses activités domestiques, artisanales et industrielles. Avec le développement de la production des énergies fossiles comme le gaz et le pétrole et des énergies nouvelles comme le nucléaire, le bois a été relégué au second plan. Dans les sociétés occidentales développées et urbanisées qui se sont tournées massivement vers des énergies plus productives, donc moins coûteuses, l'usage du bois en tant que combustible est même devenu une forme de luxe et un élément de plaisir (Théry-Parisot 2001, p. 15). Depuis les dernières décennies, grâce à un engouement nouveau pour le combustible bois[287], en raison de ses vertus écologiques dans un plan de développement durable et du coût grandissant des énergies fossiles non renouvelables, le nombre de foyers français équipés d'un chauffage au bois a augmenté : il est évalué à 5 millions (source : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie). Ce chiffre correspond à 1/5 des foyers français, ce qui demeure peu par rapport à toute la période préindustrielle (source : Institut National d'Études Démographiques).

Notre vision actuelle du combustible bois est faussée car les usages que nous en faisons sont très réduits par rapport à la variété de ses propriétés. Ces dernières sont mal connues et sont la source de nombreuses idées reçues, surtout liées à des notions de « meilleur combustible » ou de « température plus élevée » produite par une essence plus que par une autre. Ainsi, le Chêne est considéré comme le bois de chauffe idéal « parce qu'il dure plus longtemps ». Cette notion de durée est associée dans l'inconscient collectif à celle de production d'énergie plus importante. Or, il n'y a pas de bon ou de mauvais combustible, mais une palette d'espèces qui ont chacune des qualités spécifiques. Les bois légers ou à faible densité, comme le Peuplier ou le Sapin pour citer un résineux, produisent grâce à leur structure aérée des flammes hautes et lumineuses. Cette énergie rayonnante est idéale pour la cuisson des poteries par exemple. Les qualités chimiques des espèces, comme les résines des pins, vont influer de façon bénéfique sur l'inflammabilité du bois et la hauteur des flammes.

[287] Le recours aux bioénergies est valorisé par l'état français depuis moins de dix ans avec le plan « bois-énergie 2000-2006 » et loi fiscale sur les appareils utilisant les renouvelables.

Les bois à densité plus compacte produisent des flammes plus courtes, et brûleront plus longtemps comme le Chêne. Or, le Chêne ne produit pas plus de chaleur que la Sapin ou le Peuplier. Le pouvoir calorifique (exprimé en Kcal/kg ou en MJ/kg) qui correspond à la quantité de chaleur dégagée pour la combustion complète d'un kilogramme de combustible, produit par des bûches présentant le même taux d'humidité, poids et calibre, est très proche pour toutes les espèces. À taux d'humidité nul, il se situe vers 19MJ/kg chez les feuillus et 22MJ/kg chez les résineux (Loreau 1994). L'énergie est tout simplement fournie différemment. C'est en ces termes qu'il existe bien une hiérarchie des essences classées en fonction des propriétés requises pour la conduite d'un feu spécifique. Or, peu de personnes sont aptes aujourd'hui à conduire un feu pour une activité particulière.

Le transfert de chaleur est réalisé par trois processus physiques simultanés qui sont la conduction, la convection et le rayonnement (Théry-Parisot 2001, encart A, p. 17). La conduction correspond aux échanges énergétiques réalisés entre les particules d'un milieu où règne un gradient de température. Il y a donc conduction dans un matériau continu. Ce transfert de chaleur est idéal pour la cuisson des matières premières (cuisson indirecte). La convection correspond aux échanges énergétiques réalisés entre la paroi d'un solide et un fluide en mouvement. Elle est tributaire de la vitesse de déplacement de l'air. Ainsi, dans un foyer, l'essentiel des transferts thermiques se fait par convection, énergie idéale pour le chauffage d'un lieu clos, le séchage et le fumage. Le rayonnement caractérise les échanges de photons entre un matériau et son environnement. La lumière visible des flammes d'un foyer est réfléchie et diffusée sans échange énergétique tandis que l'énergie des photons émis dans le domaine de l'infrarouge est absorbée par l'air ambiant. Cette forme de production d'énergie est idéale pour l'éclairage, le chauffage d'un corps et la cuisson directe. En fonction de leurs propriétés propres, les essences vont favoriser un mode de transfert de chaleur plutôt qu'un autre, et peuvent répondre de façon optimale à une activité particulière comme l'abattage par le feu.

Faire du feu commence déjà par le choix de son bois. Pour la production d'une énergie rayonnante, il faut plutôt choisir des bois tendres qui flambent plus vite que les bois denses et produisent des flammes plus hautes et plus lumineuses. Les bois durs flambent moins vite et produisent des flammes courtes, mais leur durée de combustion est plus longue. Ils sont *a priori* mieux adaptés que les bois légers pour alimenter le foyer qui reste allumé nuit et jour pour répondre aux divers besoins des activités domestiques quotidiennes (cuisson, chauffe, fumage, séchage etc.).

Après la densité du bois, les propriétés combustibles des essences varient en fonction de leur proportion de composés organiques qui peuvent former jusqu'à 20 % de la composition totale du bois. Il s'agit des résines, des huiles végétales, des huiles essentielles et des extraits à l'éther qui agissent sur la rapidité de l'inflammabilité et augmentent le pouvoir calorifique du bois. Ces propriétés sont notamment intéressantes pour la fabrication de torches. Les bois riches en composés comme les résineux accroissent l'élévation de la température d'un foyer au cours des premiers stades de la combustion. Ils favorisent la création d'un choc thermique. L'augmentation sensible du pouvoir calorifique dépend aussi des constituants chimiques du bois. La lignine et les extraits ont une valeur calorifique élevée contrairement aux celluloses et aux cendres. Les résineux ayant un taux de lignine plus élevé que les feuillus ont un pouvoir calorifique souvent supérieur contrairement à ce qui est communément admis. Certains composés inorganiques qui représentent 1 % de la composition chimique du bois, comme la silice et le phosphore, ont inversement une influence néfaste sur l'inflammabilité. Leur variabilité d'un individu à l'autre est liée aux conditions de croissance de l'arbre et non à l'espèce en elle-même. On observe même une variation des proportions de certains constituants, suivant la saison d'abattage. Les bois abattus en été présentent de fortes proportions de potasse et d'acide phosphorique qui peuvent favoriser le développement de certains organismes de fermentation.

La densité du Mélèze sec à l'air (0,62) est un peu plus élevée que celle du Pin sylvestre, du Pin cembro et du Sapin blanc (comprise entre 0,45 et 0,55). Ces dernières espèces sont classées dans les « bois légers et tendres » tandis que le Mélèze est classé dans les bois « mi-lourds et mi-durs ». Sa dureté par rapport aux autres résineux actuellement présents dans la Haute-Durance, liée en partie à sa croissance lente et serrée, a fait de lui l'espèce privilégiée pour le bois d'œuvre extérieur. À calibre et taux d'humidité égale, une bûche de Pin sylvestre ou de Sapin flambe plus vite et mieux qu'une bûche de Mélèze dont la combustion va durer par contre un peu plus longtemps.

Les résines contenues dans ces quatre espèces ont un pouvoir calorifique très élevé et génèrent une bonne inflammabilité du bois. Or, les éléments minéraux appelés aussi cendres[288] influent de façon néfaste sur cette propriété des résineux. Plus leur taux est élevé moins le bois s'enflamme vite. Ces composés inorganiques sont par exemple présents à la

[288] Les cendres sont principalement composées de soufre, phosphore, chlore, silicium, potassium, calcium, magnésium, fer et sodium.

hauteur de 0,3 % chez le Pin sylvestre et 0,17 % chez le Mélèze, soit presque deux fois moins. Le Mélèze, plus dense, demeure malgré tout moins inflammable que les pins et le Sapin. En dépit de ces variations des propriétés combustibles des essences qui jouent surtout un rôle dans la dynamique du feu (inflammabilité, hauteur des flammes et durée), leur pouvoir calorifique varie très peu à taux d'humidité et à calibre égal. Il est presque égal chez le Pin sylvestre (4556 Kcal/kg) et le Sapin (4559 Kcal/kg) et très légèrement plus élevé chez le Mélèze (4597 Kcal/kg). Leur propriété énergétique est donc quasi la même. Par contre, si on se base sur les critères actuels de bons et de mauvais combustibles, le Mélèze est classé en dernier. Ses flammes sont moins vives, moins lumineuses, son démarrage à l'allumage est plus long et le bois « crépite ».

Le combustible utilisé en priorité par les mineurs de la Haute-Durance pour l'abattage par le feu est donc classé par les vendeurs de bois de chauffe dans les combustibles moyens. Or, ce classement répond à une image réductrice de l'énergie bois. Ses propriétés combustibles qui sont le pouvoir d'inflammabilité, le pouvoir calorifique, la température des flammes et interne du bois, la hauteur des flammes et la durée de *calcination, sont régies par des facteurs extrinsèques (forme du foyer, apport d'oxygène, taux d'humidité du bois) dont la bonne maîtrise permet d'exécuter tous types de feux avec n'importe quelle espèce (Théry-Parisot 1998).

II.1.3. Variations des propriétés combustibles en fonction des facteurs extrinsèques

Le facteur qui a le plus d'incidence sur la conduite d'un feu et les propriétés combustibles d'un bois, quelle que soit l'espèce, est le taux d'humidité[289]. L'hygrométrie comprend l'eau libre, contenue dans les vides cellulaires du bois vert, et l'eau liée (ou d'imprégnation) qui imprègne les membranes des cellules. Un bois humide, mouillé ou vert, brûle moins bien qu'un bois bien sec. Il s'enflamme difficilement et brûle longtemps sans dégager beaucoup de chaleur. En effet, au moment de l'abattage, le bois peut contenir plus d'eau que de matière-bois (40 à 85 % sur brut). Les vides cellulaires sont remplis d'eau libre qui s'évacue progressivement après l'abattage par évaporation. On parle alors de la phase de « ressuyage », réalisée à l'air libre, et pratiquée le plus souvent en forêt sur le lieu d'abattage. Si cette eau n'a pas été évacuée avant la combustion, l'énergie produite lors de la phase de déshydratation est massivement utilisée pour sa vaporisation. La température ne peut pas s'élever au-delà de 100 °C tant que toute l'eau contenue dans le bois n'a pas été vaporisée (Théry-Parisot 2001, p. 44). Par conséquent, l'humidité contenue dans le bois influe directement sur l'accroissement du temps de séchage durant la première phase de combustion et sur la hauteur des flammes dont la persistance est une fonction hyperbolique de la teneur en eau. Plus les bois sont humides, plus les flammes seront courtes et leur durée éphémère. Consécutivement, la durée de calcination augmente avec le taux d'humidité (Loreau 1994, pp. 51-52). Un taux d'humidité élevé a une influence néfaste sur le pouvoir calorifique qui réduit considérablement chez les bois verts. Une bonne gestion de taux d'humidité permet donc de faire varier la dynamique du feu, la durée de calcination et la production de chaleur.

[289] La mesure de l'humidité d'un bois est définie comme le rapport de la masse d'eau qu'il contient sur sa masse anhydre.

POUVOIR CALORIFIQUE DU BOIS EN FONCTION DE L'HUMIDITÉ				
	En MJ/kg		En kWh/kg	
Humidité (%)	Feuillus	Résineux	Feuillus	Résineux
0	19	20	5,1	5,3
5	17,9	18,9	4,8	5
10	16,9	17,8	4,5	4,7
15	15,8	16,6	4,2	4,4
20	14,7	15,5	3,9	4,1
25	13,6	14,4	3,7	3,8
30	12,6	13,3	3,4	3,5
35	11,5	12,1	3,1	3,2
40	10,4	11	2,8	2,9
45	9,4	9,9	2,5	2,6
50	8,3	8,8	2,2	2,3
55	7,2	7,7	1,9	2
60	6,1	6,5	1,6	1,7
65	5,1	5,4	1,3	1,4
70	4	4,3	1,1	1,1
75	2,9	3,2	0,8	0,8
SOURCE UCFF (Union de la Coopération Forestière Française)				

Tabl. n°23 : Pouvoir calorifique du bois en fonction de l'humidité d'après les données de l'UCFF.

L'humidité contenue dans le bois est directement liée à son état phénologique et/ou physiologique. Les différents états du bois, vert, sec, vivant, mort, sain ou altéré, engendrent une variation importante de son taux d'humidité qui a des répercussions directes sur ses qualités combustibles quelle que soit son espèce (Théry-Parisot 2001, p. 16). Le bois mort est plus inflammable que le bois sain (vert) car sa teneur en eau est plus réduite et sa proportion d'air est forte, facilitant l'oxydation (Théry-Parisot 1998). Il est idéal pour l'allumage d'un foyer quand on ne dispose pas de bois secs. Par temps de pluie, le bois mort conserve ses propriétés inflammables s'il est refendu de façon à atteindre son cœur qui est toujours plus sec. Intéressant pour les activités domestiques (campement saisonnier), le bois mort peut difficilement être exploité à une échelle artisanale ou industrielle, sauf de manière marginale ou ponctuelle, puisque sa production dépend de l'élagage naturel.

La saison d'abattage et l'essence entraînent une variation importante du taux d'humidité du bois liée à la circulation de la sève (*cf.* tabl. n°23, p. 1082). Les résineux présentent un taux minimal en hiver et maximal en été. Ils contiennent en moyenne plus d'humidité que les feuillus, mais leur durée de séchage théorique est presque la même. Dans les régions riches en résineux, il est recommandé d'abattre le bois de construction ou de feu en hiver pour éviter les engorgements de résines fortement nuisibles au travail du bois et lors de la combustion. Les résines brûlées dans un espace confiné créent du noir de fumée (suie) qui encrasse

abondamment les cheminées. Cette substance noire et grasse était utilisée au XIXe siècle pour la fabrication de peintures, d'encre ou de cirage.

Le taux d'humidité du bois vert varie encore en fonction de l'importance du rapport « volume *aubier / volume total » dans la mesure où les cellules jeunes contiennent toujours une quantité d'eau plus importante que celle rencontrée au niveau du bois parfait. Le taux d'humidité est donc variable dans un même arbre selon que l'on se trouve dans le tronc, les grosses branches ou les jeunes branches. Le bois de tronc fraîchement abattu, débité en petits calibres, est donc plus adapté que des jeunes branches de bois verts pour l'allumage et l'entretien d'un foyer en plein air.

L'obtention de bois sec implique un temps de séchage qui entre dans le cadre de la chaîne opératoire du feu. Il varie après la coupe de l'arbre en fonction des conditions climatiques, du mode de stockage et de la morphologie des bois stockés. Une bûche de 33 cm pour atteindre théoriquement un taux d'humidité idéal pour alimenter un feu, c'est-à-dire 13 à 27 % sur sec, doit subir après son abattage une période de séchage hors abri d'au moins 3 ans (*cf.* tabl. n°24, p. 1084). Le stockage sous abri dès le façonnage des bûches en tronçon d'une trentaine de centimètres de longueur, stockés en rondins ou en quartier, est le mode de séchage optimal pour le bois de feu (minimum 1 an). À l'air libre, le stockage en quartiers est bien plus rentable qu'en rondins (minimum 1 an) puisque le volume à sécher est fractionné. Dans ces conditions, le bois en séchant se met progressivement en état d'équilibre hygroscopique avec l'atmosphère ambiante. Cet état est pratiquement indépendant de l'essence du bois, mais on peut rencontrer des écarts sensibles. Lorsqu'il est atteint, le bois est sec, mais son taux d'humidité continue à subir des variations saisonnières. Sous climat tempéré, en été, les conditions atmosphériques sont de l'ordre de 20°C et 70 % d'humidité relative de l'air (HR), ce qui correspond à un équilibre hygroscopique du bois d'environ 13 %. En hiver, elles sont de l'ordre de 0 à 5°C et de 85 % (HR), ce qui correspond à un équilibre hygroscopique du bois de l'ordre de 19 % (Source : Comité National pour le Développement du Bois). Dans la région intra-alpine où le contraste ubac/adret est important, de légères variations de l'équilibre hygroscopique sont perceptibles. Les conditions d'exposition de l'adret facilitent le séchage et réduisent le temps de stockage par rapport aux ubacs où l'on observe un microclimat plus humide et plus frais.

HUMIDITÉ MOYENNE DU BOIS								
Temps de séchage	Stères laissés à l'air libre		Stères stockés sous abri après 3 mois de séjour sur coupe		Bûches de 33 cm stockées sous abri 3 mois après abattage		Bûches de 33 cm stockées sous abri dès le façonnage	
	Q	R	Q	R	Q	R	Q	R
0 (H% init.)	75	78	76	78	75	78	73	76
3 mois	48	62	48	61	44	61	36	40
6 mois	37	46	32	45	29	35	25	29
9 mois	33	38	27	37	26	28	24	28
1 an	26	35	26	33	25	27	23	27
1 an 1/2*	18	27	18	21	17	17	15	16
2 ans	16	24	16	17	16	14	14	13
2 ans 1/2	15	24	15	18	15	14	13	13
H % init. : Humidité initiale / Q : Quartiers / R : Rondins / * Durée minimum souhaité								
D'après DEVILLE								

Tabl. n°24 : Temps de séchage et humidité moyenne du bois d'après Deville.

L'autre facteur qui a une incidence importante sur le comportement du bois au feu est la morphologie ou le calibre des bois utilisés (taille et diamètre, largeur et épaisseur). Il joue directement sur l'inflammabilité et la vitesse de combustion qui accroissent en fonction de la finesse du calibre et de la surface exposée à la flamme. Plus le morceau de bois est fractionné en éléments fins, plus les gaz de combustion s'enflamment vite. Il est donc possible de produire des flammes hautes et vives et une chaleur rayonnante avec des bois denses finement refendus. Par exemple, les bois de feuillus denses deviennent très inflammables lorsque leur épaisseur est inférieure à 14 mm. Au-dessus de cette épaisseur, ils sont moyennement inflammables. Les résineux deviennent très inflammables lorsque leur épaisseur est inférieure à 18 mm. À taux d'humidité et à calibre égal, les espèces peu denses à moyennement denses et riches en résines très inflammables sont toujours mieux adaptées que des espèces denses et pauvres en résines et en extraits.

Les feux de branchettes ou de brindilles flambent vite et montent rapidement en température, mais ne durent pas. Le maintien de la température élevée d'un bûcher de branchages nécessite une réalimentation régulière du foyer. Pour obtenir avec des branchages de faibles diamètres un feu aussi durable qu'avec des grosses bûches, le volume de petits-bois ou de fagots préparé pour la confection du bûcher doit nécessairement être beaucoup plus important. Par conséquent, l'aire de stockage doit être adaptée. Les feux de petits calibres n'ont pas d'intérêt pour le chauffage d'un espace clos et pour toutes sortes d'activités

nécessitant le maintien d'un feu couvant et à flammes courtes. Par contre, ils peuvent être parfaitement adapté pour la cuisson des poteries, pour faire augmenter rapidement la température d'une pièce, ou encore pour créer un choc thermique au contact d'un matériau. En raison de sa faible conductivité, le feu peut durer lorsque la surface de bois soumise à la flamme est importante. La conduite d'un feu pour une activité spécifique va donc nécessiter une parfaite gestion du calibre et de la morphologie du bois, en alliant des éléments fins et plus épais, larges ou étroits (brindilles, branches, tronc en quartiers ou en rondins), pour gérer l'inflammabilité du bûcher ou du foyer, sa vitesse de combustion et sa dynamique.

Il est donc possible de modifier le comportement du bois au feu en faisant varier son calibre, sa morphologie, son hygrométrie et son espèce. Les propriétés combustibles optimales d'une espèce sont mesurées à calibre et taux d'humidité égals avec une autre espèce. Une bonne gestion de ces deux facteurs permet d'adapter les propriétés d'une espèce aux besoins de tout feu. L'espèce joue donc un rôle secondaire. Ce postulat valide une nouvelle fois la valeur paléoécologique des charbons de bois miniers. Le choix des espèces a été *pro parte* dicté par leur disponibilité dans l'environnement pour un usage industriel.

II.2. ÉTATS DU COMBUSTIBLE BOIS POUR L'ABATTAGE PAR LE FEU

II.2.1. Les données de la documentation écrite et iconographique médiévale et moderne

Pour ce chapitre, notre analyse a été volontairement limitée à la documentation écrite et iconographique des XIVe-XVIIIe siècles. Avant le XIVe siècle, le corpus se compose essentiellement des mentions de l'abattage par le feu dans les textes antiques, peu instructifs sur la question du combustible. Avant la mise par écrit des règles de l'exploitation minière, c'est-à-dire principalement avant le XIIIe siècle, l'époque médiévale correspond à une longue phase de vide documentaire concernant l'extraction par le feu. Après le XVIIIe siècle, la documentation dépouillée est trois fois plus importante que pour le seul XVIIIe siècle. Elle se compose d'un grand nombre d'écrits techniques et savants allemands[290] dont le contenu est abordé par le biais de traductions réalisées par des spécialistes et des érudits. Pour les plus importants, leur étude plus approfondie mériterait une coopération avec des spécialistes de la littérature minière germanique. De façon générale, les textes du XIXe siècle reprennent ou analysent les informations données par les auteurs antiques, ceux de la Renaissance et des XVIIe-XVIIIe siècles. Les abondants traités techniques, la littérature encyclopédique et les récits de voyage concernent des contextes miniers très éloignés de ceux du Moyen Âge et de la Renaissance et traitent en priorité des évolutions technologiques propres à l'ère industrielle. Nous y avons eu recours que ponctuellement.

[290] L'étude de l'abattage par le feu réalisée par M. F. Gätzschmann est probablement la plus riche, la plus dense et la plus complète pour le XIXe siècle, GÄTZSCHMANN (M. F.), *Vollstandige Anleitung zur Bergbaukunst – Die Gewinnungslehre*, Freiberg, 1846, pp. 678-717.

XIVe-XVIe siècles

Les données écrites et iconographiques médiévales sur les caractéristiques du combustible utilisé pour l'abattage par le feu en contexte minier sont rares, imprécises et tardives. Les plus anciens textes (XIIIe s.) qui mentionnent cette technique traitent surtout de la réglementation de son usage sous terre pour parer au danger mortel de suffocation, plus rarement de la réglementation de l'accès au bois, mais jamais du type de bois en lui-même (essence, calibre, état phénologique, humidité) et de leurs propriétés combustibles. Les statuts communaux sardes de la Villa di Chiesa[291] di Sigerro (Iglesias) datés de 1327 sont l'exception. Ils apportent quelques renseignements sur le bois utilisé pour la mine. Dans ce secteur, les ouvrages taillés par le feu sont très importants et la consommation en bois a certainement été importante. On rapporte que les mines de galène argentifère rouvertes au XIe siècle par les Pisans présentent des puits ouverts par le feu mesurant jusqu'à 180 m de profondeur, ce qui est considérable[292].

L'article LIII du Livre I du *Breve* précise qu'il était possible de prélever tout type de bois nécessaire pour le développement de l'industrie minière dans les forêts du roi. Ils sont caractérisés par les termes « *ceppo* » et « *scaldatore* »:

> « […] *si possano traggere ognia legname necessario et bisognevile per benificare l'argentiera, cioè ceppi et, scaldatore, et tucto altro legname che bisogna a forni che colino l'ariento, et lo ligname da fuoco et da serrare bisognivele alle fosse,* […] »[293].

En italien, le premier mot est utilisé pour désigner les ceps de vigne, les souches d'arbre, les billots, les troncs, les rondins ou encore les bûches. En français, ce terme traduit par « cépée » désigne au contraire les rejets de bois sortant d'un même tronc. Il est donc difficile de lui donner une traduction française correspondant au sens donné dans le *Breve*. Il désigne manifestement un type morphologique (gros ou petit calibre) ou une partie d'un arbre

---

[291] À propos de l'histoire minière dans ce secteur voir : DE LAUNAY (L.), Histoire de l'industrie minière en Sardaigne, *Annales des Mines*, t. I, 1892, pp. 511-538 ; CAPACCI (C.)., Studio sulle miniere di Monteponi, Montevecchio e Malfidano in Sardegna, *Bollettino della Società geologica italiana*, vol. XV, Roma, 1896, pp. 599-628 et Tangueroni 1985.

[292] COLLINS (A. L.), Fire-sitting : the art of mining by fire…, pp. 82-88 ; CAPACCI (C.), Studio sulle miniere…, p. 622.

[293] BAUDI DI VESME (C.), MARCHESE (E.), *Codex Diplomaticus Ecclesiensis, Historiae Patriae Monumentae,* vol. XVII, Torino, 1877, col. 5-22, pp. 25-246.

(souche) plutôt qu'une espèce. Ce terme est employé dans un autre article qui réglemente la vente des *ceppi* (article LXXVI, Livre 4). Il est stipulé qu'il est interdit de mettre des *ceppi* coupés ou refendus sous peine d'une amende :

> « *Ordiniamo, che qualunqua persona che vendessi ceppi non debbi mettere alcuna ceppa in alcuno ceppo cupo, a pena di marcho uno d'ariento auuo' del Signore* […]. »[294]

Cette disposition du statut est difficile à interpréter. Les *ceppi* doivent apparemment être vendus sous leur forme brute. Pour cette raison, nous pensons que le terme désigne ici les souches d'arbres. L'origine étymologique du mot va dans ce sens : le terme latin *cepe* ou *cepa* désigne un oignon (partie souterraine de la plante).

Le second mot, *scaldatore*, est peu courant en italien. Il semble désigner le bois plus spécifiquement utilisé pour la chauffe (bois de chauffage). En effet, il dérive du terme italien *scaldare* ou « chauffer » en français.

Avec l'utilisation de ces deux termes, l'accent n'est pas mis sur la ou les essences de bois utilisées en priorité pour la mine, mais plutôt sur des types de bois regroupant sûrement plusieurs essences et étant caractérisés par leur morphologie et/ou leur état phénologique et hygrométrique. Le bois de feu, « *ligname da fuoco* », qui alimente les fours doit regrouper plusieurs types morphologiques caractérisés par un taux d'hygrométrie faible approprié pour la chauffe. Il existe aussi une expression particulière pour désigner le bois utilisé pour l'étayage des fosses « *et* [*ligname*] *da serrare bisognive alle fosse* ». Cette précision implique encore une fois un type morphologique ou phénologique indépendant de l'essence.

Ces mêmes termes (*ceppi* et un mot dérivé de *scaldatore*) sont employés dans l'article XVIII du Livre II du *Breve* concernant l'interdiction de mettre le feu dans les bois « *Di non metere fuocho in alcuno boscho* ». Un passage de l'article stipule qu'il est interdit de charbonner dans les bois réservés à la mine dans lesquels on tire *ceppi*, *pertiche* ou *scaldatoje* pour la métallurgie et le bois d'étayage :

> « […]. *Et quiunqua fa carboni, debbiano farli in tal modo che non tegna dapno, nè faccia ad alcuno bosco che abisogna in argentiera. Et intendasi che sia bosco che bisogni in argenteria, et che sia bosco vietato, lo quale bosco sia bosco di ceppi di smarare, et di pertiche o scaldatoje da smirare, o da ligname da serrare. Et in tucti altri boschi*

[294] BAUDI DI VESME (C.), MARCHESE (E.), *Codex Diplomaticus…*, libro quarto, pp. 225-226.

> *possa fare carboni ad sua volontà. Et chi contra facesse, paghi la suprascripta pena per ogni volta*. »[295]

Les termes « bois de chauffe » ou « bois de chauffage » est employé dans le récit de Lu Jung daté de 1475 pour désigner le combustible utilisé pour l'abattage par le feu dans les mines de cuivre chinoises :

> « Pour l'exploitation minière du cuivre, ils commencent par prendre de grands morceaux de bois de chauffage de diverses longueurs, les empilent vers le haut contre la veine métallifère, y mettent le feu, et laissent brûler toute la nuit. Cela rend les veines molles et fragiles. »[296]

Plutôt que sur une essence particulière, le texte pointe la question du calibre des bois : des grands morceaux de diverses longueurs, donc des morceaux refendus ou non de forts calibres et non des ramilles ou des branchettes. On utilise du « bois de chauffage » pour faire du combustible minier. Un des critères spécifiques du bois de chauffage est son faible taux d'humidité. Mais le texte n'est pas plus précis à ce sujet.

Le règlement minier de l'ancienne mine de Novo Brdo en Serbie, établi sur l'ordre impérial par les soins du Mirliva de Vucitrn, du Qadi de Novo Brdo et du Kemal du corps des Sipahis en 1488[297] d'après la tradition, révèle que l'abattage par le feu était réalisé non seulement avec du bois, mais aussi avec du charbon de bois :

> « [Les dépenses] […] pour le charbon et le bois à surchauffer [la veine de] minerai dans le puits ; pour les salaires [des ouvriers] Mécréants qui allument le charbon et le bois et l'éteignent. »[298]

Il existe donc une technique qui associe les deux types de combustibles dont les propriétés et le comportement au feu sont très différents. Les charbons de bois possèdent un pouvoir calorifique supérieur au bois. Leur combustion peut générer un dégagement de chaleur important. En gérant l'apport d'air, on peut faire augmenter ou baisser la température du foyer et réguler la durée de combustion. Cette opération est bien plus délicate avec un feu de bois. Les charbons de bois sont un combustible idéal pour chauffer des matériaux par conduction et pour obtenir des températures élevées dans des structures fermées alimentées par un souffle d'air. La production de flamme étant très limitée, ils ne sont pas adaptés pour la

---

[295] BAUDI DI VESME (C.), MARCHESE (E.), *Codex Diplomaticus…*, col. 5-22.

[296] LU JUNG, *Shu Yuan Tsa Chi*, 1475, ch. 14, p. 9a.

[297] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…*, n°20, § 3, 234.

[298] BELDICEANU (N.), *Les actes des premiers sultans…, ibid.*

production d'énergie rayonnante. Leur utilisation pour l'abattage par le feu doit répondre à une exigence technique particulière comme l'attaque de la sole d'une galerie ou d'un chantier. Cet usage combiné (alternance de feux avec des charbons et de feux avec du bois) n'est pas répertorié par ailleurs dans la documentation médiévale. Par exemple, dans le *Breve* sarde de la Villa di Chiesa, il n'est jamais question de charbons de bois pour l'abattage par le feu alors que son utilisation est réglementée pour les activités métallurgiques[299]. Il peut s'agir d'une spécialisation régionale et/ou d'une évolution technologique qui aurait eu lieu dans le courant du XVe siècle. Les autres mentions connues de cet usage combiné datent du XVIe siècle.

L'article 33 des Lettres patentes de Philippe II (non signées) datées du 18 février 1573 réglemente l'usage du feu dans les mines de Saint-Bresson et de Rovilliers :

> « Item, en cas qu'il convienne faire feug de charbon ou bois pour amolir la roche de la mynne les copeurs et ouvriers se regleront et parlementeront ensemble et par advis dudit presvost feront ledit feug afin qu'il s'alume pour un conpte une mesme heure et que les copeurs et aultres ouvriers sevans a ladite mynne ne puissent estre precipitez et surprins du mauvais air aultrement ceulx qui feront le contraire seront puniz et chastiez par ledit prevost. »[300]

Ici, le charbon de bois et le bois sont utilisés probablement en alternance pour l'abattage par le feu. Mais cette technique réglementée à cause de ses nuisances paraît usitée de façon très ponctuelle et spécifique. Bien qu'il soit impossible de le généraliser, le recours au charbon de bois paraît ici usuel.

Une autre mention de l'usage combiné du charbon de bois et du bois, datée de 1579, est tirée du récit de F. Garrault sur l'exploitation des mines d'argent trouvées en France :

> « Les ourviers estans sur le fillon, le despecent & suyvent tousjours en fouillant sous terre, qu'ils estayent soigneusement, craignant qu'elle ne fonde. Et si d'avanture le fillon traverse quelque roche, si elle est petite, ils minent à costiere, pour reprendre le fillon par derrière, mais si elle est grosse qu'elle ne puisse tournoyer sans grands frais, peine & danger, lors on la brusle à force de bois & charbon, puis estant recuite & bruslée, est facilement rompue & brisée avecques marteaulx de fer […] »[301]

---

[299] BAUDI DI VESME (C.), *Dell'industria delle miniere nel territorio di Villa di Chiesa (Iglesias) in Sardigna nei primi tempi della dominazione aragonese*, Torino, 1870, p. 111.

[300] A.D.D., B 2368, transcription A. Wéber inédite, communication F. Pierre.

[301] GARRAULT (F.), Des mines d'argent trouvées en France, *in* : GOBET (N.), *Les anciens minéralogistes du royaume de France*, Paris, 1779, I, pp. 48-49.

Ce texte n'est pas plus précis que le précédent sur les modes d'application propre à cette technique combinée dont l'usage n'est pas systématique : il est réservé aux roches les plus dures. Il n'est pas mentionné dans le *De re metallica* de G. Agricola, daté de 1556, qui demeure le texte le plus ancien, mais aussi le plus détaillé, auquel nous avons pu avoir recours pour caractériser le combustible utilisé pour l'abattage par le feu dans les provinces germaniques et l'Europe du Nord. Dans un court chapitre consacré à cette technique, l'auteur insiste à plusieurs reprises sur l'état hygrométrique du bois, qualifié de « sec ». Mais son calibre, sa morphologie et l'espèce la plus appropriée ne sont pas spécifiés. Il est par contre précisé que des brindilles et des copeaux de bois très inflammables étaient placés en éventail avec le reste du bois pour attaquer les petites veines :

> « Si le trou est bas on ne dispose qu'un tas de bois, s'il est haut on en met deux l'un au-dessus de l'autre, de façon que le tas inférieur enflammé embrase le tas supérieur. […] lorsque les filons sont très larges, […], les mineurs creusent entre les petites veines et dans ces trous ils placent aussi du bois sec, et intercalent de place en place des morceaux plus serrés mis en éventail avec de petites brindilles et des copeaux qui prennent facilement le feu et enflamment le reste du bois. »[302].

La gravure qui accompagne le texte apporte encore un peu plus de précisions (*cf.* fig. n°90, p. 1092). Les bois aménagés dans le bûcher sont des branches et/ou des jeunes troncs non refendus, coupés en tronçons d'un mètre environ en se basant sur la taille du mineur. Leur calibre est régulier. Leur diamètre paraît compris entre 5 à 10 cm pour les plus grosses bûches. Dans la partie supérieure de l'image, un homme est affairé à la préparation des copeaux. Il est installé assis devant un établi bas et rabote à l'aide d'un outil de type plane (lame de fer ou d'acier muni de deux poignées) une bûche écorcée placée devant lui. Les copeaux sont laissés accrochés par une de leur extrémité au corps de la bûche d'allumage. Cette préparation du bois d'allumage n'est pas ailleurs jamais illustrée. Par contre, la présence d'une aire de travail avec des copeaux très fins sur le carreau de la mine de Saint-Roch au Fournel, pourrait être attestation indirecte de cet usage.

[302] AGRICOLA (G.), *De Re Metallica*, trad. de l'éd. originale latine de 1556 par A. France-Lanord, Thionville, 1987, livre V.

Fig. n°90 : Scène d'abattage par le feu tirée du De Re Metallica de G. Agricola (1556) (éd. A. France-Lanord 1987).

Cette illustration met bien en évidence plusieurs phases de préparation du combustible : le stockage des bûches à l'extérieur (ressuyage et séchage ?), la préparation du combustible (bois d'allumage), la préparation du bûcher sur le front de taille (stock de bûches entassées), sa construction et sa mise à feu qui fait fuir le mineur vers la surface.

Il existe à ce jour deux autres illustrations connues pour cette période où l'abattage par le feu est mis en scène. Il s'agit de deux gravures signées par A. Ryff, datées de 1594, représentant des scènes minières dominées par le travail en surface, depuis l'extraction à ciel ouvert jusqu'à l'affinage.

Fig. n°91 : Scène minière d'après A. Ryff (1594) (gravure 1)

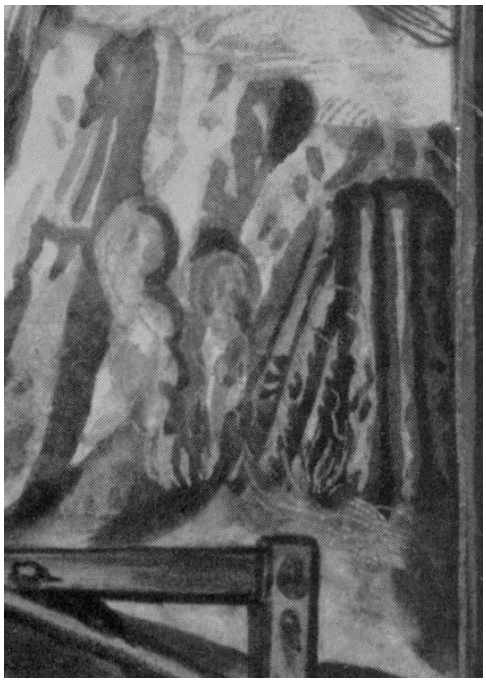


Fig. n°92 : Détail du bûcher d'abattage d'après A. Ryff (1594) (gravure 1).

Dans la première gravure, un bûcher d'abattage est représenté dans la moitié supérieure droite de l'image (*cf.* fig. n°91-92, p. 1093). Le bûcher est composé de troncs non refendus, apparemment longs de plus d'un mètre. Mais cette évaluation est très hypothétique à cause des problèmes de perspective. Les bûches sont adossées presque à la verticale contre un front de taille à l'air libre. Une aire de séchage maçonnée[303] est représentée dans la partie inférieure droite de l'image. Les troncs rangés horizontalement, légèrement inclinés, paraissent entreposés sur une sole chauffée (fumée). Mais ils ne sont pas en contact direct avec des flammes. Le calibre des bûches paraît identique à celui des bois mis en œuvre dans le bûcher d'abattage par le feu, mais là encore, les problèmes de perspective ne nous permettent pas d'être affirmative. Les bois utilisés pour alimenter les fours métallurgiques sont nettement de plus petits calibres.

[303] Certains interprètent cette structure comme une aire de grillage. Mais, à la lueur de l'image présentée plus bas, nous maintenons notre hypothèse.

Fig. n°93 : Scènes minières d'après A. Ryff (1594) (gravure 2). En bas à gauche, une scène d'abattage par le feu inspirée de la gravure du traité de G. Agricola.

Le bois d'abattage était apparemment séché artificiellement pour accélérer la phase de ressuyage et optimiser leur inflammabilité et leur pouvoir calorifique. Les dessins ne montrent pas si les rondins sont séchés puis brûlés avec ou sans leur écorce. Les bois écorcés sèchent plus vite, mais l'écorce séchée possède un pouvoir calorifique supérieur. Le traitement de l'écorce peut donc avoir un intérêt combustible à ne pas négliger.

La même aire de séchage est représentée en bas à gauche de la deuxième gravure, juste à côté d'une scène d'allumage d'un bûcher d'abattage souterrain très proche de la scène[304] représentée dans le traité de G. Agricola (*cf.* fig. n°93, p. 1094). Au contraire des fumées rondes et épaisses qui s'échappent des bûchers d'abattage, la fumée qui se dégage des bûches

[304] Nous n'avons malheureusement pas pu proposer une meilleure reproduction. On peut voir un bûcher adossé et un mineur préposé à l'allumage qui s'échappe de la galerie, la main contre le visage pour se protéger des fumées.

est fluide et discrète. Bien que cela ne soit pas parfaitement évident, nous l'interprétons comme une représentation de la vapeur d'eau. Elle peut indiquer que la phase de déshydratation du bois a débuté. L'apport calorifique nécessaire pour vaporiser l'eau libre contenue dans le bois vert peut provenir de la combustion de charbons de bois. Pour ce genre d'usage, ils sont plus adaptés que le bois car ils ne produisent pas de flamme (ou des flammes courtes disparates) pouvant atteindre le bois et accélérer accidentellement sa combustion par conduction. À côté de cette aire de séchage artificiel, des rondins parfaitement calibrés sont entreposés. Ils sont soigneusement empilés en lits horizontaux. À chaque nouvel étage constitué d'une rangé de six rondins, le sens de rangement suit une direction perpendiculaire à celle du lit précédent de façon à former un quadrillage serré. Ce mode d'empilage « bois sur bois » par lits horizontaux perpendiculaires les uns par rapport aux autres permet de faciliter la circulation de l'air et le séchage naturel du bois. Cette représentation peut signifier que ces deux modes de séchage étaient usuels et concomitants. Ou alors, ils pouvaient être complémentaires. Une phase de séchage à l'air libre peut précéder l'étape de séchage artificiel pratiquée quelques heures avant la préparation du bûcher pour pallier les variations hygrométriques saisonnières voire journalières, lors de journées pluvieuses par exemple, lorsque le bois est stocké à l'air libre.

Ces représentations d'aires de séchage, naturel et artificiel, du bois de chauffe pour l'abattage par le feu ont un caractère exceptionnel puisqu'elles sont les seules connues dans l'iconographie minière du XVIe au XIXe siècle. Mais, ce n'est pas parce que cette étape de la chaîne opératoire technique n'est pas représentée, qu'elle a été pour autant marginale. Comme les rares textes connus pour cette période, elles suggèrent la nécessité de produire du bois sec pour l'abattage par feu impliquant une phase de stockage et de séchage du bois optimisée dans les gravures d'A. Ryff avec le recours au « séchoir ». Ici, la préparation du combustible paraît incomber aux mineurs eux-mêmes. De plus, elles révèlent un calibrage normatif du bois de feu : rondins non refendus, d'au moins un mètre de longueur et d'environ 10-15 cm à 20 cm (maxi) de diamètre. Ces mesures sont évidemment approximatives, mais n'enlèvent rien à l'aspect calibré des bois utilisés.

XVIIe-XVIIIe siècles

Fig. n°94 : Détail d'une scène minière d'après Z. Koch (1606).

La documentation écrite du XVIIe siècle n'apporte pas de nouveau renseignement par rapport aux sources du XVIe siècle. La plupart des textes dépouillés pour cette étude traitent des problèmes de toxicité et des dangers du feu en souterrains.

Les représentations iconographiques reprennent les scènes du *De re metallica* et des gravures d'A. Ryff.

Les feux souterrains et à ciel ouvert sont alimentés par des rondins calibrés et réguliers, redressés contre le front de taille comme dans les gravures de Z. Koch (1606) (fig. n°94, p. 1096), de G. Loehneyss (1617) (fig. n°95, p. 1096).

Fig. n°95 : Détail d'une scène minière d'après G. Loehneyss (1617).

Dans la première gravure de Jenish (1620) (fig. n°96, p. 1097), les bûches sont redressées en vrac contre le front de taille. Trois troncs qui n'ont pas été tronçonnés sont redressés contre la paroi rocheuse. Ils paraissent en attente pour servir au prochain feu. Dans la seconde, les bûches sont couchées contre la paroi (fig. n°97, p. 1097).

Fig. n°96 : Détail de scènes d'abattage d'après Jenish 1620 (gravure 1).

Fig. n°97 : Détail d'une scène minière avec feu d'abattage d'après Jenish 1620 (gravure 2).

Fig. n°98 : Scène souterraine d'abattage par le feu d'après H. Ranie (Map of Falun) (1687).

La représentation de l'abattage par le feu dans les mines suédoises de Falun qui illustre la « Map of Falun » d'H. Ranie (1687) (fig. n°98, p. 1098), est la plus originale dans sa composition : grand bûcher ardent dans une cavité souterraine spacieuse où s'affairent cinq ouvriers. Mais elle ne permet pas de distinguer l'état du combustible utilisé. Conformément aux récits de voyageurs mentionnés plus haut, cette illustration confirme que des mineurs travaillaient sous terre pendant la combustion des bûchers.

Au XVIIIe siècle, avec le développement des traités miniers germaniques et de la littérature de voyages dans les pays de l'Europe du Nord et de l'Est, la documentation écrite et iconographique se multiplie et devient un peu plus précise sur l'état de bois utilisés et leurs propriétés combustibles.

L'essence à laquelle on pourrait avoir recours de façon préférentielle pour l'abattage par le feu n'est jamais mentionnée avant le XIXe siècle. Ce manque de précision peut être attribué à son rôle secondaire par rapport au taux d'humidité ou au calibre. La mention de l'utilisation du bois de pin pour l'abattage par le feu dans le mémoire sur les mines de Suède d'A.-G. Jars est l'exception qui confirme la règle[305]. Par contre, on lui préférait le sapin pour la confection des torches. Cette essence est en effet caractérisée par un bois extrêmement léger, riche en terpènes et en essences de térébenthine, tandis que les pins présentent des bois un peu plus denses à denses, donc moins adaptés pour l'éclairage à taux d'humidité et calibre égaux. Comme au XIXe siècle, l'utilisation du pin plutôt que d'un feuillu pour l'abattage par le feu doit s'expliquer en raison des disponibilités forestières locales.

De façon plus générale, comme leurs prédécesseurs, les auteurs du XVIIIe siècle insistent tous sur la nécessité d'utiliser du bois sec, souvent qualifié par des superlatifs :

> « Mais là où l'on veut mettre le feu, le lieu doit être sec et non mouillé et on doit le faire avec du bon bois sec [desséché] […] »[306] ;
>
> « on apporte près de la roche quelques cordes de bois très-sec qu'on allume […] »[307] ;
>
> « […] et les premiers bois secs sont étendus en petits bouts, pour être enflammés, […] »[308] ;
>
> « […] le bûcher est d'abord établi avec du bois sec […] »[309] ;
>
> « […] après cela on met dessous cette grille des bûches bien sèches […] »[310].

---

[305] JARS (A. G.), *Voyages Métallurgiques*, II, second Mémoire, Mines d'or et d'argent de la Suède et du Tyrol, p. 57.

[306] RÖSSLER (B.), *Speculum metallurgiae politissimum, oder hellpolierter Berg-Bau-Spiegel*…. Dresden, 1700, p. 61 (trad. inédite de l'allemand par S. Boscani Leoni, Institut für Kulturforschung Graubünden, Coire/Laboratorio di Storia delle Alpi, Università Svizzera Italiana, Mendrisio).

[307] LEHMANN (J. G.), *Traité de physique, d'histoire naturelle, de minéralogie et de métallurgie*, trad. de l'allemand par le Baron P. H. D. Holbach, Paris, 1759, pp. 79-81.

[308] HOOSON (W.), *The miners Dictionary…, ibid.* (trad. I. Cowburn, inédite, base données feu).

[309] HOOSON (W.), *The Miners Dictionary…, ibid*.

Il n'est jamais précisé la manière utilisée pour obtenir du bois bien sec. Les ingénieurs des mines ou les voyageurs mettent souvent en avant la nécessité de disposer de bonnes ressources forestières pour espérer obtenir des rendements intéressants avec cette technique, mais ne parlent jamais de la chaîne opératoire du bois de feu. Leur intérêt se porte avant tout sur les conditions de travail parfois effroyables des mineurs et, plus ponctuellement, sur la manière de confectionner les bûchers. C. F. Delius donne précisément le calibre de bois utilisé dans les mines de Transylvanie. Les bûches placées sous le *procgel-katze* utilisé pour canaliser l'énergie thermique contre le front de taille de la galerie, devaient mesurer 45 cm de longueur et 5 cm d'épaisseur :

> « […] après cela on met dessous cette grille des bûches bien sèches de dix-huit pouces de long & deux pouces de grosseur, & des petits copeaux, comme on le voit dans la figure 2, & on y met le feu. »[311]

Les bûches employées pour élargir un ouvrage de circulation ou un chantier doivent être plus longues, mais conservent apparemment la même épaisseur :

> « Le torréfage du faîte & des distances de galeries se fait de la même manière que celui de l'élargissement d'une galerie que j'ai déjà décrit, avec cette différence seulement qu'il faut du bois beaucoup plus long […] »[312]

L'adoption de la « grille » est décrite aussi par Von I. E. Born dans les mines hongroises de Felsoe-Banya. Les mineurs y placent des bûches calibrées plus courtes qui mesurent 30 cm de longueur :

> « Sur cette grille, on commence par mettre deux pouces de petit bois, & ensuite des bûches de la hauteur d'un pied […] »[313]

La technique du *« procgel-katze »* implique une rigueur du calibrage du bois qui dépend de la taille de la grille apparemment variable d'une mine à l'autre.

L'allumage était réalisé dans les mines de Transylvanie avec des copeaux de bois, comme cela se pratiquait dans les mines germaniques au XVIe siècle. Dans les autres mines de l'Europe du Nord et du Nord-Est, les auteurs mentionnent plutôt l'utilisation de « petit bois » ou de « fagots » placés directement sur la roche, à la base des bûchers :

---

[310]DELIUS (C.-F.), *Traité sur la Science…*, pp. 245-256, *cf.* § 207.

[311]DELIUS (C.-F.), *Traité sur la Science…*, *ibid.*

[312] DELIUS (C.-F.), *Traité sur la Science…*, *cf.* § 211.

[313] BORN (I. E. von), *Voyage minéralogique…*, lettre XVIII.

> « Le travail par le feu procède ainsi : pour creuser nous observons de prendre une bonne longueur, de 7, 8, ou 9 pieds de long ; selon le cas présent, et la fracturation étant soit légère ou soit forte, qu'il faut enlever autant que possible, puis le feu est soigneusement placé sur la sole, et les premiers bois secs sont étendus en petits bouts, pour être enflammés, puis autant sur la roche craquelée que l'on peut en mettre. »[314]

> « Pour faire ce feu, on commence par placer un rang de fagots ou de petits bois sur quelques bûches fort écartées les unes des autres, contre une paroi de l'entaille : on met dessus au moins 16 grosses bûches bien sèches […] »[315]

Dans toutes les sources écrites dépouillées pour cette période, il n'est jamais question de l'utilisation de fagots ou de branches de petits calibres ou encore de troncs ou de rondins massifs pour fabriquer le corps du bûcher. En raison du coût grandissant du bois de chauffage au Rammelsberg au XIXe siècle, les mineurs ont essayé de se servir de petits branchages, mais aucune tentative n'a réussi :

> « Les branches brûlent trop vite, et inégalement. Une fois les plus minces consumées, celles qui restent ont trop peu d'action. On a donc été forcé de revenir au bois. »[316]

De même, on constate que les bûches utilisées pour l'abattage par le feu sont toujours calibrées. Elles ne mesurent jamais plus d'un mètre de longueur et leur épaisseur paraît rarement supérieure aux mesures données par C. F. Delius. Leurs dimensions correspondent parfaitement au calibre du bois de chauffage ou « bois de *stère » tel qu'il est spécifié dans l'article 5 de la loi du 18 germinal an III (7 avril 1795). Cette loi précise que le stère, qui sert à mesurer la quantité de bois sous forme d'arbres empilées, vaut un mètre cube. Par extension le terme stère, qui était employé dans le commerce du bois de chauffage, désigne encore aujourd'hui le bois de chauffage. Ce terme est d'ailleurs utilisé par W. Hooson, un mineur du Derbyshire (Midlands), dans son dictionnaire du mineur pour caractériser le calibre préférentiel des bûches adopté pour construire un feu d'abattage :

> « […] le bûcher est d'abord établi avec du bois sec qui est petit et sera enflammé par une bougie, puis du bois plus gros aussi gros que nous pourrons ; et pour compléter, de préférence du bois de stère, et quand un tel bois est rare, nous le mélangeons avec du charbon de terre et des os de cheval, ce qui est bon pour le but, et pour faire un feu très

[314] HOOSON (W.), *The Miners Dictionary…*, *ibid*.

[315] MONNET (A. G.), *Traité de l'exploitation…*, pp. 79-82.

[316] E.M.P., Mémoire de voyage, M 865, SILHOL (A. A.), *De l'exploitation et du traitement…*, *ibid.*

> chaud et très vif, et après l'avoir étendu comme nous pensons qu'il est suffisant, nous lui mettons le feu […] »[317]

Ce passage met en évidence le problème la disponibilité du bois de chauffage dont la pénurie n'est pas rare dans certaines régions européennes. Lorsque ce combustible vient à manquer, il est apparemment possible de le remplacer par du charbon « de terre » et des os de cheval. Le charbon de terre est en réalité du charbon de bois vieux de plusieurs centaines de millions d'années. Dès l'ère primaire, les sédiments riches en matériaux végétaux se sont transformés en charbon sous l'effet de l'enfouissement[318] (Chabal *et al.* 1999, p. 54). Cette dénomination est usuelle, mais impropre. L'homme a utilisé très tôt le charbon de bois et le charbon de terre qui ont des propriétés combustibles très proches déjà présentées plus haut. L'utilisation de la lignite a été mise en évidence dès la préhistoire (Théry *et al.* 1995 ; Théry-Parisot 1998 ; 2000). Elle était très ponctuelle et n'a apparemment pas eu d'application industrielle marquante en France avant le milieu du XVIIIe siècle (Ancel 1999b ; Belhoste 1999 ; Morin 1999). Mais la situation est différente au sud du pays natal de W. Hooson où l'on a retrouvé des mentions de l'exploitation du charbon de terre, appelé aussi houille, en 1273 à Neath et à partir de 1324 dans le Comté de Pembroke (Galles du Sud) (Cowburn 1999). L'extraction de la houille se généralise en Galles du Sud à partir de 1530. Pour améliorer leur niveau de vie, les agriculteurs exploitent eux-mêmes des puits qui atteignent jusqu'à 200 m de profondeur à la fin du XVIe siècle (Cowburn 1999). Le recours au charbon de terre comme combustible pour l'abattage par le feu avant le XVIIIe siècle n'a donc rien d'exceptionnel en Grande-Bretagne. Tout en compensant un manque patent de bois, ce combustible possède un pouvoir calorifique très élevé. Les meilleures houilles du Pays de Galles peuvent atteindre un pouvoir calorifique supérieur à 9000 Kcal/kg[319], soit deux fois plus élevé que celui d'un bois de résineux. Il permet de réaliser des feux très durables et ne nécessite pas une étape de séchage comme le bois. Lorsqu'il est disponible, il est d'usage immédiat.

L'utilisation intentionnelle des os d'animaux comme combustible est aussi attestée depuis la Préhistoire (Chabal *et al.* 1999, p. 55 ; Théry-Parisot 2001, pp. 105 et suiv. ; Théry-Parisot, Costamagno 2005). L'os s'enflamme difficilement et nécessite l'utilisation de bois ou

[317] HOOSON (W.), *The Miners Dictionary…, ibid.*

[318] La carbonisation de ces sédiments s'est opérée par pyrolyse, réalisée sous des pressions supérieures à une atmosphère en conditions anaérobies et par le biais des micro-organismes, suivie d'augmentations progressives de pression et de température (Chabal *et al.* 1999, p. 54).

[319] COMBES (Ch. P. M.), *Traité de l'exploitation des mines*, III, Paris, 1845, p. 403.

d'un autre combustible pour le démarrage du feu. Mais dès que sa combustion est initiée, il produit de grandes flammes plus durables qu'un feu de bois classique. L'association des trois types de combustibles permet théoriquement d'obtenir des feux qui produisent beaucoup de chaleur et de grandes flammes durables. Elle n'a jamais été retrouvée mentionnée par ailleurs et paraît une spécificité anglo-saxonne, du moins avant le XIXe siècle où des améliorations technologiques de l'abattage par le feu ont été tentées pour remplacer le bois de chauffage d'usage souvent trop coûteux (Ancel, Py 2008).

L'usage combiné (et non concomittant) du bois et du charbon de bois pour l'abattage par le feu, dont les propriétés combustibles sont proches de celles du charbon de terre, remonte au moins au XVe siècle. La première description technique de cet usage est à attribuer à B. Rössler dans son traité des arts métallurgiques daté de 1700[320]. Le bois qui était utilisé la plupart du temps servait à abattre les parois et le plafond de l'ouvrage, tandis que le charbon de bois était plus spécifiquement utilisé pour abattre la sole :

> « Les filons ou les roches qui ne sont pas gagnables, à cause de leur dureté, avec les mains ou l'usage d'un outil, ou que l'on devrait déplacer, on a le soin, en partie, de gagner ces lieux avec le feu, pour la plupart du temps est utilisé du bois. Donc, le bois lève ou sépare au-dessus ou à côté de lui mais par contre le charbon lève ou sépare en-dessous de lui. »[321]

Cette technique peut s'expliquer par les différences de comportement au feu des deux types de combustibles. Si l'apport d'air est suffisant, les feux de bois secs produisent des flammes plus ou moins hautes. Les flammes montent et lèchent les parois et le plafond de l'ouvrage. Elles ne peuvent descendre et atteindre la sole. Les échanges énergétiques se font au niveau des parois de l'ouvrage, du front de taille et du plafond, par rayonnement, et une autre partie de la chaleur est absorbée par l'air en ambiant, par rayonnement et convection. Un feu de charbons de bois ne produit pas ou peu de flammes. Le transfert thermique se fait par conduction entre les braises du foyer et la sole de l'ouvrage qui est ainsi mieux travaillée par le feu par cuisson indirecte.

C.-F. Delius explique à ce sujet que le « torréfage » (terme qu'il emploie) de la roche entraîne la création d'une pente qui est en général retouchée à la poudre car les feux de bois ne seraient pas efficaces pour abattre la sole d'un ouvrage. :

---

[320] RÖSSLER (B.), *Speculum metallurgiae politissimum*…, p. 61.

[321] RÖSSLER (B.), *Speculum metallurgiae…, ibid.* (trad. inédite de l'allemand par S. Boscani Leoni).

> « Par cette opération [le torréfage] on ne torréfie ordinairement qu'une distance de deux pieds & demi en largeur, & de quelques pouces de profondeur, ce qui ne fait pas le bout de galerie ; mais si cette ouverture est prolongée par la répétition des mêmes opérations, il faut ensuite l'égaliser, & achever de l'élargir. Mais ordinairement on achève le sol avec des coups de poudre : car différemment il aurait une trop grande pente. »[322]

L'association de la poudre et de l'abattage par le feu est complémentaire. Elle a été adoptée dans les mines nordiques jusqu'à la fin du XIXe siècle[323] (Ancel, Py 2008). Les feux d'abattage au bois créent une pente qui est résorbée par l'attaque à la poudre[324]. Mais avant la généralisation de l'usage de la poudre dans les mines, les mineurs savaient régler ce problème uniquement par le biais de l'abattage par le feu classique. Il semble que l'utilisation combinée du bois et du charbon de bois ou de terre était un moyen pour répondre efficacement à ce problème. Les charbons de bois produits par les bûchers d'abattage au bois pouvaient théoriquement être remployés pour l'attaque de la sole. Mais aucun texte ne signale un tel remploi des charbons résiduels. Seul A.G. Jars raconte qu'ils étaient soigneusement retirés des débris de roche dans les mines du Rammelsberg (Harz) car le contact des braises encore chaudes avec les « matières vitrioliques » pouvait réactiver leur combustion et les vides laissés par les charbons réduits en cendres nuiraient grandement à la stabilité des travaux remblayés :

> « Dans tous les ouvrages rapprochés de puits d'extraction, on se sert de la poudre pour abattre le minerai, & l'on y allume point de bûcher, dans la juste crainte où l'on est que le feu ne prît à la charpente des puits & n'embrasât toute la mine ; par la même raison dans les endroits où l'on fait du feu, on a grand soin de retirer tous les charbons de bois laissés en brûlant ; car si on les mêlait avec les déblais, qui sont continuellement pénétrés par des matières vitrioliques, il y aurait à craindre qu'ils ne prissent feu dans leur fermentation ; d'ailleurs ces charbons en se consumant laisseraient des vides dans les déblais, qui nuiraient au soutien des travaux. »[325]

---

[322] DELIUS (C.-F.), *Traité sur la Science…*, § 208.

[323] Voir à ce sujet DUROCHER (J.), Note sur l'exploitation des mines…, pp. 213-303.

[324] A.-M. Héron de Villefosse décrit le même phénomène et le recours ponctuel à la poudre au Rammelsberg dans le Hartz au début du XIXe siècle, HÉRON DE VILLEFOSSE (A. M.), *De la richesse minérale…*, II, Paris, 1819, pp. 303-309.

[325] JARS (A. G.), *Voyages Métallurgiques*, II, huitième Mémoire, Sur les mines d'or, d'argent, cuivre et plomb du harz, dans l'Electorat d'Hanovre, et le Duché de Brunswick (1766), pp. 265-268.

- . -

Les sources écrites et iconographiques des XIVe-XVIIIe siècles étudiées convergent toutes vers la nécessité d'utiliser du bois très sec et de fort calibre pour la construction des bûchers d'abattage. Par contre, il est plus difficile de saisir les modalités de l'approvisionnement et du stockage pouvant influer efficacement sur la réduction du temps de séchage. L'alimentation en continu de l'exploitation en bois sec pour maintenir le rendement implique une gestion anticipée du combustible en amont de l'extraction. Au Moyen Âge, les rares sources écrites qui éclairent le sujet mentionnent l'utilisation de « bois de chauffage ». L'iconographie de la Renaissance révèle l'utilisation de bois bien calibrés. Au XVIIIe siècle, lorsque le calibre des bois est précisé, il est proche de celui du bois de chauffage classique (bois de stère). Les bois enfournés dans les *« procgel-katze »* sont plutôt courts. Mais cette norme n'est probablement pas la même pour toutes les mines suivant les méthodes d'abattage adoptées par les mineurs. J. Durocher explique qu'en Scandinavie au XIXe siècle, les mineurs, qui n'avaient pas recours au *« procgel-katze »*, utilisaient des bûches longues de 0,80 à 1,75 m pour percer les galeries et pouvant atteindre 3 à 4 m dans les chambres d'abattage[326]. Cette variation des calibres implique nécessairement une préparation du combustible par les mineurs en amont de la confection des bûchers.

Contrairement au bois destiné à l'étayage des fosses, la documentation écrite et iconographique apporte un lot de renseignements très imprécis sur les modes de gestion du combustible et sa chaîne opératoire. Juste en aval de la gestion de la forêt industrielle, la production de bois de chauffe implique une étape de préparation et de séchage évoquée dans l'iconographie du XVIe siècle (gravures d'A. Ryff). On note une possibilité d'évolution dans le mode opératoire avec l'utilisation de séchoirs.

La préparation du bois, de l'abattage jusqu'à la commercialisation et/ou l'utilisation du produit fini, échappe totalement à la documentation écrite minière, mais également aux actes de la pratique concernant la région du Haut-Dauphiné avant le XIVe siècle, même jusqu'à la fin du Moyen Âge (Nicolas 2005, p. 169).

[326] DUROCHER (J.), Note sur l'exploitation des mines…, p. 245.

II.2.2. Les données anthracologiques

Ces questions nous ont conduit à ouvrir l'approche anthracologique à des aspects autres que la détermination de l'essence pour tenter d'obtenir des informations sur l'état du combustible utilisé par les mineurs dans notre fenêtre d'étude, et de façon plus large pour compléter notre perception de l'économie du bois et des boisements pour la mine au Moyen Âge. L'observation microscopique de la structure du bois carbonisé peut apporter des renseignements sur les conditions de croissance de l'arbre (exposition, altitude etc.), sur son état phénologique avant la carbonisation ou encore sur sa morphologie.

Les saisons d'abattage et la question de l'écorce

Comme pour la production de bois d'étayage, la première étape de la chaîne opératoire technique du bois de feu a lieu en forêt. En amont de l'abattage, du débardage, du débitage, du stockage et du séchage, les bûcherons et/ou les mineurs ont choisi leur bois de chauffage en fonction de leur disponibilité dans l'aire d'approvisionnement. Mais d'autres paramètres entrent en jeu : leur âge ou leur taille. De plus, la production de bois de chauffe, c'est-à-dire de bois sec, implique un temps de séchage. Ce dernier est étroitement conditionné par la taille des arbres abattus et la saison d'abattage. Le combustible utilisé au Fournel est constitué à plus de 90 % de résineux, à Fangeas-Faravel, leurs fréquences atteignent presque 100 %. Les mineurs et/ou les bûcherons chargés de l'approvisionnement en bois de feu pour la mine avaient donc tout intérêt à couper les arbres sur pied en hiver, au moment où leur taux d'humidité est au plus bas (dormance). La période traditionnelle d'abattage des résineux dans les régions de montagne, et de façon plus générale sous nos latitudes, se déroule au plus fort de l'hiver (décembre, janvier, février), pour éviter l'abondance des résines et des extraits dont ils regorgent au printemps et en été et dont la combustion incomplète crée de forts désagréments et encrassent les cheminées. N. Nicolas a relevé dans un texte du début du XVe siècle (1407), que l'abattage des arbres dans les forêts de Rabou pour la production de bois

d'œuvre était pratiqué entre le 1er novembre et le 3 décembre[327] (Nicolas 2002, p. 252). Cette règle semble avoir été de vigueur à Fangeas-Faravel pour l'abattage des bois destinés à l'étayage des fosses. Mais, il n'est pas évident que la production de bois de chauffage respecte la même chaîne opératoire. Comme pour le bois de construction, elle pouvait relever d'une activité saisonnière, pratiquée par des agropasteurs polyvalents qui mettaient à profit les mois de moindre activité du calendrier agricole (décembre, janvier, février) pour l'exploitation forestière et minière, y compris en altitude. Il convient donc d'essayer de connaître à quel moment se place la coupe du bois de feu pour la mine.

Pour espérer pouvoir déterminer la saison d'abattage d'un bois, il faut pouvoir retrouver conservées sur les fragments carbonisés des cellules de cambium, de phloème et de parenchyme cortical appelé plus communément « écorce » (cortex). En effet, suivant la période d'abattage de l'arbre, le cambium est situé soit au début ou à la fin du bois initial (bois de printemps), soit au début ou à la fin du bois final (bois d'automne) ou au niveau de la transition entre le bois initial et le bois final. Suivant l'espèce, la transition entre le bois initial et le bois final est plus ou moins marquée et plus ou moins lisible et il est souvent possible de définir avec une relative précision la saison d'abattage de l'arbre grâce à l'observation microscopique. Sous nos latitudes, le cycle saisonnier influence la structure du bois. Les cellules de bois élaborées par le cambium à la reprise de la végétation, c'est-à-dire au printemps, ont un large diamètre et des parois minces. Au contraire, les cellules produites à la fin de la période de croissance sont étroites et à parois épaisses. En hiver, le cambium s'arrête de fonctionner pour reprendre au printemps suivant. Il est alors situé au-dessus des dernières rangées de cellules du bois final. Entre 1000 et 1500 m d'altitude, fourchette altitudinale où sont situés les travaux miniers du Fournel, la reprise de la période végétative a lieu entre le début et la fin du mois d'avril. L'activité ralentit en été, depuis la mi-juillet jusqu'à la fin août, et s'arrête en novembre. La période végétative se déroule sur 8 mois à 1000 m d'altitude et elle réduit d'une semaine environ par 100 m d'élévation. Elle ne dure pas plus de 4 mois et demi à 2000 m d'altitude, depuis début juin jusqu'à la mi-août (Ozenda 1994, p. 179).

Sur la totalité des charbons de bois analysés pour le site du Fournel, soit 8150 fragments, seulement neuf présentent des cellules cambiales conservées aidant à la reconnaissance de la saison d'abattage de l'arbre. Comme ils proviennent tous de très jeunes

[327] A.D.H.A., A.C. Gap, BB 2, ff 38 r°-40 r°, 1er novembre, 27 novembre et 3 décembre 1407, source citée *in* Nicolas 2005, p. 172, n. 68.

bois, il est plus correct d'utiliser le terme d'élagage plutôt que celui d'abattage réservé aux arbres adultes. Ces branches et brindilles peuvent provenir d'un élagage naturel ou anthropique. Dans le premier cas, la saison déterminée grâce à l'emplacement du cambium correspond au moment où la branche a été séparée du tronc. Il n'est donc pas le même que celui de ramassage du petit-bois « mort ».

Dans cinq cas, les cellules cambiales conservées sont situées à la fin du bois initial. Ces fragments proviennent donc de bois élagués de façon naturelle ou anthropique à la fin du printemps, c'est-à-dire entre la fin du mois de juin et la fin du mois de juillet suivant un gradient altitudinal compris entre 1000 et 1500 m. Dans les autres cas, les cellules cambiales sont situées dans le bois final, indiquant une saison d'élagage comprise entre le début du mois de septembre et le mois de novembre pour le même gradient altitudinal. Ces données étant trop ponctuelles, il est impossible de les généraliser et d'interpréter ces saisons d'abattage en termes de pratique d'approvisionnement.

Pour l'ensemble du corpus étudié (8150 charbons), seulement neuf fragments ont été identifiés comme étant des fragments d'écorce carbonisée, ce qui représente seulement 0,1 % du combustible. À Fangeas-Faravel, les fragments d'écorce retrouvés proviennent principalement du bois de construction et ne sont pas carbonisés. L'absence presque généralisée de ces résidus dans les foyers d'abattage pose un problème. Pour cela, nous proposons des pistes de réflexions qui ne sont pas des hypothèses fondées.

Même s'il s'agit en général de la première surface soumise au feu, l'écorce peut se conserver. Les vestiges retrouvés dans d'autres contextes archéologiques comme les foyers des cabanes pastorales en témoignent. Mais, dans ces cas, cette conservation est très aléatoire et concerne le plus souvent des branches et des bois de faible calibre. Malgré cela, l'absence presque généralisée de fragments d'écorce (ou de cellules corticales au niveau de l'assise cambiale) dans les résidus de foyers d'abattage miniers nous paraît suspecte[328], du moins indépendante de la combustion. Elle pourrait par exemple signaler que les bois étaient en partie écorcés pour faciliter leur séchage ou tout simplement pour récupérer l'écorce réservée à d'autres activités. En effet, l'écorce du Mélèze, riche en tanins, était utilisée au même titre que l'écorce des chênes ou des pins pour le tannage des peaux et la fabrication du cuir. L'Embrunais, le Gapençais et le Briançonnais, qui se sont affirmés entre les XIe et XIIIe siècles comme des pays à vocation pastorale, présentaient toutes les potentialités pour devenir

[328] Nous avons retrouvé de l'écorce en abondance dans les foyers expérimentaux.

dès cette époque un pôle actif de la tannerie et des cuirs, au même titre que le Grésivaudan dont l'activité est attestée au XIe siècle par les sources écrites (Sclafert 1926a, p. 103). La préparation de l'écorce pour le tannage des peaux est une activité mal connue avant le XIIIe siècle. Malgré cela, il est permis de croire qu'elle intéressait une population paysanne en quête de toutes les ressources rémunératrices qui pouvaient améliorer son quotidien, particulièrement durant la période hivernale. Dès le XIe siècle, le Grésivaudan était équipé de battoirs à chanvre dont l'utilité double avec le traitement de l'écorce n'est pas stipulée dans les textes, mais paraît plausible (Sclafert 1926a, pp. 103-104). Aux XIVe et XVe siècles, leur diffusion notoire sur la rive droite, pour le broyage des deux types de matériaux, encourage une consommation industrielle. Au même titre que le charbonnage ou le bûcheronnage, l'écorçage profitait aux habitants de la région.

Dans le mandement de Vizille, les paysans disposaient du droit de « bûcherer », c'est-à-dire de bûcheronner, dans les bois delphinaux moyennant une redevance fixe appelée *forestage* (*forestagium*). L'exploitation des forêts de Prémol, dont les droits d'usage étaient antérieurs à l'installation du couvent des chartreusines, était la source de nombreux conflits entre les habitants et les religieuses. À ce titre, une interdiction promulguée en 1289 par le couvent, défendait aux habitants d'écorcer les arbres noirs, probablement les résineux, pour l'extraction du tanin[329]. Derrière cette apparente mesure de protection, les religieuses voulaient se prémunir de la concurrence pour bénéficier seules des revenus lucratifs de l'exploitation de l'écorce. On ne connaît pas bien les modalités de cette pratique ni même son impact véritable sur le couvert forestier. Au XIVe siècle, alerté à propos de la « destruction des bois », le Dauphin intervient en interdisant aux habitants comme au couvent, l'écorçage que ce soit pour vendre la production au-dehors ou pour le tannage des cuirs qui seraient livrés au commerce. La production devait se limiter aux besoins rudimentaires des deux parties (Sclafert 1926a, p. 435, n. 1). La dévastation des bois générée par l'écorçage est aussi dénoncée dans la région de Gap au XIVe siècle. Une enquête delphinale de 1358[330] témoigne « d'usages abusifs ». Des arbres auraient été coupés vers les mois de mai et de juin au moment de la pleine montée de la sève puis pelés sur place. Bien que le texte cité n'en dise rien, les écorces d'arbre sont réputées pour contenir plus de tanin au printemps et moins en

[329] « […] *excepto expresse quod dicti homines non possint arbores excoriare vel corticem facere seu colligere in eisdem (nemoribus)* », A.D.I., H 802 (1289), cité et extrait transcrit *in* Sclafert 1926a, p. 434, n. 2.

[330] A.D.I., B 3336 (1358), cité *in* Sclafert 1926b, p. 532.

hiver[331]. Les enquêteurs auraient découvert un millier de pins presque entièrement pelés qui se tenaient encore debout à demi-secs ou pourrissaient sur place[332]. L'écorce des arbres, plus rémunératrice que le bois de chauffe, aurait été privilégiée, en dépit du gâchis en matière ligneuse. Ce fait raconté par les enquêteurs est peut-être véridique. Mais, il doit être considéré avec certaines précautions et ne doit surtout pas être généralisé. Le bois des arbres écorcés pouvait être récupéré pour de nombreuses autres activités et notamment la confection de bois de chauffage. D'après les habitants de Livet et d'Oulles sur la Romanche, les bois abandonnés par les *ruchiers* appartenaient à qui voulait bien les exploiter[333]. Il est aussi concevable que les paysans qui se livraient au bûcheronnage, en profitaient pour récupérer une partie de l'écorce des arbres abattus pour les vendre aux fabricants de peaux. Contrairement aux idées reçues, dans des conditions de stockage adaptées (piles surélevées et aérées), les bois abattus privés de leur écorce étaient moins sujets à certaines attaques parasitaires, et ils séchaient beaucoup plus vite.

Activité lucrative dans les pays d'élevage où la fabrication des peaux était probablement dynamique au moins depuis le XIe siècle, l'écorçage était nécessairement pratiqué et associé à d'autres activités forestières. Son lien avec l'extrême rareté des cellules corticales dans les charbons de bois miniers n'est évidemment pas établi, mais il vaut la peine d'être suggéré. La capacité des hommes à mettre à profit toutes leurs ressources ne doit jamais être sous-estimée.

État physiologique et phénologique du bois d'abattage

L'étude des propriétés combustibles du bois et de ses usages pour l'abattage par le feu dans la documentation écrite et iconographique minière ont conduit à exclure l'utilisation de bois vert, c'est-à-dire fraîchement abattu, en souterrain. Dans certains contextes où le recours à l'abattage par le feu est ponctuel, dans une démarche prospective par exemple, le séchage du bois peut rapidement présenter une contrainte. Dans ce cas, on peut supposer un recours au

---

[331] LEUCHS (J. CH.), PÉCLET (M. E.), *Traité complet des propriétés, de la préparation et de l'emploi des matières tinctoriales et des couleurs*, Paris, 1829, p. 157.

[332] *« Plures arbores pinos* […] *pelaverunt a pede usque ad medium et post ipsas dimixerunt plantatas* […] *pro ruchia facienda ipsas pelaverunt et ibi remanserunt desicando* […] *et ad detrimentum nemorum* […] *malum non verentes, multas arbores ibidem sciderunt et ipsas pelaverunt pro ruchia predicta et post, ibi dimisserunt ad putrendum »*, A.D.I., B 3336 (1358), cité *in* Sclafert 1926b, p. 533.

[333] A.D.I., B 3336 (1360), cité *in* Sclafert 1926b, p. 533.

bois mort, facile à collecter et d'usage immédiat. Or, l'usage artisanal du bois mort n'est pas documenté. Par contre, le bois mort, d'usage communautaire, utilisé pour le foyer domestique, est qualifié dans des textes du cartulaire de Boscodon datés des XIIe et XIIIe siècles[334] par le terme « *lignum siccum* » qui peut être traduit par celui de « bois sec » ou « bois sans eau ». Le bois mort était ainsi clairement différencié du bois vert fraîchement abattu ou « *lignum viridum* » par son taux d'humidité. Il est très rarement question de l'essence[335], plutôt mentionnée pour caractériser des pièces de bois de construction et de couverture (Nicolas 2005, p. 169 ; Nicolas, Bernardi 2003). L'usage récurrent de ces termes démontre qu'on s'attachait plus, pour alimenter le foyer domestique, à l'état physiologique du bois et à son taux humidité plutôt qu'à l'espèce dont l'incidence sur la conduite d'un feu est secondaire. Les moines de Boscodon réglementent de façon drastique la récolte de bois mort et l'abattage de bois vert pour les usages domestiques des paysans, en particulier pour le chauffage. Le bois mort avait donc un intérêt économique de premier ordre pour la production de bois de feu, domestique en particulier. Son usage artisanal ou industriel ne doit pas être exclu, mais, s'il a été pratiqué, il doit avoir été extrêmement limité. Encore, faudrait-il pouvoir le démontrer avec des critères objectifs.

Le terme « bois mort » qualifie une tige ou un arbre dont les fonctions végétatives ne sont plus actives. Les causes de sa mort peuvent avoir des origines physiologiques (sénescence), parasitaires, climatiques, comme la foudre, ou encore anthropique (écorçage abusif par exemple). Il ne faut pas oublier que des bois vivants et sains contiennent par ailleurs une part de tissus morts. Ainsi, les bois âgés contiennent du bois mort physiologiquement (Théry-Parisot 2001, p. 40).

Le terme « bois mort » regroupe en réalité trois types de bois morts qui sont le bois gisant sur le sol, tombé à terre à cause de facteurs climatiques particuliers comme le vent, la foudre, le gel, le dégel et la vieillesse ; le bois mort encore sur pied, et le bois flotté, charrié par les torrents durant les périodes de crues, qui est une variante du premier. L'acquisition du deuxième type ne pose pas de problème d'abattage particulier. Étant partiellement ou

---

[334] *« Et quod domus de Villare Roberto seu habitantes in ea possint in dicto nemore capere et habere ligna ad usum dite domus, pro necessitatibus suis, pro igne scilicet faciendo, seu pro suo chalfagio tantum, accipendo ligna sicca, si sibi comode poterunt invenire sin autem virida ligna capiant minus malum quo poterunt inferendo »*, ROMAN (J.), *Les Chartes de l'ordre de Chalais 1101-1400*, Paris, 1923, II, pp. 104-108, n°164 (10 juin 1265) ; voir aussi I, p. 132, n°77 (1198) ; II, p. 163, n°196 (24 janvier 1282).

[335] La même constation a été réalisée par A. Durand à partir de l'étude des cartulaires languedociens (Durand 1998 ; Vernet 1997, p. 204).

totalement investi par des parasites, le bois a perdu une grande partie de sa résistance mécanique. Il est donc très facile à mettre à terre et ne nécessite pas de séchage. Sa gestion diffère peu de celle du bois mort déjà tombé à terre. Le troisième type regroupe nécessairement des espèces de la ripisilve et des espèces d'origines parfois lointaines détectables alors dans les spectres anthracologiques. Or, la présence de ces espèces dans un diagramme anthracologique ne suffit pas pour déterminer avec sûreté l'utilisation de bois flottés car ce n'est pas le seul mode de transport. Pourtant, sa caractérisation anatomique, notamment pour les espèces lointaines, serait fondamentale pour ne pas confondre des pratiques d'approvisionnement avec un élargissement du territoire d'approvisionnement en bois de feu. Le passage du bois dans l'eau entraîne des modifications de sa structure anatomique à l'échelle microscopique et macroscopique, mais seules les déformations microscopiques sont parfois observables après la carbonisation (Théry-Parisot 2001, p. 36). Elles sont dues à la détérioration des composants chimiques du bois. Malheureusement, les altérations typiques du bois flotté (cellules gonflées partiellement altérées à squelettiques) sont rarement détectables dans les corpus anthracologiques car elles touchent surtout les bois qui ont séjourné plusieurs années dans l'eau, ce qui est relativement rare dans le cas des cours d'eau alpins dont les variations de débit sont importantes. Les essences pouvant provenir de plus loin sont absentes et les essences typiques de la ripisilve sont rares et leurs fréquences sont toujours extrêmement faibles dans le corpus anthracologique du Fournel. Elles sont absentes à Fangeas-Faravel. Par conséquent, leur présence discrète ne peut pas être attribuée à une pratique d'approvisionnement de bois flottés, mais cette éventualité ne doit pas être totalement exclue (ramassage ponctuel et marginal de bois mort flotté).

Le bois mort, flotté ou non flotté, ne se distingue pas du bois vert anatomiquement parlant. Seule l'altération du bois par divers agents phytopathogènes est perceptible au niveau de la microstructure (Théry-Parisot 2001, p. 40). Le bois mort peut donc être caractérisé seulement dans le cas où il aurait subi une altération due à un parasite à l'origine de sa mort (attaque sur pied) ou à un saprophage (attaque des organes morts). Les symptômes des attaques des bois sur pied sont en général des anomalies anatomiques externes, des anomalies de croissance, des excroissances pathologiques, etc. Les symptômes microscopiques visibles après la carbonisation sont les thylles[336] et les altérations des parois cellulaires. Dans le corpus

[336] Les thylles sont des expansions vésiculeuses qui se forment à partir des cellules parenchymateuses vivantes dans les vaisseaux adjacents du bois. Les thylles volumineux et nombreux peuvent entraîner l'obstruction du lumen (Théry-Parisot 2001, pp. 40-41).

anthracologique du Fournel, six cas de « thyllose aiguë » ont été reconnus. Ils concernent des fragments de Chêne à feuillage caduc à cernes rectilignes donc des arbres peut-être âgés constitués en partie de bois mort physiologiquement. Cet indice ponctuel ne peut donc pas signer une pratique d'approvisionnement en bois mort pour l'abattage par le feu. De plus, les chênes à feuillage caduc âgés présentent de façon presque systématique des thylles. Par contre, les fragments de brindilles et de branchettes reconnus avec certitude ou supposés appartiennent surtout aux taxons dominant et secondaire, mais aussi à des taxons rares, principalement des feuillus, auxquels les mineurs ont probablement eu recours pour confectionner des fagots d'allumage. Dans ce cas, l'utilisation de petit-bois mort, flotté ou non, est fort probable.

Concernant les altérations des parois cellulaires, les travaux anthracologiques expérimentaux d'I. Théry-Parisot ont démontré que la mesure de leur variation morphométrique, généralement liée à des attaques du bois, n'est pas pertinente. En effet, la température de carbonisation joue aussi un rôle sur la variation de l'épaisseur des parois cellulaires. Un bois altéré carbonisé à 380 °C présente les mêmes caractéristiques qu'un bois sain carbonisé à 500 °C (Théry-Parisot 2001, p. 43). Puisque nous ne pouvons pas connaître avec certitude la température de carbonisation des charbons de bois miniers, qui est d'ailleurs variable suivant leur emplacement dans le bûcher, le type de bûcher, et pendant la combustion, il est impossible de trancher avec certitude sur l'état du bois avant combustion d'après l'épaisseur des parois cellulaires. Nous n'avons donc pas pris en compte ce critère dans le cadre de nos analyses. Par contre, nous avons porté notre attention sur les altérations du bois par les champignons saprophages visibles au microscope et ne nécessitant pas d'approche morphométrique laborieuse. L'idée n'était pas de chercher des traces de mycélium dans tout le volume du charbon conservé, mais de relever leur présence dans les trois coupes, et cela de la même manière pour tous les échantillons, afin d'obtenir des données statistiquement fiables. Les attaques fongiques se traduisent par le développement de mycélium qui se diffuse dans les cellules du bois. L'attaque parasitaire peut avoir lieu après la carbonisation, mais dans ce cas, les filaments (hyphes) de mycélium ne sont pas carbonisés. Et si elle a lieu avant, le mycélium est lui aussi carbonisé. Enfin, il faut noter que les échantillons de bois, carbonisés ou non, conservés en milieu anaérobie, au sein de remblais humides et compacts comme c'est le cas au Fournel et à Fangeas-Faravel, sont protégés des attaques fongiques (Sage 2004, p. 10).

La présence de filaments d'hyphe a été relevée dans tous les échantillons auxquels nous avons prêté une attention particulière pour leur reconnaissance. En effet, l'attention portée aux éléments anatomiques discriminants pour la détermination taxinomique peut nuire à la reconnaissance de filaments d'hyphe lorsque leur présence est discrète et demande une attention spécifique. Leurs fréquences au sein d'un échantillon sont très variables d'un échantillon à l'autre. Les proportions d'échantillons contaminés sont aussi très variables. Elles sont comprises entre 4 % (minimum) et 60 % (maximum). Autrement dit, la présence de ces altérations implique-t-elle un recours systématique au bois mort pour l'abattage par le feu, pouvant atteindre dans quelques cas plus de la moitié du combustible utilisé ? L'interprétation de la présence de ces filaments d'hyphe plus ou moins discrets d'un échantillon à l'autre n'est pas si aisée. En effet, la contamination du bois peut avoir eu lieu à trois moments différents impliquant des stratégies différentes d'approvisionnement et de gestion du combustible. Les échantillons présentant des altérations liées à des attaques fongiques peuvent provenir de bois sains, abattus sur pied et contaminés au moment du stockage pour le séchage, de bois contaminés sur pied abattus puis stockés pour le séchage, ou encore de bois mort ramassés dont la contamination a eu lieu pendant leur séjour à terre. Ou encore, la contamination peut avoir lieu après la carbonisation. Or, les filaments d'hyphe observés sont carbonisés[337] (aspect translucide à blanc suivant la lumière utilisée comparable à celui de certaines cellules ligneuses carbonisées) et de plus, les conditions souterraines ne sont pas adéquates à leur prolifération. Théoriquement, le bois mort présente un stade de dégradation plus élevé que le bois sain dont l'attaque fongique aurait eu lieu pendant la phase de stockage. Seule la présence d'altérations importantes des microstructures abîmées par la prolifération des hyphes très abondants constituent *a priori* de bons critères de détermination du bois mort.

La colonisation et la dégradation du bois s'effectuent en deux temps. D'abord, la phase de colonisation par le champignon s'étend sur deux années pendant lesquelles les filaments d'hyphe investissent la structure du bois. Cette invasion a lieu de façon plus ou moins rapide surtout si toutes les conditions environnementales requises sont réunies (température, humidité du bois, oxygène). L'absence d'une seule de ces conditions peut empêcher le champignon déjà présent dans le bois de se développer. Puis, la phase de décomposition proprement dite prend environ 15 ans. Dans le cas d'un stockage de bois destiné à la chauffe, c'est-à-dire entre 1 et 2 ans et demi suivant les conditions et le mode de stockage, seule la

[337] Voir à ce sujet les clichés de charbons de bois infestés avant carbonisation dans Théry-Parisot 2001.

phase de propagation des filaments d'hyphe peut se produire et ces filaments sont potentiellement visibles au microscope. En effet, lorsque le taux d'humidité contenu dans le bois tombe en dessous de 20 %, le champignon cesse de croître.

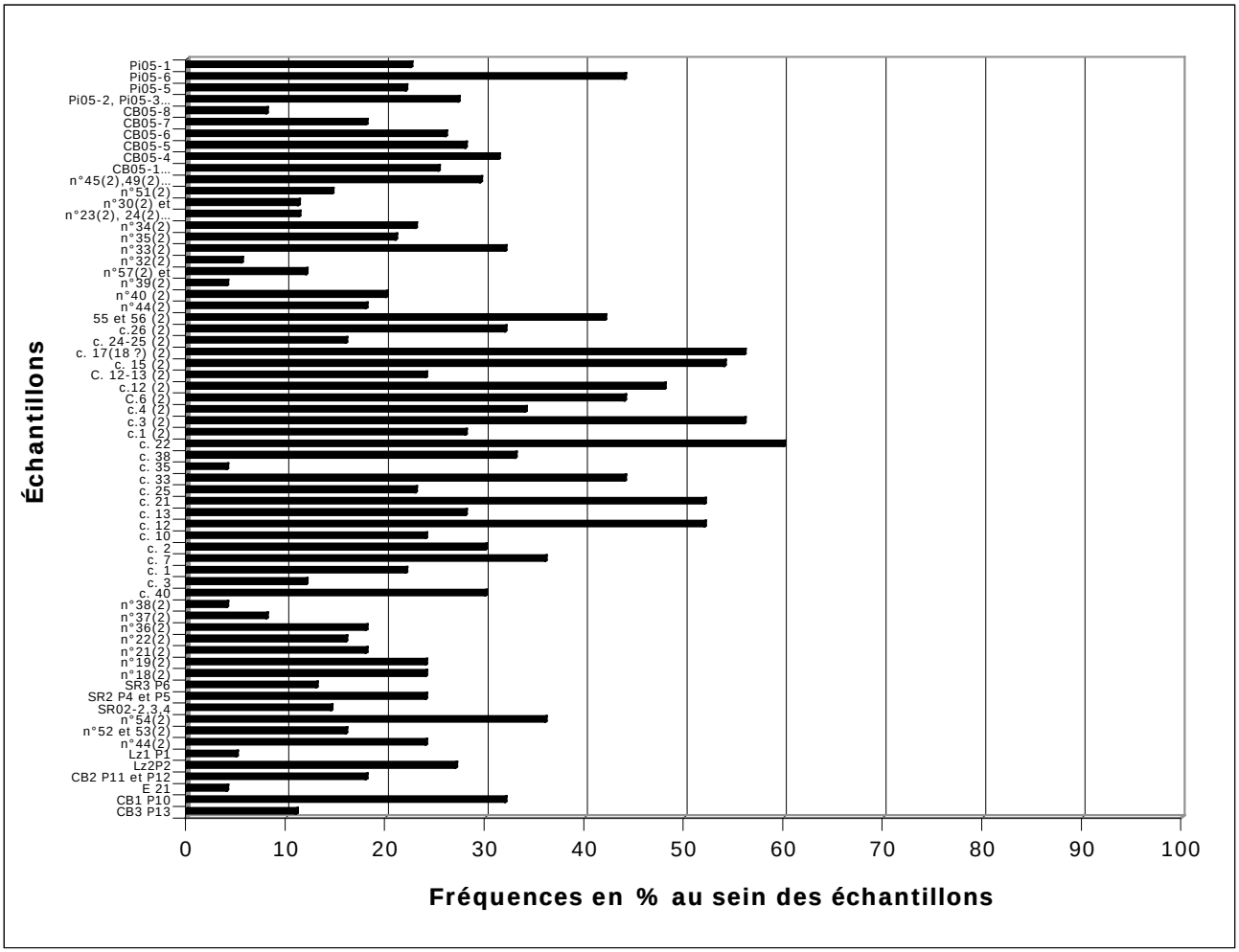


Fig. n°99 : Histogramme à barres avec en abscisse les fréquences en % des charbons contaminés et, en ordonnée, les échantillons (Fournel).

En général, les altérations importantes des microstructures du bois, comme l'aspect sinueux et brisé des parois cellulaires, indiquent un séjour du bois de plusieurs années dans un milieu où les conditions de croissance du champignon sont optimales. Un sol sous couvert forestier réunit ces conditions. Les charbons présentant de telles altérations proviennent plus certainement de bois morts ramassés à terre que de bois stockés à l'air libre, peut-être à l'exception de la couche de bois posés à même le sol lorsque la pile n'a pas été surélevée et qu'elle a été abandonnée pendant plusieurs années. Les essences ne sont pas toutes sensibles aux différentes attaques fongiques. L'absence d'altération n'exclut donc pas totalement

l'utilisation de bois mort. Au Fournel, les filaments d'hyphe ont été repérés au moins une fois dans chaque essence déterminée, même chez *Quercus* qui possède pourtant une résistance naturelle contre les champignons (Théry-Parisot 2001, p. 49).

Sur la totalité des échantillons analysés pour la reconnaissance des pourritures, 16,6 % présente un taux de charbons contaminés par les champignons supérieur à 40 % ; 12 % présente un taux compris entre plus de 30 et 40 % ; 12 % présente un taux inférieur à 10 pour cent et 59,4 % présente un taux compris entre 10 et 30 % (fig. n°99-100, p. 1115-1116). Donc, dans 71 % des échantillons, un dixième à deux cinquième du combustible utilisé a été infesté par des champignons, mais leurs fréquences dans les tissus ligneux sont la plupart du temps faibles. Ces proportions sont évidemment des minima. Il n'est pas exclu qu'une analyse microscopique de la totalité de la masse de charbon conservée pour chaque fragment conduise à la découverte de proportions un peu plus élevées de fragments contaminés. Les cas d'altérations importantes des microstructures dues aux parasites sont rares. Cette constatation associée aux fréquences relativement importantes des charbons contaminés de façon modérée a conduit à interpréter ces données comme étant le résultat d'une contamination de bois sain pendant le stockage. L'utilisation de bois mort à proprement parler n'est évidemment pas complètement exclue, mais elle a été probablement marginale (bois d'allumage) compte tenu notamment des quantités gargantuesques de bois absorbées pour l'abattage par le feu.

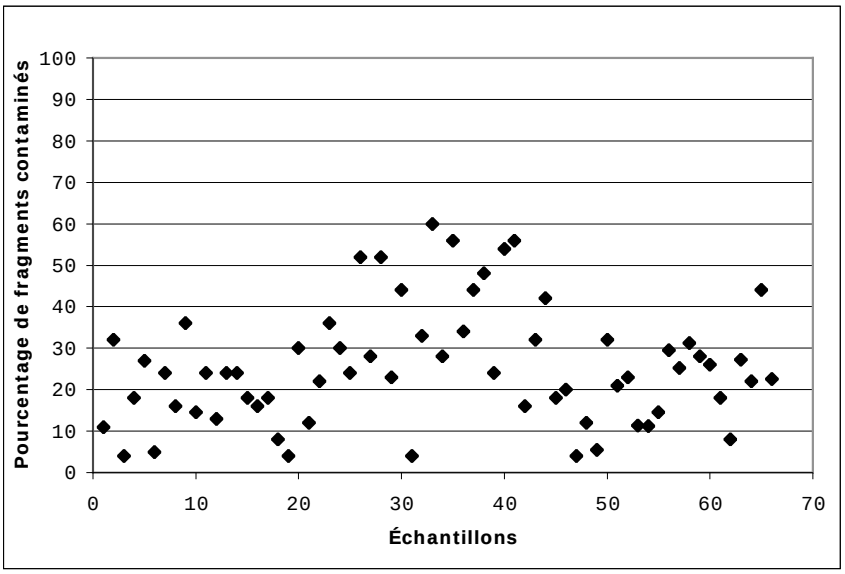


Fig. n°100 : Pourcentage de fragments contaminés par échantillon.. Un point représente un échantillon (Fournel).

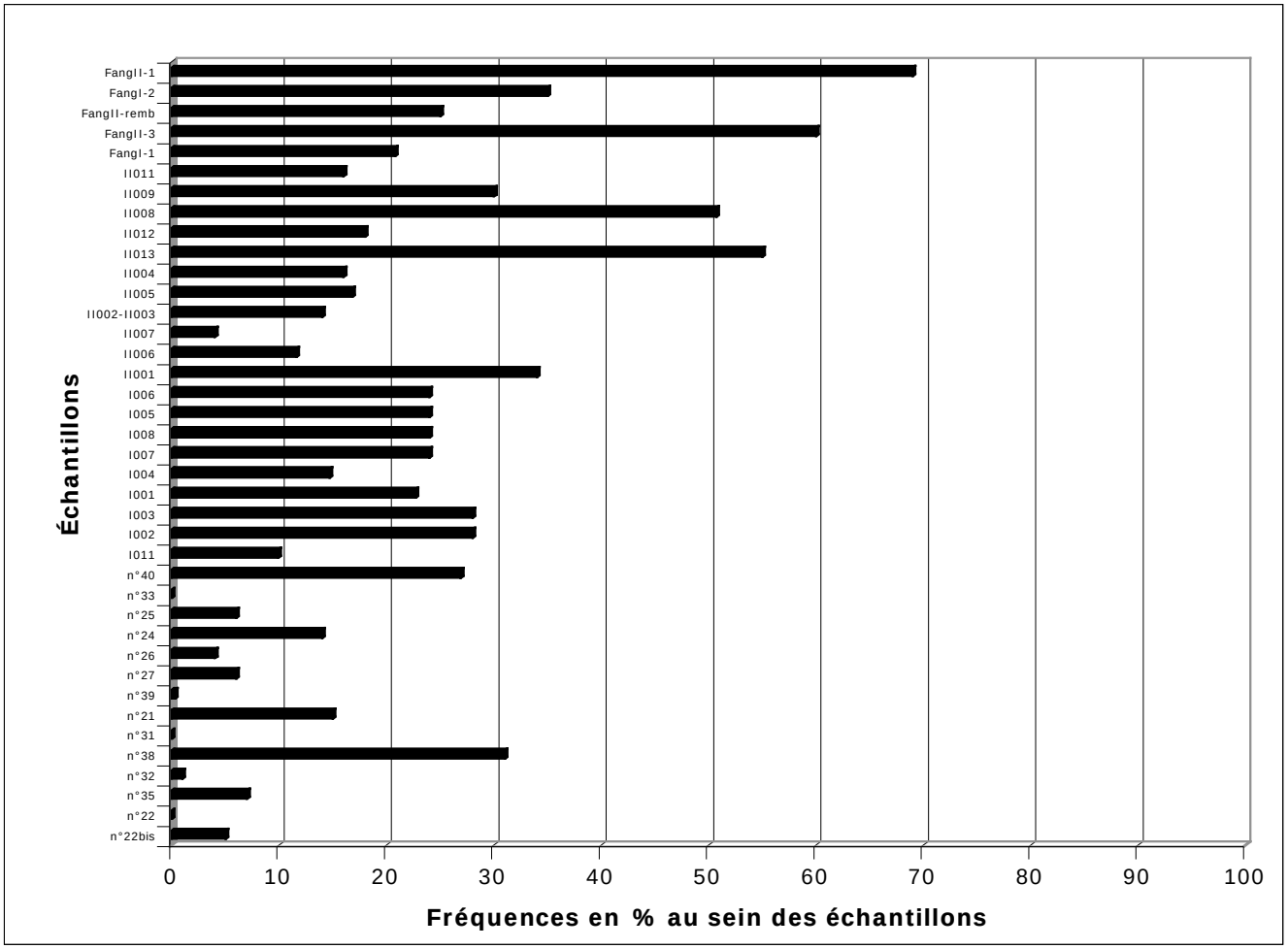


Fig. n°101 : Histogramme à barres avec en abscisse les fréquences en % des charbons contaminés et, en ordonnée, les échantillons (Faravel-Fangeas).

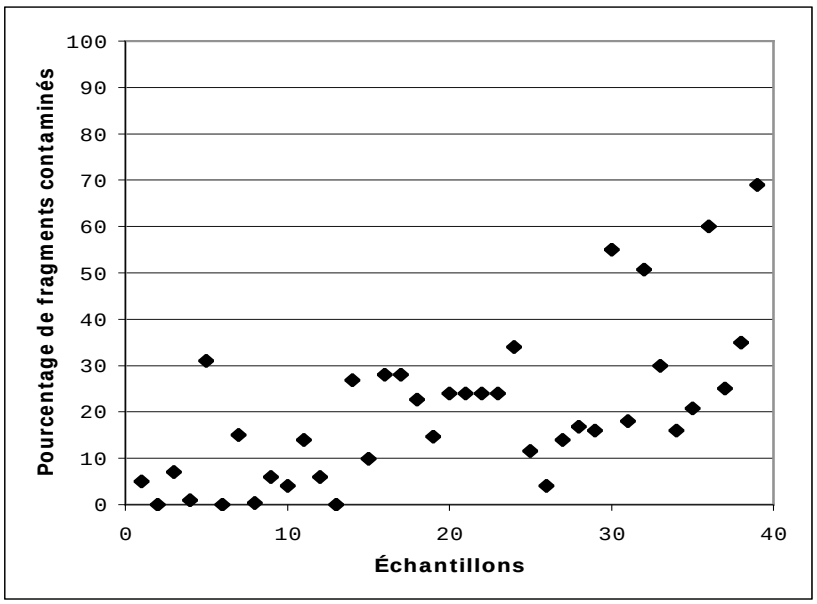


Fig. n° 102 : Pourcentage de fragments contaminés par échantillon.. Un point représente un échantillon (Faravel-Fangeas).

Une étude comparative a été conduite sur les échantillons des mines de Fangeas-Faravel sises entre 2000 et 2200 m d'altitude (*cf.* fig. n°101-102, p. 1117). La presque totalité des échantillons contiennent des charbons infestés par les champignons. Seulement quatre échantillons sont *a priori* « sains ». Contrairement au Fournel, peu d'échantillons présentent des fréquences de charbons infestés supérieures à 30 % (15 %), tandis que les échantillons présentant des fréquences inférieures à 10 % sont plus élevées (28 %). En moyenne, les proportions de fragments contaminés sont inférieures au Fournel, mais conduisent à la même interprétation concernant leur origine (bois sains contaminés durant le stockage). La présence d'échantillons non infestés et les proportions souvent faibles de charbons infestés sont probablement à attribuer aux conditions environnementales moins favorables au développement des hyphes. En effet, les températures optimales pour le développement des champignons se situent en moyenne entre 24 et 32 °C. Lorsque la température tombe en dessous de 10 °C, le froid « anesthésie » le champignon, mais ne le tue pas (Théry-Parisot 2001, p. 52). Les conditions climatiques propres à l'altitude ont d'ailleurs permis la parfaite conservation de nombreux fragments de bois non carbonisés médiévaux trouvés à la surface de la grande halde, au contact permanent de l'air. Les attaques fongiques dans les stocks de bois laissés en altitude sont théoriquement plus limitées que dans le bas des versants et ont lieu uniquement pendant la période estivale. Cette période peut néanmoins suffire à leur prolifération (de façon modérée) grâce à leur extraordinaire pouvoir de reproduction dès que les conditions favorables sont réunies.

L'étude de l'occurrence des pourritures (filaments d'hyphe) dans les cellules ligneuses des charbons de bois caractérise, avec un degré de certitude relativement élevée, une phase de stockage du bois de feu pour le séchage. Le bois utilisé pour les feux d'abattage était donc sec, c'est-à-dire présentant un taux d'humidité compris entre 13 à 27 %. Cette information primordiale est d'autant plus importante qu'il est par ailleurs quasi impossible de caractériser l'utilisation de bois vert et/ou de bois sec par le biais de l'étude des déformations anatomiques des charbons de bois résiduels.

Morphologie et calibre du bois d'abattage

Après l'état hygrométrique, phénologique et physiologique du bois de feu, l'autre paramètre qui a un impact important sur le comportement du bois au feu et la conduite du feu est la morphologie et le calibre du bois. Nous avons donc tenté d'évaluer ce paramètre grâce à l'analyse dendrologique (étude des cernes) des charbons de bois résiduels. D'abord, l'étude des cernes de croissance peut donner des informations sur le milieu de croissance de l'arbre. Les échantillons présentant une largeur moyenne de cerne faible sont théoriquement issus d'un milieu de futaie où la compétition est importante, et les échantillons présentant une largeur moyenne de cerne élevée proviennent en principe d'un milieu de lisière ou d'un milieu ouvert où la compétition est faible. Cette méthode est utilisée par les anthracologues pour détecter des ouvertures anthropiques du milieu. Or, elle n'est pas valable pour les conifères de montagne et de haute montagne qui constituent la presque totalité du corpus anthracologique du Fournel. Leur croissance radiale est en effet fortement liée aux contraintes climatiques, à l'altitude, à l'exposition et aux attaques parasitaires pour le cas du Mélèze (tordeuse grise du Mélèze) (Petitcolas, Rolland 1998 ; Desplanque *et al.* 1998). Ils sont d'ailleurs d'excellents marqueurs climatiques et font l'objet d'études spécifiques par les dendrochronologues. Les contraintes climatiques fortes liées à l'altitude et à la sécheresse intra-alpine ont également eu un impact sur l'allure des cernes de croissance de certains feuillus et notamment du Chêne à feuillage caduc (probablement *Quercus pubescens*) dont l'anatomie est très souvent atypique. Certains spécimens ne présentent pas de zone poreuse franche et leur anatomie se rapproche fortement de celle des chênes sempervirents (*cf.* annexe, pl. *Quercus* à feuillage caduc).

Lorsque la moelle et l'écorce des bois carbonisés sont conservées, il est possible de définir avec précision le calibre des bois mis au feu et leur âge. Or, les bois ayant conservé des cellules corticales sont rares. Il n'a donc pas été possible d'obtenir l'âge et le calibre exacts des bois. Dans quelques cas, la conservation de plusieurs cernes de croissances avec une courbure forte a autorisé la reconstitution du diamètre minimal grâce à l'utilisation d'un diamétron transparent. Les charbons de feuillus sont très souvent de très petite taille (millimétrique) et présentent un aspect « roulé ». Rarement plus de deux ou trois cernes de croissance ont été conservés sur une longueur ou une épaisseur ne dépassant pas toujours le millimètre (maximum 4 mm sur un des côtés). Il a donc été impossible pour la plupart des

feuillus d'évaluer avec précision le degré de courbure des cernes pour faire une mesure approximative du diamètre minimal alors que pour bon nombre d'entre eux il y a une forte présomption qu'ils soient issus de branches de faibles diamètres. Cette hypothèse est en partie étayée par l'allure des plans transversaux souvent non conformes à ceux qui sont décrits dans les atlas de xylologie établis à partir de bois matures, plaidant pour la présence de bois immatures.

L'aspect dégradé des charbons de feuillus conduit à supposer une conservation différente de celle des résineux. Les fragments conservés sont d'ailleurs très souvent situés au contact de nœud où le bois est plus dur et plus résistant. La présence de nœud, couplé au caractère immature de certains bois, a posé parfois des problèmes de détermination au rang de l'espèce et plus rarement du genre. Il ne faut pourtant pas en déduire une sous-représentation des feuillus liée à leur conservation différentielle. En effet, il a été démontré grâce à des approches anthracologiques spécifiques que la fragmentation des charbons est indépendante de l'essence. Elle suit une loi-statistique dans chaque échantillon permettant de dire que les proportions entre essences, exprimées en dénombrement relatif de fragments, ont un sens en termes de disponibilités environnementales et/ou de pratiques d'approvisionnement (Chabal 1997, pp. 50-51).

La majeure partie des calibres de branchettes identifiées est comprise entre 0,3 et 2 cm de diamètre (*cf.* fig. n°103, p. 1121). Or, ce petit-bois ne constitue qu'une proportion très faible du combustible utilisé par les mineurs (0,7 %), apparemment très largement dominé par des grosses branches (branches charpentières) et du bois de tronc (base et sommet ?). Nous en avons déduit que les résidus de petites branches, dont le calibre est compris entre 0,3-2 cm et 6-10 cm, appartiennent à une portion du petit-bois (fagotage) destiné à l'allumage dont les proportions sont infimes par rapport à la quantité de gros bois nécessaire pour la confection du corps des bûchers. Il n'est évidemment pas exclu que les mineurs du Fournel aient également utilisé des gros bois refendus en petites lamelles pour compléter l'alimentation en combustible d'allumage. À Faravel-Fangeas, le calibrage de petit-bois au moyen de la refente pour les feux d'abattage est clairement attesté. Le recours au boisillage pour ce type de combustible apparaît donc ponctuel. Il a cependant le mérite d'élargir la richesse floristique des spectres du Fournel et de donner des indications plus fines sur l'aire d'approvisionnement des mineurs et le paysage ligneux.

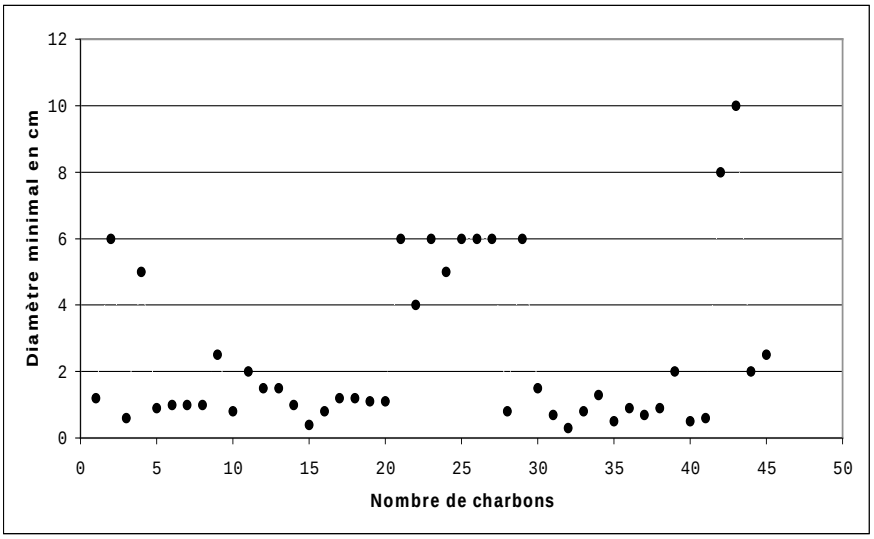


Fig. n°103 : Diamètres en cm des brindilles et branchettes retrouvées dans les charbons de bois de la mine du Fournel. Un point représente un fragment.

La majorité des charbons examinés présentent des courbures de cernes de croissance très faibles à rectilignes, typiques des gros calibres, mais ne permettant pas une évaluation précise de leur morphologie (Talon 2001, p. 66). En plus de cet indice, nous avons relevé des proportions assez importantes de bois de réaction, pouvant atteindre pour certains échantillons plus de 20 % (*cf.* fig n°104, p. 1122). Des résultats similaires ont été obtenus pour les mines de Faravel-Fangeas où les proportions de bois de réaction atteignent dans certains cas plus de 40 % du combustible utilisé (*cf.* fig n°105, p. 1123). Du bois de réaction a été détecté dans presque tous les échantillons et uniquement chez les résineux. Il se traduit en coupe transversale par un changement morphologique des cellules (lumens plus ouvert et rond) et en coupe radiale par la présence de microfibrilles qui gênent parfois la détermination de caractères anatomiques discriminants comme les ponctuations des trachéïdes. Le bois de réaction est appelé « bois de tension » chez les feuillus et « bois de compression » chez les résineux car il est en compression dans l'arbre sur pied. Il est produit du côté inférieur des troncs ou des branches inclinés pour leur permettre de se redresser (Raven *et al.* 2003, p. 892). D'après une étude récente sur la distribution du bois de compression dans l'arbre en relation avec sa forme externe, le volume de bois de compression dépend principalement de trois variables de forme de la tige : l'inclinaison globale, l'inclinaison locale et l'excentricité de la moelle (Hapca 2001). On trouve donc plus souvent du bois de compression dans les grosses branches inférieures et les troncs non rectilignes.

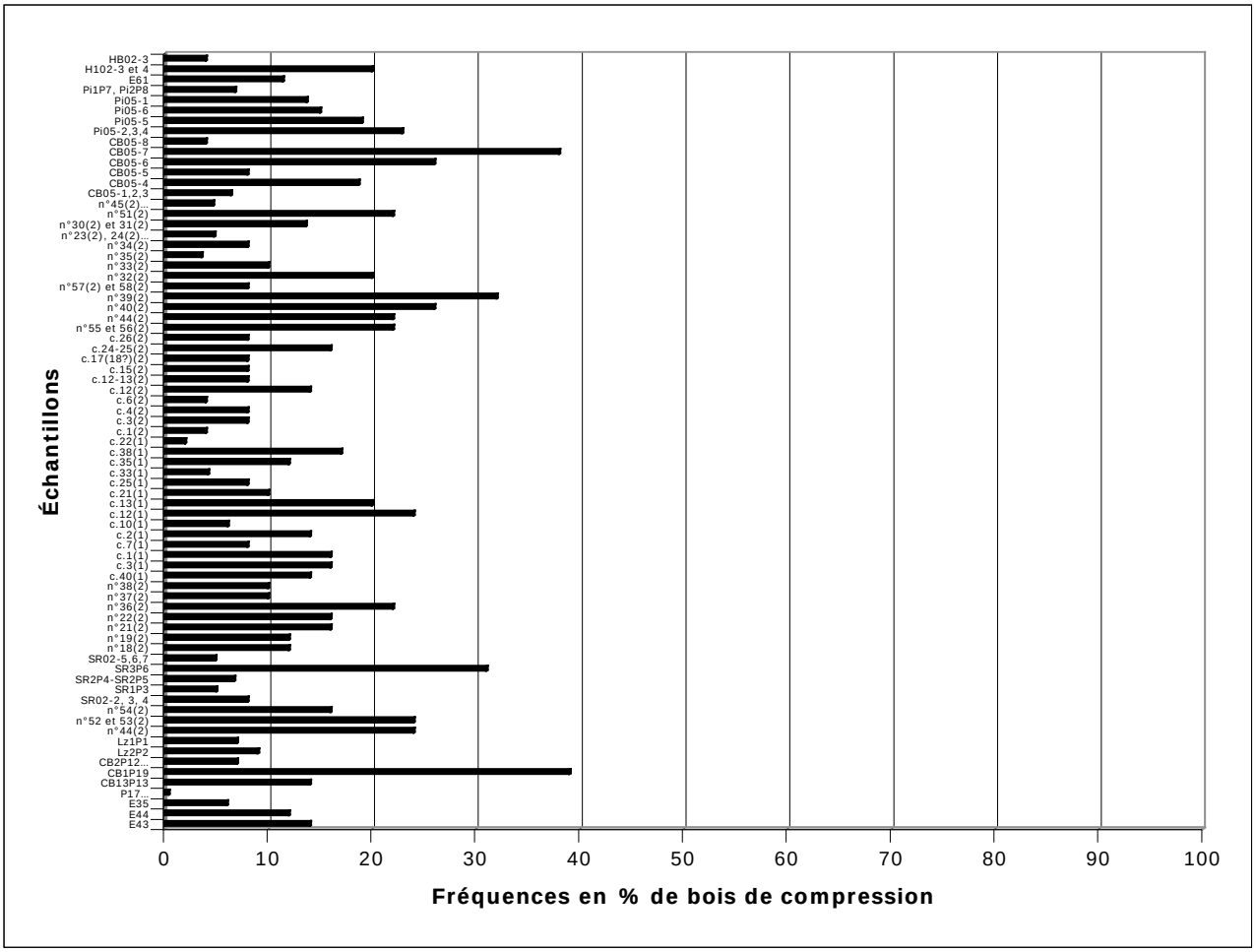


Fig. n°104 : Proportions de bois de compression identifié dans les échantillons du Fournel.

Les parties de l'arbre présentant de fortes proportions de bois de compression sont généralement moins intéressantes que les parties constituées de bois normal pour le bois d'œuvre et surtout pour les pièces à longue portée. En effet, leurs propriétés mécaniques sont différentes et elles travaillent différemment au cours du séchage (courbures). Cette remarque n'est évidemment pas anodine car nous avons affaire dans le cas du Fournel à du bois de feu. Il existerait donc au moment de l'abattage une sélection préférentielle de certaines parties de l'arbre et/ou d'arbres pour le bois de feu en fonction de leur allure et de leurs propriétés mécaniques. Les branches (basses et hautes), le bois de tronc excentré, les troncs courbes et tortueux ont pu être privilégiés pour la confection de bois de chauffe. Mais, nous n'excluons pas pour autant l'abattage de bois rectiligne pour la chauffe même si cela paraît peu judicieux en termes d'économie des boisements.

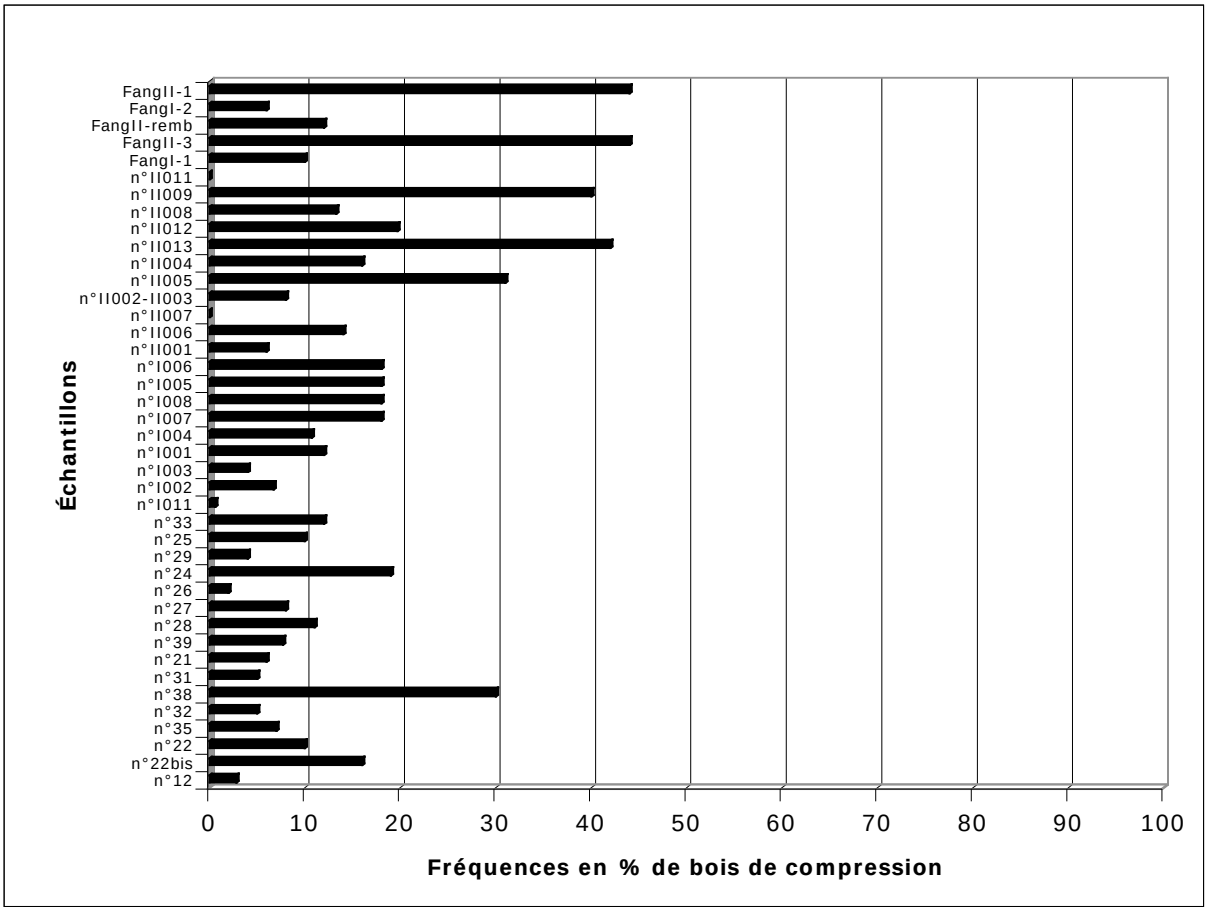


Fig. n° 105 : Proportions de bois de compression identifié dans les échantillons de Faravel-Fangeas.

- . -

L'hypothèse d'un choix préférentiel des bois non rectilignes et des grosses branches pour le bois de chauffe ne peut pas être validée par la seule observation de bois de compression dans les charbons dont les fréquences (maximum 20 %) suggèrent plutôt une exploitation de l'ensemble des bois disponibles dans l'aire d'approvisionnement y compris des basses branches non rectilignes. Il ne faut cependant pas exclure une réserve des plus beaux bois rectilignes pour la construction. En effet, les pratiques traditionnelles d'exploitation forestière privilégient les longs troncs parfaitement rectilignes pour la fabrication de plus belles pièces de charpente exigeant une certaine résistance. Il ne faut pas oublier par là que les essences utilisées de préférence pour l'abattage par le feu étaient aussi les essences de prédilection pour le bois d'œuvre dans cette région des Alpes du Sud (Pin, Sapin, Mélèze).

II.3. DE L'ART DE FAIRE UN BÛCHER

Après le problème du combustible bois pour l'abattage par le feu, il convient de traiter celui non moins fondamental et complémentaire du bûcher. Si l'étude anthracologique des charbons de bois miniers donne quelques précisions sur l'état et le calibre du bois avant combustion, elle n'est d'aucun soutien pour tenter de restituer la forme des bûchers, la manière d'aménager les bûches et la quantité de bois brûlée pour chaque feu. La documentation écrite et iconographique s'avère alors d'un apport essentiel pour une meilleure compréhension de la technique et de ses usages et pour bâtir le protocole expérimental. Comme précédemment, puisque les textes antiques et médiévaux sont presque totalement muets à ce sujet, nous avons porté une attention toute particulière à la documentation écrite et iconographique de la Renaissance et des Temps modernes.

Pour l'époque médiévale comme pour l'Antiquité, aucune source iconographique représentant un bûcher d'abattage n'a été retrouvée. Il existe néanmoins une charte, datée des alentours de 1480 (Loi de la mine profonde), avec la représentation de l'emploi du feu dans la mine de Mendips en Grande-Bretagne, sous-titrée avec les termes suivants : « Ceci est un feu ». Mais, malgré l'abondante documentation dépouillée pour cette étude, nous n'avons pas pu retrouver une reproduction de cette image mentionnée sans précision de la source par R. Hunt[338], puis par A. L. Collins en 1893[339].

L'abattage par le feu étant une technique universelle, l'enquête a été ouverte à la documentation orientale. En 1475, pour l'exploitation des mines de cuivre de Shu Yuan Tsa Chi (Chine), Lu Jung précise dans une courte description que les grands morceaux de bois de chauffage utilisés pour les bûchers sont empilés « vers le haut », et « contre la veine métallifère », c'est-à-dire dressés verticalement ou légèrement adossés contre le front de taille, sans plus de précision.

[338] HUNT (R.), *British Mining…*, 1884, p. 134 et p. 137.

[339] COLLINS (A. L.), Fire-sitting : the art of mining by fire…, p. 84.

À l'exception de cette mention, aucun texte antérieur au XVe siècle ne décrit la façon de confectionner un bûcher ou différentes sortes de bûchers suivant le contexte et l'objectif de l'abattage. Autant dire que les données sont réduites à une peau de chagrin.

À l'air libre comme en souterrain, les quelques images recensées pour les XVIe-XVIIe siècles (*cf.* fig. n°92-93-94-95-96-97, pp. 1093-1097) montrent toujours le même type de bûchers : des rondins de taille métrique, redressés à la verticale contre le front de taille, ou adossés de façon plus ou moins inclinée. Plus le front de taille est redressé, plus les bûches qui composent le bûcher sont arrangées verticalement.

G. Agricola est le premier et le seul à en donner une représentation au XVIe siècle (*cf.* fig. n°90, p. 1092). Il ouvre le chapitre consacré à cette technique en spécifiant que « la manière de l'employer n'est pas simple », déjà à cause des problèmes d'enfumage des travaux, puis parce que la technique suppose une bonne maîtrise de la manière d'arranger les bois en fonction du contexte : percement d'une galerie, abattage dans un filon étroit ou puissant, ou encore extraction de petites veines dans la masse du filon.

Sur l'image, le bûcher s'embrase en dégageant d'épaisses fumées qui s'échappent vers le haut. Il se compose de deux tas de bois superposés. Les bûches sont arrangées verticalement et sont légèrement adossées contre le front de taille. Le bûcher contient au total une douzaine de rondins visibles de longueur métrique. Cette image est conforme au texte pour le percement des galeries hautes. Dans une galerie basse, un seul tas est dressé. D'après le texte, la taille d'un bûcher (ou la quantité de bois utilisés) doit être proportionnelle à l'ampleur de la cavité qui l'accueille : plus l'espace est large, plus la quantité de bois arrangée contre le front de taille doit être importante :

> « […] si le trou est large, on y met autant de bois qu'il est possible, et s'il est étroit, on en met peu. »

La taille des bûchers serait donc une fonction hyperbolique de la quantité de roche abattue : plus le bûcher est gros, plus la quantité de roche abattue est importante. Mais, dans ce cas, G. Agricola précise :

> « […] la grande puissance du feu détache beaucoup plus le filon du toit et même parfois du mur »[340]

[340] AGRICOLA (G.), *De Re Metallica*, livre V.

Cela suppose que le bas du front de taille et la sole de l'ouvrage subissent avec ce type de bûcher une action du feu plus modérée. Mais G. Agricola ne dit pas comment résoudre ce problème efficacement quand on doit abaisser le sol de la galerie.

Pour attaquer des petites veines dans la masse du filon, les mineurs réalisent des bûchers avec des bois arrangés « en éventail » intercalés avec des bois de faibles calibres pour activer leur inflammation. Cette technique n'est malheureusement pas illustrée dans l'ouvrage. Cet éventail de bois devait être aménagé de façon à ce que la pointe, constituée par les extrémités des bois réunies, soit dirigée contre la petite veine, de façon à conduire les flammes sur un point bien délimité du front de taille.

En 1617, G. E. Lohneiss dans son *« Bericht von bergwerk »* reprend dans ses grandes lignes les propos d'Agricola. L'image qui illustre le procédé est aussi relativement conforme, seule la quantité de bûches adossées contre le front de taille, représenté en coupe longitudinale, paraît deux à trois fois plus importante que chez G. Agricola (*cf.* fig. n°106, p. 1127). Ici, la cavité qui accueille le bûcher est une galerie à hauteur d'homme. L'objectif du feu est clairement de faire progresser le front de taille, et non pas d'élargir le trou. On remarque que les premiers mètres du puits par lequel s'échappent les fumées ne sont pas cuvelés de façon à éviter la propagation du feu aux équipements. Le texte dit encore que des foyers de charbons de bois incandescents sont placés sur la sole des galeries pour rectifier sa pente qui a tendance à monter avec l'utilisation de bûchers de bois.

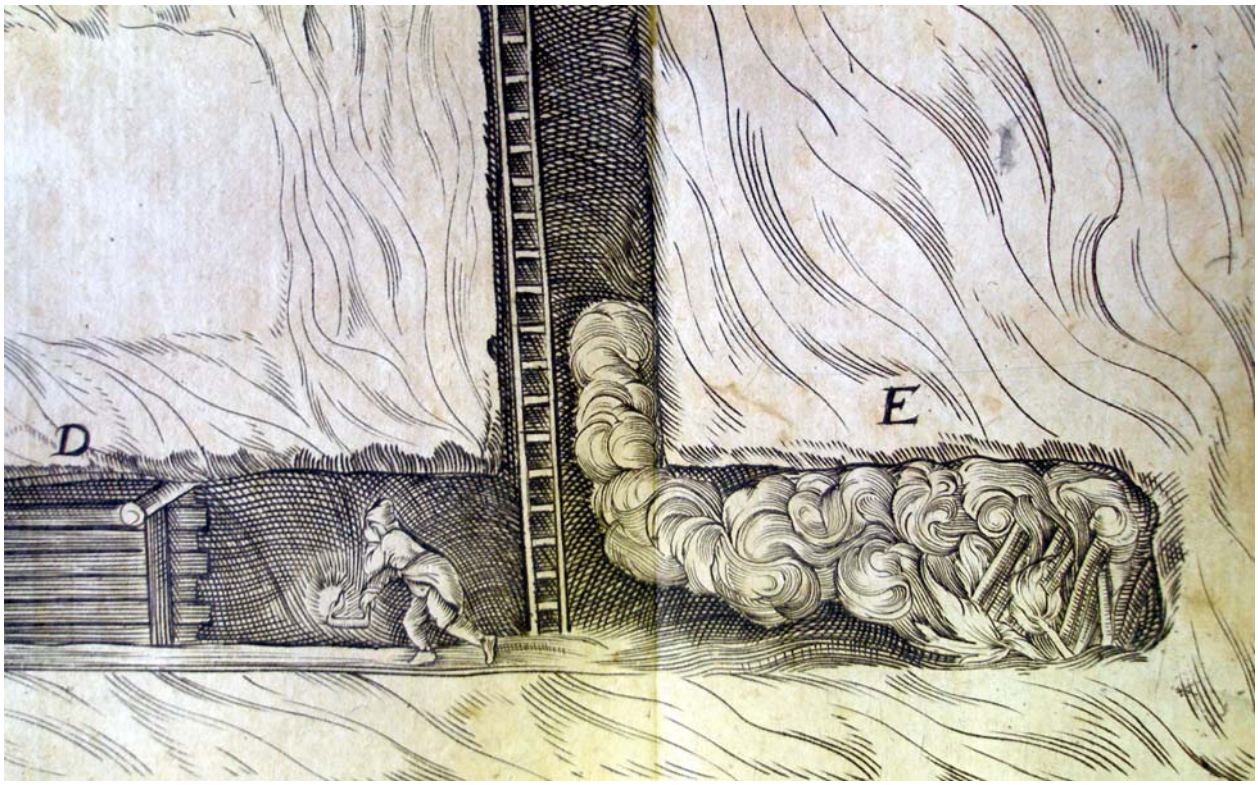


Fig. n°106 : Détail d'un bûcher d'abattage dans une galerie d'après G. E. Lohneiss (1617).

À partir du XVIIIe siècle, dans certains cas, les ingénieurs des mines et les voyageurs s'attachent à décrire, avec une relative précision, la manière de confectionner les bûchers.

Dans sont *« Speculum Metallurgiae Politissimum oder Hell-polierter Berg-Bau-Spiegel »*, édité en 1700, B. Rossler est un des premiers à décrire l'utilisation du « bûcher tour » dans les chambres d'exploitation, en combinaison avec des bûchers adossés utilisés pour les départs d'exploitation sur le filon (petites cavités) (*cf.* fig. n°107, p. 1128).

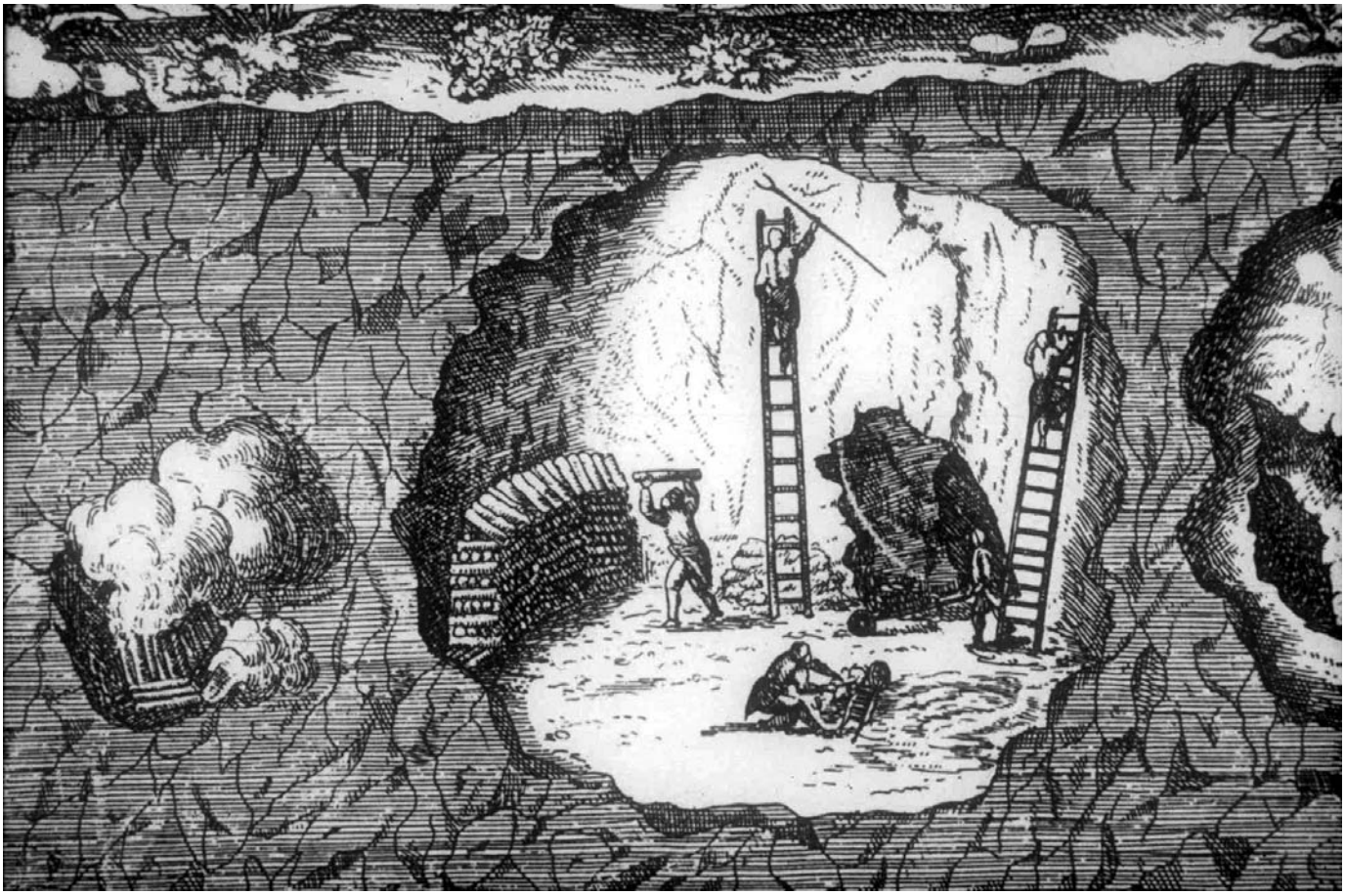


Fig. n°107 : Scène d'abattage par le feu dans des chambres d'exploitation d'après B. Rossler (1700).

En bas, à gauche de l'image, un bûcher adossé en cours de combustion dégagent d'épaisses fumées au niveau de son foyer et de son sommet. Cinq à six rangées de bûches arrangées verticalement et légèrement inclinées contre le front de taille reposent sur un lit de bûches posées horizontalement sur trois niveaux. Ce type de bûcher est utilisé pour démarrer une exploitation sur un filon ou pour percer une galerie. La position verticale des bûches favorise la circulation des flammes du bas vers le faîte de la galerie ou de tout autre ouvrage. On note que les bûches n'atteignent pas physiquement le faîte de la galerie. En hauteur, elles occupent au moins la moitié de la cavité. Au centre de l'image, un mineur dresse un imposant bûcher destiné à élargir la zone d'exploitation et à attaquer un front de taille sur une grande surface. Il confectionne grâce au mode d'empilage « bois sur bois » par lits horizontaux perpendiculaires, des bûchers tours posés les uns contre les autres pour faciliter la circulation de l'air. La profondeur du bûcher est déterminée par la longueur des bûches, toutes de taille métrique.

Dans son « *The Miners Dictionnary* » (1747), W. Hooson précise la façon d'aménager le foyer d'allumage :

> « […] le feu est soigneusement placé sur la sole, et les premiers bois secs sont étendus en petits bouts, pour être facilement enflammés, puis autant sur la roche craquelé que l'on peut mettre ».
>
> « […]le bûcher est d'abord établi avec du bois sec qui est petit et sera enflammé par une bougie, puis du bois plus gros que nous pourrons ; et pour compléter, de préférence du bois de stère […][341]

Pour attaquer la sole d'un ouvrage, le mineur doit placer sur la surface à abattre des petits-bois secs qui servent à l'allumage et à la prise du feu dans le bûcher. Puis, sur ce lit, il doit déposer des bois de plus en plus gros pour finir de préférence avec du « bois de stère ». L'auteur ne décrit pas précisément pas la manière d'arranger les bûches, apparemment couchées sur la sole, et empilées les unes sur les autres.

Plus loin, il précise la manière de procéder pour attaquer « tous les côtés » d'une cavité, mais ne décrit pas le bûcher à proprement parler :

> « […] sur un front de taille nous employons des pierres de calage entre les côtés, comme nous voyons qu'elles peuvent convenir à aménager l'endroit vers le haut, et soutenir le feu pour qu'il ne chute pas de son endroit avant qu'il ait entièrement fait son effet ; pour atteindre le toit nous faisons toujours un échafaudage jusqu'à une certaine distance du toit, et le couvrons de pierres avec précautions, et faisons le feu là-dessus […][342]

Ici, W. Hooson explique la nécessité de cadrer le bûcher avec des pierres de calage pour le maintenir de façon à éviter l'effondrement des bûches au cours de la combustion, et diriger les flammes contre le front de taille. Pour attaquer le toit d'un ouvrage, le mineur doit surélever son bûcher grâce à un échafaudage couvert de pierres.

Dans son mémoire sur les mines du Rammelsberg, A. J. Jars expose de manière succincte la technique employée pour disposer les bûchers dans les galeries vers 1766. Elle est conforme aux descriptions de G. Agricola ou de B. Rossler :

> « […] l'on arrange des bûches de bois inclinées, qui d'un côté appuient sur une autre semblable mise en long sur le mur, & de l'autre

[341] HOOSON (W.), *The Miners Dictionary…, ibid.*

[342] HOOSON (W.), *The Miners Dictionary…, ibid.*

> côté contre le minerai. On entasse ce bois pour en former un bûcher […] »[343]

Ici, les bûches sont arrangées inclinées directement contre le front de taille et sont calées au sol par une ou plusieurs bûches installées au travers de la galerie.

Dans son « Traité de l'exploitation des Mines » édité en 1773, A. G. Monnet, traduisant des ouvrages allemands, explique qu'il est nécessaire, pour plus d'efficacité, d'ouvrir à la poudre un espace assez grand pour pouvoir contenir :

> « […] un quarré de bois de quatre ou cinq pieds de large, & autant de hauteur »[344].

Il établit ces proportions car :

> « […] on a remarqué que ce sont celles qui sont les plus convenables, & qui produisent une chaleur assez forte & durable pour pénétrer au loin ; de sorte qu'après un tel feu, on se trouve à même de poursuivre fort au loin, avant que d'être obligé de poser un nouveau feu : au lieu que, si on ne pose qu'un petit feu, à peine étant suffisant pour attendrir la roche, il faut recommencer sur nouveaux frais. […] Cette différence est fondée sur ce qu'un feu continu produit plus d'effet que plusieurs feux en des temps différents. »[345]

Par contre, sans le recours à la poudre pour ouvrir un espace suffisamment grand pour accueillir autant de bois :

> « […] on doit se borner d'abord à faire de petits feux, parcequ'alors on emploierait trop de temps à pousser une entaille assez grande pour y placer un grand feu […] »[346]

Cette remarque suggère que l'ouverture par le feu d'une cavité, assez grande pour accueillir un bûcher performant, est longue et laborieuse car il faut utiliser des petits bûchers. Des bûchers massifs élevés contre une paroi rocheuse ou un front de taille non incurvé sont inutiles car une partie de l'énergie calorifique libérée est perdue.

Une fois que l'entaille ouverte au moyen de la poudre ou de l'abattage par le feu est assez grande pour accueillir un bûcher aux proportions idéales :

---

[343] JARS (A. J.), *Voyages métallurgiques*, huitième mémoire, 1766, p. 265.

[344] MONNET (A. G.), *Traité de l'exploitation.…*, pp. 79 et suiv.

[345] MONNET (A. G.), *Traité de l'exploitation.…*, pp. 79 et suiv.

[346] MONNET (A. G.), *Traité de l'exploitation.…, ibid.*

> « […] on commence par placer un rang de fagots ou de petits bois sur quelques bûches fort écartées les unes des autres, contre une paroi de l'entaille : on met dessus au moins 16 grosses bûches bien sèches : après les avoir disposées toutes dans un même sens, on en remet autant dessus dans un autre sens ; en sorte que les bûches du premier rang se croisent avec celles du second : on continue ainsi à élever le bûcher à la hauteur que l'on veut. »[347]

Ici, A. G. Monnet décrit la manière pour dresser un « bûcher tour ». Le foyer d'allumage est constitué de quelques bûches écartées les unes des autres couvertes de petits bois. Le bûcher à proprement parler est élevé sur ce premier lit. Contrairement au bûcher adossé, l'auteur précise que ce type de bûcher permet d'atteindre plus facilement des hauteurs importantes. Cette technique paraît caractéristique des exploitations nordiques (mines de Falun ou du Dannemora) ou allemandes (Altemberg ou Rammelsberg) où les filons sont très puissants et autorisent l'usage de grands bûchers sans craindre d'élargir inutilement et à perte la cavité.

Traduit par J. G. Schreiber en 1778, C.-F. Delius décrit aussi l'usage de bûchers tours couronnés par une série de bûches adossées pour allonger les flammes vers le haut de l'ouvrage. Ils sont utilisés en Transylvanie pour l'élargissement des galeries précédemment travaillées avec la grille ou *« prägelkatze »* :

> « […] on pose sur un côté de l'ouverture des rangées de bois l'une sur l'autre en angle obtus, […], on les fait incliner vers le haut, & ensuite on les couvre encore avec des bûches dressées obliquement […] »

Ces bûchers constitués de 48 bûches en 16 couches sont dressés successivement contre chacune des parois. Le même type de bûcher est utilisé pour attaquer le faîte des galeries, mais seulement :

> « […] il faut du bois beaucoup plus long, & que les couches s'étendent à quelques toises pour augmenter l'effet du feu. »

Lorsque le feu ne travaille plus de manière efficace le faîte de la galerie, en raison de la hauteur de l'ouvrage :

> « […] on forme des murailles des deux côtés avec des pierres de gangue à une hauteur convenable, & ensuite on recommence les lits de bois. Si, de cette manière, on est parvenu à une hauteur de neuf à dix pieds, on fait un échafaud […] de six pieds de hauteur étançonné avec des *estaimples* ; on le garnit de planches, & on le couvre de deux à

[347] MONNET (A. G.), *Traité de l'exploitation…, ibid.*

trois pieds d'épaisseur de pierres de gangue, afin qu'on puisse faire le feu dessus pour continuer le travail, sans crainte que le feu se communique à l'échafaud. Comme à fur & mesure qu'on continue le torréfage, il se forme plus de minerais en pierres de gangue, cet échafaud se rehausse de lui-même, de façon que le feu peut toujours être posé dessus. Mais comme ces pierres de gangues détachées par le feu occupe plus de place que dans leur position naturelle, on peut, en ce cas, en faire rouler une partie, les faire extraire & transporter dans les bocards. […] Les ouvriers se mettent l'un derrière l'autre le long de ces échafauds, & ils posent les bois par rangées qui sont comptées pour chaque homme qui prépare quatre, cinq jusqu'à six toises de galeries : lorsque toutes les rangées de bois sont posées, on y met le feu à toutes en même temps. » (*cf.* fig. n°108, p. 1132).

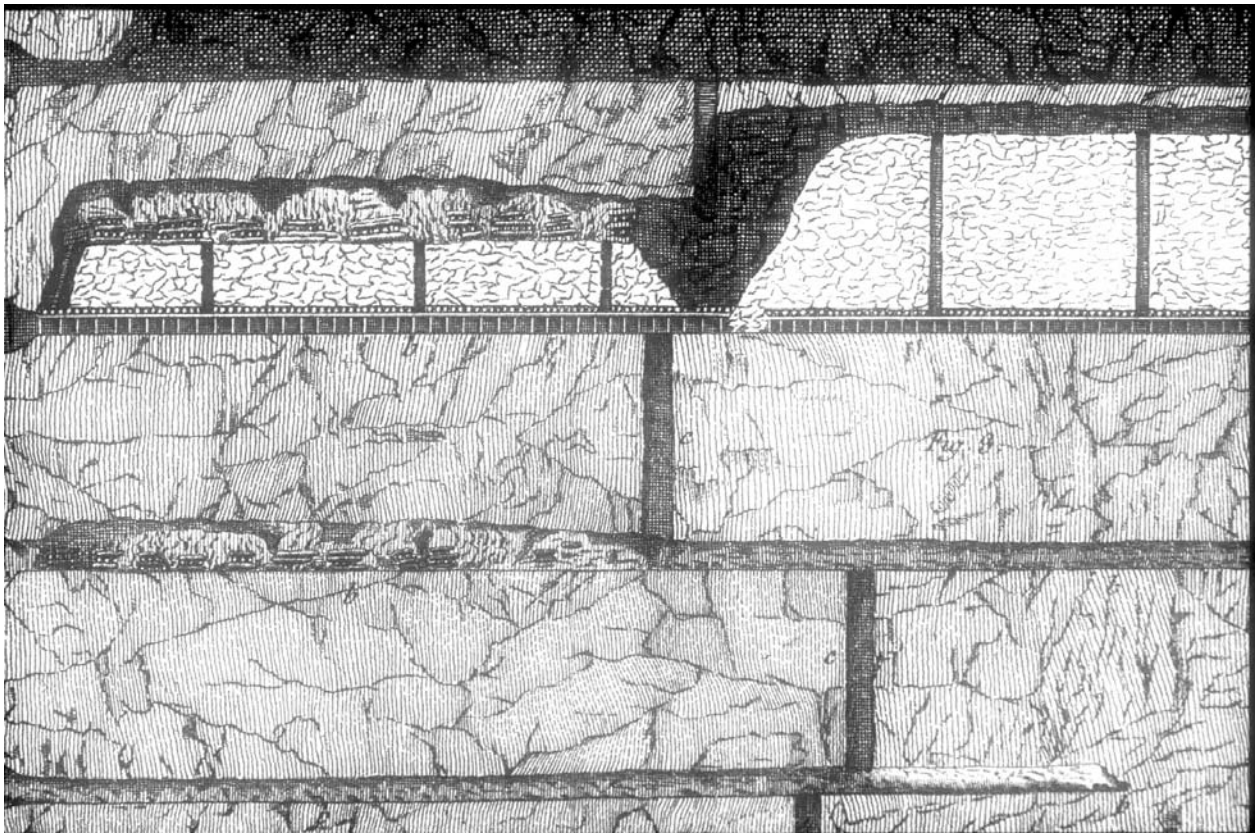


Fig. n°108 : L'abattage par le feu avec des séries de bûchers tours surélevés ou non sur des échafauds couverts de remblais d'après C.-F. Delius (1778).

Les déblais d'abattage sont stockés de façon à former un premier échafaud surélevé par la suite avec une plateforme en bois recouverte de remblais. Lorsque les résidus deviennent trop abondants, ils sont évacués à l'extérieur de la mine. Les bûchers sont dressés en série par une équipe de mineurs. Le même nombre de bûches est utilisé pour chaque bûcher.

De la même manière, les bûchers tours sont dressés en série dans les chantiers d'exploitation (abattage d'un massif minéralisé) précédemment délimité par des galeries et des puits destinés à l'aérage. Pour attaquer le toit et les parois qui s'élèvent au fur et à mesure des opérations, les bûchers sont placés sur de solides échafauds en bois recouverts d'un lit de pierres de gangue de plusieurs pieds d'épaisseur pour éviter que le feu ne se communique aux structures d'élévation en bois.

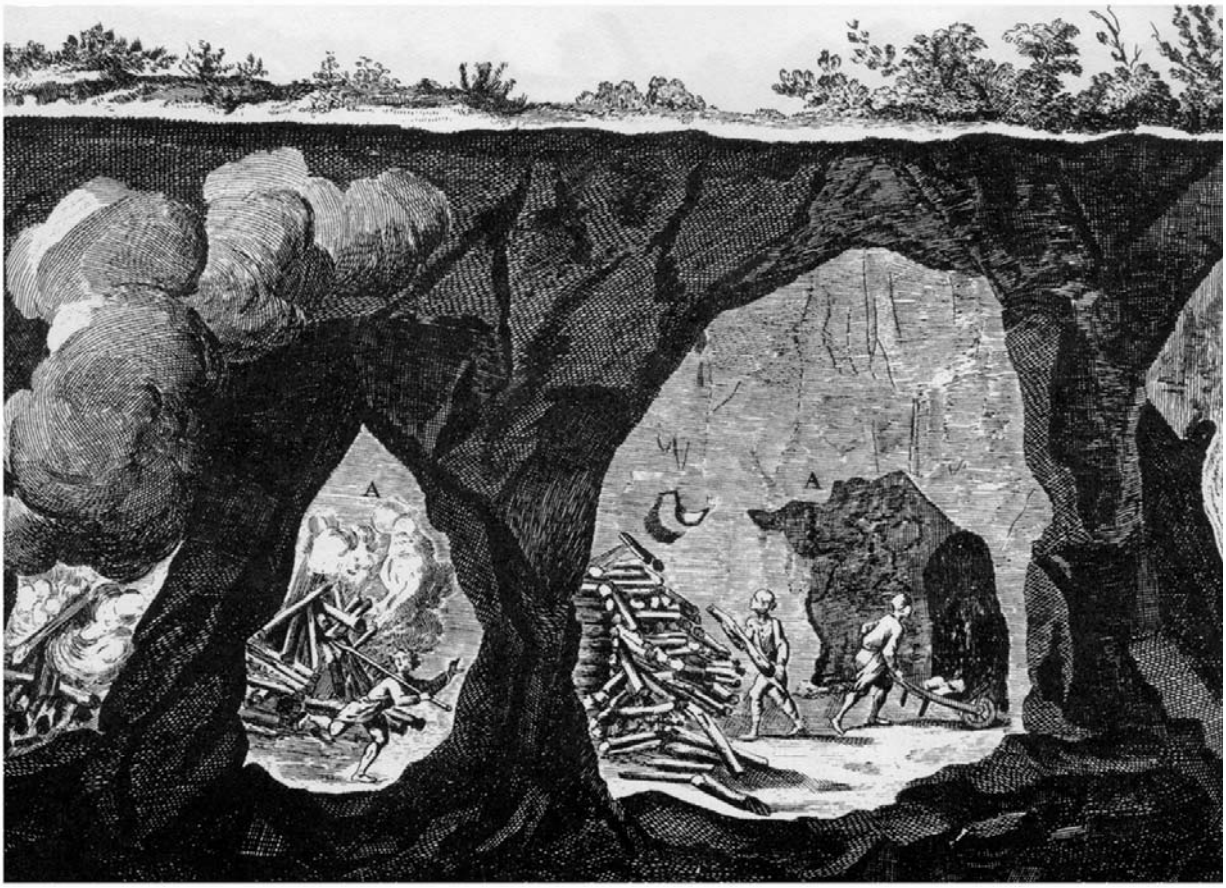


Fig. n°109 : Scène d'abattage par le feu, tirée de l'Encyclopédie du Baron J. H. d'Holbach et de D. Diderot (1751-1772).

Cette description précise de la manière de confectionner les bûchers miniers en Transylvanie, contraste avec le texte consacré à l'abattage par le feu par le baron J. H.

d'Holbach et D. Diderot dans leur Encyclopédie[348] éditée entre 1751 et 1772. La planche d'illustration est très parlante : à gauche de l'image, les bûchers entassés par les mineurs s'effondrent à moitié après leur allumage (*cf.* fig. n°109, p. 1133). Au centre, les bûches sont agencées en vrac par un mineur dans un tas en déséquilibre. Ces bûchers n'ont rien de comparable avec les illustrations proposées par les ingénieurs mines à la même époque. Ils révèlent une profonde méconnaissance de la technique jugée alors comme archaïque.

Au XIXe siècle, la documentation concernant l'usage du feu et la mise en œuvre des bûchers dans les mines du Nord et du Nord-Est de l'Europe abonde – traités, mémoires de voyages des élèves ingénieurs, dictionnaires miniers – , mais reprend bien souvent, avec parfois de nouveaux détails suivant les mines, la description donnée par C.-F. Delius[349]. La manière de construire des « bûchers tours » développée en Transylvanie est presque identique dans les mines nordiques et dans les mines allemandes. Au Rammelsberg, les ouvriers appellent ce type de bûcher *« schrank »* ou armoire. Les bûchers sont élevés en série dans les galeries à élargir, ou dans les chantiers d'exploitation. Le bûcher adossé ou redressé est utilisé pour démarrer le percement d'un ouvrage et pour avancer un front de taille dans une galerie. Il peut également être surélevé sur une estrade de remblais[350]. Il est toujours placé sur un lit de bûches horizontales empilées les unes sur les autres ou en croix (bois sur bois) de façon à faciliter la circulation de l'air dans le foyer (*cf.* fig. n°110, p. 1135). Dans certaines mines, comme à Altemberg, pour éviter la propagation des flammes dans les boisages en place, les ouvriers recouvrent le bûcher de vieux boisages mouillés[351].

Dans les mines d'étain de Geyer, le bûcher est entouré :

> « […] d'une muraille de gros quartiers de minerai extraits à la poudre, afin que la flamme ne puisse avoir aucune action sur le derrière et que peu contre le faîte. »[352]

[348] HOLBACH (J. H. Baron de), DIDEROT (D.), *L'encyclopédie – L'Art des Mines*, vol. X, Paris, 1751-1772, p. 525.

[349] COMBES (Ch.-P.-M.), *Traité…*, I, pp. 292-297.

[350] Voir par exemple HÉRON DE VILLEFOSSE (A. M.), *De la richesse minérale…*, chap. IV, pp. 303-309.

[351] MANES (G.), Mémoire sur les mines d'étain d'Altemberg, *Annales des Mines*, VIII, 1822, pp. 536 et suiv.

[352] MANES (G.), Mémoire sur les mines d'étain de Geyer, *Annales des Mines*, IX, 1823, pp. 288 et suiv.

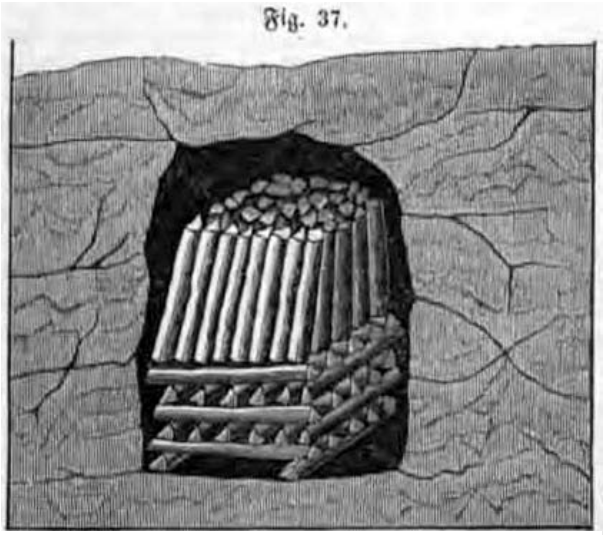


Fig. n°110 : Bûcher composés de bûches arrangées verticalement, surélevé sur un lit de bûches empilées en croix (d'après W. Leo 1861).

Dans son mémoire sur la mine du Rammeslberg écrit en 1850[353], Ch. R. Lan, explique que les mineurs distinguent trois grands types de bûchers : les bûchers placés à l'avancement de la voûte ou au pied de la voûte (*« Seiten feuer »*), les bûchers placés sur les remblais pour l'avancement en hauteur (*« Försten feuer »*), et les bûchers placés sur les remblais, mais destinés à briser des roches trop grosses (*Knutltel feuer*).

Le premier type de bûcher est une variante du « bûcher tour » associée ou « bûcher adossé ». Il est construit sur une assise de gros morceaux de minerai dont le travail au marteau est impossible, puis :

> « […]Au dessus de ces pierres, un premier lit de bois refendus, placés de manière à former grille : ordinairement 3 ou 4 pièces pareilles sur une largeur de tas de 40 pouces. Au dessus de celles là, 3 ou 4 nouvelles pièces à angle droit sur les premières & enfin encore au dessus 3 ou 4 pièces parallèles à celles du dessous. Les bois inclinés terminent le tas […] En général, les bûchers ne sont pas établis sur toute la longueur du massif suivant la direction ; on n'en a jamais guère que 2 ou 3 pareils placés l'un à côté de l'autre. La quantité des bois contenus dans un pareil tas, varie entre 1, 2 & 3 malter (le malter étant de 26 pieds cubes 2/3 c.a.d. environ 1 m. cube). »

Destiné à attaquer le toit de la voûte, le deuxième type de bûcher est construit de la même manière, seulement :

> « […] la partie supérieure du bûcher doit être voisine du toit ; mais […] on surélève le tas par une assise plus ou moins épaisse de roche en masse […] »

Le troisième bûcher, de dimension variable, consiste à établir :

> « […] sur un lit de roches en masses, deux ou trois lits de pièces de bois refendus en les croisant de manière à former une grille sur laquelle se placent les masses de roche à fissurer. »

[353] E.M.P., Mémoire de voyage n°436, LAN (Ch.-R.), *Mémoire sur l'exploitation par le feu de la mine du Rammelsberg*, 1850.

Suivant le type d'ouvrage à travailler et l'allure du front de taille, la variété des bûchers associant le bûcher tour (appelé bûcher couché ou *liglafvar* en Suède[354]) et le bûcher adossé, est parfaitement illustrée dans les travaux de M. F. Gätzchmann, probablement les plus complets et les plus détaillés à ce sujet au XIXe siècle[355].

En Suède, dans les mines de Falun et de Sala, les bûchers adossés ou redressés (appelés *« reslafvar »*) sont les plus usités au XIXe siècle. Suivant la hauteur du front de taille à abattre, les mineurs font varier la hauteur des bûchers avec la longueur des bûches :

> « À Sala, dans les chambres d'exploitation, la hauteur des pièces de bois varie de 2 à 4 mètres, et la flamme agit sur la roche, pour y produire des fissures, jusqu'à 10 à 12 mètres d'élévation, deux à trois fois la longueur des bois. »[356]

La hauteur des flammes dépend en partie de la hauteur des bûches dressées contre le front de taille. Plus les bûches sont longues, plus les flammes seront hautes. Elles peuvent atteindre une hauteur deux à trois fois plus importante que celle des bûches. Donc, contrairement à la technique du bûcher tour, pour attaquer le faîte et le haut du front de taille d'un ouvrage, il est inutile avec un bûcher adossé d'empiler les bûches sur toute la hauteur de la cavité.

- . -

Cette revue documentaire à laquelle nous venons de nous livrer révèle la variabilité du mode de construction des bûchers et de la quantité de bois brûlée en fonction du gîte et du type d'ouvrage à percer. La documentation iconographique de la Renaissance et des XVIe-XVIIe siècles ne donne qu'un aspect du type de bûcher usité, le bûcher adossé, le plus courant, mais certains textes, en particulier les traités germaniques, suggèrent l'usage de nombreuses variantes suivant la taille de la cavité, la hauteur du front de taille et la gîtologie. La taille des bûchers est modulable en fonction des proportions du front de taille et de l'ouvrage. Pour la préparation de l'entaille, les mineurs réalisent des petits bûchers jusqu'à ce que la cavité puisse accueillir des bûchers plus importants et plus performants. Le travail est

[354] DUROCHER (J.), Note sur l'exploitation des mines…, p. 246.

[355] GÄTZCHMANN (M. F.), *Vollstandige Anleitung zur Bergbaukunst – Die Gewinnungslehre*, Freiberg, 1846.

[356] DUROCHER (J.), Note sur l'exploitation des mines…, p. 246.

lent et laborieux. Il est relayé dans certaines mines à partir du XVIIe siècle par l'explosif, non seulement pour ouvrir les entailles, mais aussi pour retoucher la sole des ouvrages. Tous les textes pointent la difficulté d'abattre la sole des ouvrages ou de percer verticalement au moyen du feu. Malheureusement, avant le XVIIIe siècle, les textes ne disent pas précisément quels types de bûchers sont les plus appropriés pour surmonter cette difficulté. La manière d'arranger les bûches facilite l'orientation des flammes, comme au moyen d'un chalumeau, sur un point précis du front de taille. Les bûchers tours paraissent être une spécificité des mines spacieuses et sont confectionnés en série dans les galeries comme dans les chambres à partir du XVIIIe siècle et probablement dès avant dans les gîtes où les filons sont puissants. Ils sont souvent associés au bûcher redressé ou adossé pour allonger les flammes vers le haut du front de taille. Le foyer constitué de bois de faibles calibres secs est placé directement sur la sole de l'ouvrage ou surélevé grâce à des bûches placées horizontalement sur la sole pour faciliter la circulation de l'air et augmenter le tirage. Très tôt, les bûchers destinés au percement des galeries sont cadrés avec des pierres de gangue pour éviter l'effondrement des bûches et leur combustion à perte. Cette technique est relayée par l'utilisation de grilles en fer ou de tôles calées à l'arrière des bûchers pour concentrer la chaleur sur le front de taille. Dans les vastes salles d'exploitation modernes les bûchers sont surélevés sur des plateformes aménagés directement sur les remblais ou sur des platelages en bois couverts de remblais. En principe, les mineurs sortent de la mine après l'allumage du ou des bûchers. Il n'y a pas de conduite du feu à proprement parler. À partir du XVIIIe siècle, l'usage de la grille implique un suivi du feu : pousser les bûches incandescentes contre le front de taille et recharger du feu en continu jusqu'à saturation de l'air. L'application de cette technique est possible dans les ouvrages spacieux et bien aérés, mais les conditions de travail sont probablement très pénibles à cause de la chaleur et des fumées.

III. EXPÉRIMENTATIONS SÉRIELLES DE L’ABATTAGE PAR LE FEU EN MILIEU SOUTERRAIN

L’ensemble des données archéologiques, textuelles et iconographiques étudiées jusqu’à présent contribue à nous offrir une image relativement précise, mais incomplète, de la technique d’abattage par le feu. Nous avons caractérisé les résidus archéologiques, la forme des ouvrages et leur organisation, nous avons exploité les résidus de charbons de bois dans une perspective paléoécologique et d’économie des bois et des boisements. La documentation historique pointe l’organisation du travail, sa codification, les difficultés propres à l’usage souterrain du feu. À partir de la Renaissance, elle met en scène le bûcher et le mineur, le feu dans la mine. Malgré le décalage d’échelles chronologiques et géographiques, les textes convergent tous vers une constatation : l’abattage par le feu pour extraire le minerai et exploiter une mine relève d’un véritable savoir-faire, pour ne pas dire d’un art du feu. Le procédé est long, délicat, parfois périlleux. Son efficacité est conditionnée par la maîtrise de plusieurs facteurs : variation de dureté de la roche, gîtologie, morphologie du front de taille, circulation de l’air, calibre et hygrométrie du bois, forme des bûchers. Dès la Renaissance, les textes et les fronts de taille témoignent d’une volonté de réduire son usage grâce au perfectionnement de la taille manuelle combiné au feu puis aux explosifs. Au Moyen Âge, bien que le recours à l’outil en fer ne puisse être nié dans les roches altérées ou fracturées, les mineurs ont percé entièrement au moyen du feu des kilomètres de galeries, des puits verticaux, obliques, et ont ouvert des chambres souterraines parfois spectaculaires comme à Vallauria dans les Alpes-Maritimes (Ancel 1998a). Ils étaient des artisans miniers du feu. Malheureusement la documentation propre à cette période ne dit rien de leur travail, de leur gestuelle, de leur savoir-faire ou des stratégies d’exploitation qui en découlent. Les documents plus tardifs en donnent juste une idée, mais toujours en extrapolant. C’est entre autres pour cette raison qu’il nous est apparu fondamental de parfaire cette recherche grâce au recours à l’expérimentation sérielle qui constitue un trait d’union entre nos connaissances empiriques des phénomènes et les anciens savoir-faire.

III.1. CADRE DE L'ÉTUDE ET PROBLÉMATIQUES

III.1.1. Travaux précurseurs et principaux résultats

Les premières expérimentations de l'abattage par le feu ont été conduites en laboratoire en 1861 par A. Daubrée[357]. Mais elles visaient avant tout à améliorer le procédé avec l'usage d'un chalumeau à oxygène et à hydrogène. En 1927, B. W. Holman, toujours en laboratoire, montre notamment que des échantillons de quartz sont attaqués par le feu à partir de 300° et 400°C (Holman 1927, pp. 229 et 233). Mis à part ces essais en laboratoire, l'abattage par le feu expérimental en contexte archéologique a été initié à la fin des années 80 par les archéologues gallois pour étudier les incidences techniques des outils en bois de cerf et en pierre sur la roche fragilisée par le feu dans les mines protohistoriques (Pickin, Timberlake 1988 ; Crew 1989 ; Lewis 1990 ; Timberlake 1990b ; Craddock 1991). Mais, la plupart de ces expériences ont été conduites de manière ponctuelle sur des roches à l'air libre et altérées en surface, avec des rechargements périodiques du bûcher. Les résultats sont difficilement exploitables pour caractériser la technique en souterrain. Ils donnent une idée de son application en contexte de carrière, dans des roches moyennement dures.

C. Dubois au Goutil-L'Argentario en Ariège et F. Téreygeol à Melle dans les Deux-Sèvres ont développé en tant que pionniers cette approche en France (Dubois 1996 ; Téreygeol 1998 ; 2000 ; 2001). Les expérimentations du Goutil-L'Argentario ont été menées dans l'objectif d'évaluer les quantités de bois utilisées pour l'exploitation d'un réseau, la durée de l'activité et son impact sur le couvert forestier. Le réseau d'aérage romain étant condamné, des expérimentations souterraines n'auraient pas été viables. Les bûchers ont donc été dressés contre une falaise abritée par un surplomb rocheux, sur un filonnet de barytine stérile. Seules quatre expérimentations ont été conduites. Conformément aux données anthracologiques, le bois de hêtre sec a été choisi. L'allumage des bûchers a été réalisé au moyen de fagots de brindilles posés sur la sole et contre le front de taille. Les bûchers ont été

[357] DAUBRÉE (A.), Emploi de la chaleur…, pp. 23-25.

échafaudés au moyen de bûches d'un mètre ou de 50 cm de long non refendues ou refendues. Le premier bûcher était composé de bûches entières adossées à la verticale contre le front de taille. Le second, cadré par des murettes latérales en blocs de pierre et en terre, était constitué de bûches entières arrangées horizontalement. Le troisième et le quatrième bûcher, toujours cadrés par les murettes, ont été dressés au moyen de bûches refendues, courtes de 50 cm, arrangées à l'horizontale, et surélevées à l'arrière par quelques bûches transversales.

Exp. n°	Poids bûcher	Étonnement	Purge	Total	Rendement	Recul FdT
1	200 kg env.	63,5 kg	166 kg	229,5 kg	1 env.	12 cm
2	200 kg env.	18 kg	89 kg	107 kg	0,5 env.	1 cm
3	50 kg	8 kg	66 kg	74 kg	1,48	10 cm
4	58 kg	4 kg	62 kg	66 kg	1,14	5 cm

Tabl. n°25 : Résultats des expérimentations menées au Goutil-L'Argentario d'après Dubois 1996, p. 44.. Rendement = Roche totale abattue / bois.

Par rapport à la seconde expérience, pour la même quantité de bois brûlés, les résultats spectaculaires de la première expérience sont liés au caractère très altéré de la roche exposée aux intempéries depuis plusieurs siècles (*cf.* tabl. n°25, p. 1141). Ils ne sont donc pas exploitables. On remarque que le rendement ou ratio (rapport de la quantité de bois brûlés et de la quantité totale de roche extraite) n'augmente pas avec la quantité de bois brûlés et que les meilleurs résultats ont été obtenus avec le plus petit bûcher. Le relevé du front de taille, fait après chaque expérience (étonnement et purge), indique un bon avancement dans sa moitié inférieure, mais la sole présente une pente qui s'élève en direction du front de taille (Dubois 1996, p. 43, fig. 4). Les expérimentateurs en ont déduit la difficulté de creuser au moyen du feu un ouvrage vertical, puisque le feu attaque surtout la partie centrale du front de taille. Pour surmonter cette difficulté, ils ont supposé l'existence d'un savoir-faire antique perdu, mais également, au regard des données textuelles du XIXe siècle, la lenteur du procédé avec à la clé une consommation plus importante de combustible que pour le percement des ouvrages horizontaux. À partir de ces résultats, les expérimentateurs proposent une évaluation purement hypothétique de la durée de l'exploitation d'un réseau, comme celui du Goutil-L'Argentario n°2 dont les vides approchent 1 km de longueur, et de la consommation en combustible. Sans connaître les conditions de travail des mineurs durant l'Antiquité, le phasage chronologique de l'exploitation, il a été considéré que l'abattage par le feu en souterrain pouvait se faire jour et nuit. En évaluant à trois heures la durée de combustion d'un

bûcher, à six heures le temps de refroidissement du bûcher et d'évacuation des fumées et des gaz, et à trois heures le temps d'évacuation des stériles, du minerai et la préparation du bûcher suivant, il serait possible de faire deux attaques par le feu en 24 heures (Dubois 1996, p. 44). En tablant sur 10 cm d'avancement par feu quelques soit la hauteur du front de taille, et sur la réalisation de deux feux par 24 heures sur deux fronts de taille simultanés, il faudrait faire 10000 feux et 7 ans pour creuser un 1 km de galeries. À partir des données des deux dernières expériences (les plus efficaces), et pour un front de taille d'un mètre de hauteur, il serait possible d'effectuer deux à trois attaques par 24 h. Dans ces conditions, 10000 feux représentent 2500 stères de bois, et 20000 feux, 5000 stères. Pour cela, il faudrait exploiter, dans une hêtraie-sapinière contenant 100 m^3 de hêtre à l'hectare, 250 à 500 hectares, soit 2,5 à 5 km^2 de futaie. À partir de ces évaluations très hypothétiques, il faudrait en déduire que les grandes mines ouvertes par le feu pouvaient créer en une dizaine d'années, des espaces déboisés de plusieurs kilomètres carrés. En se basant sur ces résultats, l'abattage par le feu apparaît comme un véritable chancre de la forêt pouvant décimer des centaines d'hectares de forêt en seulement une dizaine d'années. Pour notre part, et nous avons tenté de le démontrer avec nos expérimentations sérielles et l'anthracologie des remblais, cette évaluation très hypothétique est démesurée. De plus, dans des conditions de travail à l'air libre, les maçons de Château-Queyras au XVe siècle, ont mis 23 ans pour creuser une citerne quadrangulaire profonde de 6,55 m et large de 4,68 m et pour abattre environ 200 m^3 de roche. Il faut donc considérer ces interprétations avec une grande prudence car les rendements des attaques par le feu peuvent être très variables suivant les contextes, même au sein d'une même mine, les temps de travail ne sont pas maîtrisés, ni même la chronologie de l'exploitation pour le cas du Goutil-L'Argentario, et il ne faut pas négliger la possibilité d'une gestion raisonnée, aussi bien qualitative que quantitative, du combustible utilisé pour chaque feu pour améliorer les rendements.

À Melle, F. Téreygeol et son équipe sont les précurseurs des expériences *in situ* en milieu souterrain (mine de la Noblette). Les données obtenues entre 1996 et 1999, pour la première fois de façon sérielle, ont servi de point de comparaison avec celles du Fournel. Le gîte karstique de Melle présente de la galène argentifère, en partie concentrée dans les fissures de la roche sur une épaisseur de 5 m. Le gisement est disséminé dans un encaissant calcaire. La silification de la roche la rend extrêmement difficile à attaquer manuellement. Pour cette raison, les mineurs carolingiens ont privilégié cette technique d'abattage aux dépens de la taille manuelle. Les objectifs des expérimentations étaient multiples : obtenir des roches

abattues par le feu, observer la forme et la progression d'une cavité ouverte avec cette technique, recueillir du minerai pour des expérimentations minéralurgiques et métallurgiques, et mesurer les températures d'abattage dans ce contexte spécifique.

Au total, 40 feux ont été conduits à leur terme : 9 feux contre deux fronts de taille souterrains et 31 en extérieur contre un front de carrière au contact d'une diaclase minéralisée. La masse totale de roches abattues s'éleve à 3203 kg[358] (Téreygeol 2000, p. 533 et tabl. n°26, p. 1144). Conformément aux données anthracologiques, les archéologues ont utilisé du bois de hêtre, puis du chêne et du charme car il était difficile de s'approvisionner avec la première essence. Comme au Goutil-L'Argentario, les bûches utilisées présentaient 50 cm et 1 m de longueur pour la première série de feux, puis uniquement 50 cm de longueur. Leur diamètre était compris entre 15 et 20 cm. Les bûches étaient refendues ou non. Conformément aux données iconographiques du XVIe siècle, pour chaque bûcher, les bois serrés entre eux ont été aménagés verticalement contre le front de taille, avec une légère pente (Téreygeol 2001, I, p. 134). La plupart des expériences ont fait l'objet de mesures : pesée du bois, pesée de la roche abattue par le feu, pesée de la roche purgée (tabl. n°26, p. 1144) et, pour trois expériences, mesure des températures au moyen de thermocouples K avec câbles de Téflon tressé. Les deux premières séries d'abattage ont bénéficié d'un relevé de paroi avant et après chaque attaque pour estimer l'évolution et la forme du creusement. D'un bûcher à l'autre, les résultats obtenus montrent une variation importante des rendements, compris entre 0,4 et 3,88. Les plus mauvais résultats sont attribués aux conditions de travail parfois difficiles (pluie, bois humide, mauvaise combustion du bûcher). Les abattages qui se sont déroulés dans les meilleures conditions présentent un rendement compris entre 0,8 et 2,6. Les variations entre la roche abattue par le feu et la roche abattue à l'outil sont directement liées à la quantité de bois brûlés. Avec des foyers d'une centaine de kilogrammes, le feu n'abat jamais plus que l'outil. Au-delà de cette quantité de bois, le rapport s'inverse, mais cela n'a pas de conséquence sur le rendement global (Téreygeol 2001, I, p. 146). En effet, le rapport entre surface d'abattage et quantité de bois s'établit à 60 kg pour un m^2 de front. La combustion d'une quantité de bois supplémentaire se fait en pure perte comme pour le premier feu (*cf.* tabl. n°26, p. 1144). De plus, elle peut ralentir le travail car le temps de refroidissement est plus long.

[358] Apparemment, cinq expériences supplémentaires ont été réalisées, mais elles n'ont pas fait l'objet de mesure. Elles n'apparaissent pas dans le tableau.

Exp. n°	Poid bûcher (kg)	Bois brûlé (kg)	Étonnement (kg)	Purge (kg)	Total P+E	Rendement
E. 1	80,5	54	8,5	22	30,5	0,56
E. 2	211,5	179,5	67	28,5	95,5	0,53
E. 3	500	500	271	130	401	0,80
E. 5	44,5	37,5	10	16	26	0,69
E. 6	39	39	9,5	5	14,5	0,37
E. 7	10	10	7,5	11	18,5	1,85
E. 8	16	16	6	22	28	1,75
E. 9	16	16	18	14	32	2,00
E2. 1	70	70	27	23	50	0,71
E2. 2	73	73	20	58	78	1,07
E2. 3	43	43	33	79	112	2,60
E2. 4	40	40	9	49	58	1,45
E2. 5	54	54	4	41	45	0,83
E2. 6	32	32	10	75	85	2,66
E2. 7	54	54	24	30	54	1,00
E2. 8	53	53	19	44	63	1,19
E2. 9	49	49	40	47	87	1,78
E2. 10	83	83	15	95	110	1,33
E2. 11	54	54	13	48	61	1,13
E2. 12	46	46	9	12	21	0,46
E2. 13	44	44	11	41	52	1,18
E2. 14	49	49	14	33	47	0,96
E2. 15	43	43	8	50	58	1,35
E2. 16	40	40	5	22	27	0,68
E2. 17	41	41	10	22	32	0,78
E2. 18	60	60	11	46	57	0,95
E2. 19	58	58	6	63	69	1,19
E3. 1	60	60	25	46	71	1,18
E3. 2	50	50	16	31	47	0,94
E3. 3	41	41	27	132	159	3,88
E3. 4	57	57	19	57	76	1,33
E3. 5	52	52	27	130	157	3,02
E3. 6	53	53	29	95	124	2,34
E3. 7	50	50	20	147	167	3,34
E3. 8	45	45	15	55	70	1,56
E3. 9	57	57	19	47	66	1,16
E3. 10	42	42	10	93	103	2,45
E3. 11	47	47	23	22	45	0,96
E3. 12	50	50	17	60	77	1,54
Total	2507,5	2442	932,5	2041,5	2974	1,22

Tabl. n°26 : Résultats des expériences d'abattage par le feu conduites à Melle d'après Téreygeol 2001, I, p. 147. Série 1 (E. 1 à E. 3), les feux ont été réalisés sur le premier front de taille, dans la mine de la Noblette. Série 2 (E5 à E9), les feux ont été réalisés au moyen de fagots sur le second front de taille dans la mine de la Noblette. Série 3 (E2.1 à E2. 19), abattages en extérieur. Série 4 (E3. 1 à E3. 12), abattages réalisés en extérieur.

Pour la première série de feux les meilleurs rendements ont d'ailleurs été obtenus avec les feux les plus courts (temps) réalisés avec des fagots. Mais le faible nombre d'expériences menées pour cette série n'établit pas que la durée courte d'un feu a une influence positive sur le rendement de l'abattage qui est aussi conditionné par le sens de la fracturation. Les expériences réalisées sur différents fronts de taille ont révélé que le feu entame difficilement la roche lorsqu'on ne travaille pas dans le sens de la fracturation (Téreygeol 2001, I, p. 149).

Les fractures situées dans le sens d'avancement des travaux faciliteraient la circulation de la chaleur.

Alors que la roche et la quantité de bois brûlée semblent des facteurs déterminant la variation des rendements, l'espèce de bois utilisé n'a *a priori* aucune incidence. Par contre, la refente du bois conduit à une meilleure combustion et à une meilleure stabilité du bûcher. Or les calibres des bois refendus n'ont pas été mesurés. Enfin ces expériences établissent qu'un bûcher adossé contre la paroi, constitué de bûches arrangées verticalement, allonge les flammes en hauteur. De cette manière, les bois se maintiennent plus longtemps dressés avant de s'effondrer contre la paroi et continuent de brûler efficacement. Concernant les conditions de travail, les expériences ont confirmé l'impossibilité d'intervenir sur le bûcher ou d'interrompre l'abattage avant la totale combustion du bois à cause de la chaleur, de la fumée et des difficultés d'évacuer vers la surface des bois incandescents.

Les mesures thermiques réalisées pour trois expériences caractérisent plus précisément le mode d'extraction et ses conséquences sur la gestion d'un chantier minier (Téreygeol 2000). L'abattage par le feu se décompose en deux phases distinctes. La première concerne la montée de la température qui provoque des étonnements réguliers lorsque la surface de la roche atteint 500 °C. Les étonnements se poursuivent jusqu'à ce que la température à trois centimètres de profondeur atteigne le palier de 475 °C. Cette phase s'accompagne de production de petites écailles de roche. Lorsque la température atteint 500 °C à 3 cm de profondeur, les étonnements s'espacent et produisent des blocs plus gros et plus épais qui se détachent avec moins de violence et moins fréquemment. Cette seconde phase a été interprétée comme le résultat de la dilatation différentielle du calcaire et du quartz (Téreygeol 2000, p. 537). À ce moment, les températures grimpent entre 500 et 800 °C entre la surface et plus ou moins trois centimètres de profondeur. Avec un seul étonnement, le feu n'atteint en aucun cas des profondeurs égales ou supérieures à 6 cm. Les blocs massifs, prédominants dans les remblais de la mine de Melle, ont donc été produits au moyen de l'abattage manuel et non pas de l'abattage par le feu à proprement parler. L'étonnement produit des écailles de roche de 1 cm^2 à 200 cm^2 pour les plus grosses qui n'excèdent rarement 5 cm d'épaisseur. La purge produit des résidus plus massifs. Cette étape est nécessaire pour assurer l'efficacité du feu suivant. Également, l'évolution des fronts de taille, avec une nette remontée de la sole, suggère que la pente doit être compensée par un travail à l'outil long et laborieux (Téreygeol 2001, I, p. 163). Au-delà de la durée utile du feu, il faut attendre plus de trois heures pour que la température de la paroi descende entre 40 et 50 °C. Avant cela, le mineur n'a aucun intérêt

à dégager les braises car la température de la roche est trop chaude pour effectuer la purge. Enfin, l'analyse des produits de ces attaques expérimentales démontre que ce mode d'extraction n'a aucun impact sur le grillage alors qu'il facilite le traitement mécanique (Téreygeol 2000, pp. 538-543).

- . -

Les expériences conduites en France en contexte minier, extérieur et souterrain, suggèrent une grande variabilité des rendements d'un feu à l'autre. Les résultats les plus médiocres sont attribués à de mauvaises conditions de travail et surtout à l'état hygrométrique du bois, qui n'était pas maîtrisé et mesuré, et de la paroi lors d'épisodes pluvieux pour les attaques à l'air libre. D'autres facteurs conditionnent fortement les rendements : l'état de la roche, le sens de fracturation, l'espace disponible pour contenir le bûcher et la quantité de bois brûlés. Il est inutile de construire de gros bûchers contre les petits fronts de taille au risque de consommer une grande quantité de bois à perte. Il faut donc supposer la nécessité d'une gestion rigoureuse du bois utilisé (calibre, taux d'humidité) pour obtenir les meilleurs rendements, particulièrement pour le percement d'ouvrages étroits. La forme des bûchers et les différents modes de construction possibles n'ont pas été explorés. Seul le bûcher adossé a été expérimenté. Or, une analyse approfondie de la littérature minière révèle la variabilité des modes de construction dès la Renaissance, et probablement dès avant. Pourquoi les mineurs se seraient-ils contenter de confectionner toujours le même type de bûcher alors que la dynamique du feu et ses effets sur le front de taille sont fortement conditionnés par la manière d'organiser les bois. Avec le bûcher adossé, les expériences attestent la difficulté d'attaquer la sole. Les archéologues en ont conclu que le feu ne le permettait pas. Alors, comment les mineurs ont-ils fait pour percer par le feu des puits verticaux depuis le haut, attestés par l'archéologie au Fournel et à Fangeas-Faravel ? Il existe certainement une réponse à ce problème qui est, encore une fois, probablement lié à la manière de gérer le combustible. Les expériences confirment l'impossibilité d'une intervention par les mineurs sur la conduite d'un feu en souterrain avec des capacités d'aérage réduites, notamment avant la connexion de tous les conduits d'aérage. Les mineurs devaient construire le bûcher de manière à rentabiliser leur efficacité sans intervention pour redresser les bûches effondrées ou rapprocher le foyer incandescent du front de taille. Enfin, les résidus obtenus de manière expérimentale sont peu

comparables aux résidus archéologiques malgré l'omniprésence des plaquettes. Mais aucune comparaison basée sur des données archéométriques et sédimentologiques statistiquement fiables n'a été réalisée.

III.1.2. Les expérimentations du Fournel

Les tâtonnements

Les expérimentations conduites au Goutil-L'Argentario et à Melle ont très tôt motivé la mise en place d'une approche similaire dans les mines du Fournel. Bénéficiant d'un cadre logistique plus adapté grâce à la mise en valeur touristique de la mine et à présence constante d'une équipe scientifique sur les lieux coordonnée par B. Ancel, elles autorisent la réalisation d'expériences sérielles en souterrain (Ancel 1997c). Ce site devait constituer un point de rencontre pour les chercheurs et les étudiants travaillant sur les mines antiques et médiévales et sur la question de l'abattage par le feu. À côté des travaux de F. Téreygeol à Melle et de C. Dubois au Goutil-L'Argentario, il faut citer ceux de M.-Ch. Bailly-Maître à Brandes, de F. Pierre au Thillot (Vosges), d'A. Beyrie et d'É. Kammenthaler à Larla (Pays Basque), et de J. Girard à Paloma (Hautes-Pyrénées).

Au Fournel, le site expérimental est situé assez loin sous terre, dans la Salle des machines, choisie pour son accessibilité et les possibilités d'aération. Le transport de matériaux divers, des charges de bois et des outils, est facilité par des accès spacieux, caractéristiques des ouvrages modernes. Un espace de travail confortable autorise le suivi scientifique de la combustion du bûcher et l'enregistrement des données, en éliminant les risques causés par les fumées nocives. Au total, 73 expériences ont été conduites entre 1997 et 1999.

Au départ, deux affleurements ont été sélectionnés pour réaliser les attaques. Un premier feu contenant 62 kg de bois a été mené contre un pilier qui malgré des fissurations offrait une coupe de minéralisation caractéristique. Cette expérience a abattu au total 166 kg de roche n'a pas été renouvelée car le pilier était trop fragilisé. Elle a par contre produit un stock de minerais pour des analyses, notamment géochimiques. Toutes les autres expériences ont été menées dans le site du miroir de faille, contre une paroi de quartzite très dure,

légèrement fissurée par le passage de la faille. Cette roche qui encaisse le filon du Fournel présente une forte variabilité de dureté suivant les secteurs car elle peut devenir très fracturée et pulvérulente dans les zones de faille. De la même manière, le filon qui renferme des proportions variables de barytine présente une variabilité de dureté. Étant donné la rareté des affleurements de filons résiduels, la plupart du temps localisés dans des secteurs exigus, et l'instabilité des piliers conservés dans la mine moderne, il est impossible d'expérimenter la technique sur le filon au Fournel. Le contexte rocheux choisi pour les expériences est donc caractéristique des zones de dureté maximale rencontrées par les mineurs pour percer une galerie en stérile pour l'exhaure ou l'aérage par exemple.

L'objectif était d'amorcer une galerie en travers-bancs d'un gabarit comparable à celui des galeries observées dans les réseaux médiévaux (environ 1 x 1 m). Conformément aux expériences réalisées dans les autres mines, le bûcher adossé a été expérimenté avec des bûches de 50 cm à 1 m de longueur. Toutes les expériences ont fait l'objet de mesures : pesée du bûcher, chronométrage du feu (min.), pesée du bois brûlé, pesée de la roche étonnée, pesée de la roche abattue par le feu et de roche purgée. Les résultats des neuf premières expériences sont très proches de ceux de Melle (tabl. n°27, p. 1148). Le rendement des feux a été amélioré avec la diminution de la quantité de bois utilisée pour la confection du bûcher. Les meilleurs ratios concernent les bûchers contenant 30 à 36 kg de bois. Ainsi, une amorce de galerie profonde de 35 cm, haute de 1,10 m et large de 80 cm, a été entaillée et ceci en une journée et demi de travail continu de façon à ne pas laisser refroidir la roche. Le front de taille était nettoyé et purgé dès que la température devenait supportable. Il est donc possible de travailler en continu dans un espace souterrain bien aéré.

N°	Bûcher (kg)	Durée	Bois brûlé (kg)	Étonnement (kg)	Purge (kg)	Total (kg)	Rendement
1	84	50	84	27	33	60	0,7
2	60	110	54	23	22	45	1
3	65	180	65	30	16	46	0,7
4	49	115	48	14	27	41	0,9
5	51	210	50	13	39	52	1
6	36	125	33	5	52	57	1,7
7	35	175	33	11	38	49	1,5
8	30	115	24	9	27	36	1,5
9	31	?	29	9	14	23	0,8

Tabl. n°27 : Bilan synthétique des expérimentations du Fournel réalisés en 1997 d'après Ancel 1997c.

Tabl. n°27bis : Résultats des expériences menées en 1998-1999 dans les mines du Fournel (communication B. Ancel, données inédites).

N°	Bois	Durée	**bois brulé**	roche étonnée	roche purgée	**roche abattue**	ratio
1	84	0h50	**84**	27	33	**60**	0,71
2	60	1h50	**54**	23	22	**45**	0,83
3	65	3h00	**65**	30	16	**46**	0,71
4	49	1h55	**48**	14	27	**41**	0,85
5	51	3h30	**50**	13	39	**52**	1,04
6	36	2h05	**33**	5	52	**57**	1,73
7	35	2h55	**33**	11	38	**49**	1,48
8	30	1h55	**24**	9	27	**36**	1,50
9	31	?	**29**	9	14	**23**	0,79
10	20	2h00	**18**	2,5	6,5	**9**	0,50
11	30	1h55	**28**	9	22	**31**	1,11
12	30	2h05	**28**	6	14	**20**	0,71
13	30	2h05	**25**	8	14	**22**	0,88
14	25	1h20	**22**	7	20	**27**	1,23
15	25	1h35	**24**	7	15	**22**	0,92
16	25	1h15	**23**	7	12	**19**	0,83
17	25	1h00	**23**	5	16	**21**	0,91
18	25	1h10	**24**	6	15	**21**	0,88
19	23	1h15	**22**	3	16	**19**	0,86
20	23	0h55	**22**	6	13	**19**	0,86
21	23	1h20	**22**	7	9	**16**	0,73
22	23	1h20	**22**	8	11	**19**	0,86
23	28	1h40	**27**	11	17	**28**	1,04
24	23	1h25	**22**	10	15	**25**	1,14
25	33	1h25	**31**	13	15	**28**	0,90
26	33	?	**32**	8	21	**29**	0,91
27	24	1h40	**22**	8	11	**19**	0,86
28	25	2h00	**24**	10	7	**17**	0,71
29	29	1h40	**28**	8	9	**17**	0,61
30	30	1h30	**28**	6	8	**14**	0,50
31	20	1h38	**19**	7	5	**12**	0,63
32	20	?	**20**	14	10	**24**	1,23

N°	Bois	Durée	**bois brulé**	roche étonnée	roche purgée	**roche abattue**	ratio
33	20	1h28	**20**	8	8	**16**	0,82
34	20	1h36	**19**	10	8	**18**	0,95
35	26	1h07	**26**	13	11	**24**	0,94
36	25	1h05	**24**	15	9	**24**	1,00
37	25	?	**25**	17	8	**25**	1,00
38	25	1h25	**24**	10	7	**17**	0,72
39	25	1h10	**24**	10	8	**18**	0,75
40	26	1h25	**26**	15	10	**25**	0,98
41	25	1h15	**25**	10	8	**18**	0,73
42	23	1h13	**22**	8	8	**16**	0,73
43	18	1h02	**17**	10	8	**18**	1,09
44	17	?	**17**	17	4	**21**	1,27
45	25	1h01	**25**	12	8	**20**	0,80
46	17	0h55	**17**	8	5	**13**	0,79
47	10	0h34	**9**	0,5	2,5	**3**	0,33
48	20	1h27	**20**	3	7	**10**	0,51
49	22	1h05	**22**	9	25	**34**	1,55
50	23	?	**23**	7	10	**17**	0,74
51	25	1h10	**25**	8	7	**15**	0,60
52	25	1h04	**25**	11	11	**22**	0,88
53	25	1h11	**23**	18	9	**27**	1,17
54	15	1h01	**14**	6	6	**12**	0,86
55	20	1h17	**20**	11	6	**17**	0,85
56	20	1h05	**18**	12	6	**18**	1,03
57	25	?	**25**	10	11	**21**	0,86
58	25	1h36	**24**	10	6	**16**	0,68
59	26	1h32	**25**	19	10	**29**	1,18
60	28	?	**28**	18	16	**34**	1,21
61	25	?	**24**	4	5	**9**	0,38
62	29	?	**28**	6	3	**9**	0,32
63	30	?	**30**	7	5	**12**	0,40
64	30	?	**29**	4	6	**10**	0,34
Total			**1692**	644	831	**1475**	0,87

De la même manière, la seconde série de feux menée en 1998 (26 feux) a été conduite en continu pendant 40 heures. Les expérimentations de 1999 (38 feux) se sont déroulées sur 6 jours, avec 4 à 6 feux en continu par jour (Ancel 2000b). Elles confirment en partie les résultats précédents : les petits bûchers donnent des résultats satisfaisants. Or, les meilleurs rendements (supérieurs à 1) ont été obtenus avec des bûchers de 17 à 51 kg, c'est-à-dire avec un poids variant du simple au triple. Il est donc évident que seule la quantité de bois brûlés n'est pas à l'origine de l'amélioration du ratio (tabl. n°27bis, p. 1149). Ce dernier diminue progressivement lors de la dernière série d'expériences et devient très bas (entre 0,32 et 0,40) pour les quatre derniers. Une des explications apportées à ces résultats médiocres est le stockage du bois destiné à la chauffe en souterrain dans une atmosphère saturée en humidité. Or, rien ne valide cette hypothèse car l'hygrométrie des bois n'a jamais été mesurée. En dépit de quelques bons résultats, il faut également constater que la diminution constante du ratio semble proportionnelle à la diminution du gabarit de l'amorce de galerie creusée. Dès lors, l'état du combustible est-il le seul à incriminer ? Ou bien, faut-il travailler à élargir la galerie pour retrouver un ratio correct ? Enfin, l'enfoncement et/ou le travail en continu sont-ils la cause de la diminution de l'efficacité des feux ?

Comme à Melle, les premières expérimentations du Fournel confirment la différence d'aspect entre les matériaux abattus par le feu (étonnement) et les matériaux abattus au moyen de l'outil (purge). Les résidus obtenus par étonnement se caractérisent par des plaquettes ou écailles de roche assez fragiles. Un grand nombre de ces résidus sont noircis par le feu et sont mélangés à des charbons de bois et des cendres en proportions remarquables. Les matériaux provenant de la purge se caractérisent par des graviers aux arêtes marquées. L'absence de plaquette de roche noircie, de cendre et de charbon de bois donne à ces résidus un aspect très clair (couleur crème). L'étude des remblais miniers conjointement à ces observations suggère que ces deux types de matériaux étaient systématiquement séparés (le foyer d'abattage était nettoyé avant d'opérer la purge) car les charbons de bois se trouvent uniquement dans les résidus salis issus de l'abattage par le feu. De plus, il convient de se demander si les différences morphologiques et des spectres granulométrique de ces deux types de résidus présentent des avantages ou des inconvénients pour leur traitement minéralurgique.

Les nouvelles motivations

À partir de 2002, la constitution d'une équipe pluridisciplinaire pour l'étude des remblais miniers a motivé la poursuite des expérimentations de manière sérielle. Les axes de recherches se sont articulés autour de cinq fils directeurs : l'étude des modalités de gestion du combustible et de confection du bûcher, de la dynamique du feu et des réactions de la roche, des résidus de l'abattage par le feu (roche et charbons de bois) et de l'évolution du front de taille en fonction des différents types de feux expérimentés. Avec l'amélioration du protocole expérimental et des méthodes d'enregistrement des données, nous avons voulu évaluer les potentialités de cette technique dans des conditions optimales (dureté extrême de la roche, aérage performant), tester des hypothèses, les valider ou les réfuter, et obtenir un rapport idéal entre les résultats obtenus et les moyens mis en œuvre pour leur obtention. De plus, il fallait comparer les données expérimentales (matériaux abattus, morphologie de la cavité) avec les données archéologiques afin de mieux saisir leur sens et d'améliorer l'interprétation des résultats sédimentologiques et anthracologiques obtenus dans les travaux médiévaux (discrimination de l'origine des résidus et des étapes de leur transformation). Comme toutes autres démarches expérimentales, cette approche comporte des limites liées à l'impossibilité de se replacer dans des conditions de travail et environnementales similaires au Moyen Âge, à notre culture et nos préjugés, parfois profondément ancrés, nous empêchant d'envisager des situations ou des manières de travailler qui ont pu être banales au Moyen Âge. Pour cette raison, la mise en place et le suivi d'un protocole rigoureux, accompagné d'un retour systématique aux données archéologiques, se sont imposés.

Le combustible et le bûcher sont au cœur de nos préoccupations. Nous souhaitions maîtriser les facteurs qui ont le plus d'incidence sur la dynamique d'un feu : la quantité de bois utilisée, le calibre des bûches (longueur et section), leur taux d'humidité et leur état phénologique, l'essence, la morphologie du bûcher et sa mise en œuvre. En effet, l'aménagement de la sole et du foyer et l'orientation des bois conditionnent la circulation de l'air et l'inflammabilité. De plus, nous souhaitions faire un suivi scientifique de la combustion du bûcher afin de pouvoir observer et décrire la dynamique et le comportement du bois au feu (inflammabilité, hauteur des flammes, durée de combustion, températures atteintes, etc.).

L'étonnement de la roche est un fait à étudier à part entière, en connexion avec les différents aspects du bûcher. Dans un contexte de quartzites, à partir de quel moment et à

quelle température la roche étonne? Est-ce qu'il existe des variations du phénomène avec différents types de bûchers ? À quel moment sont projetées les premières esquilles de roche et quand le phénomène atteint son paroxysme ? Comment réagit la roche au niveau des zones de fragilité ? À côté de l'observation de ces phénomènes, il est pertinent de caractériser les conditions de travail comme la température ambiante, les variations du taux d'hygrométrie, l'évolution de l'aération et cela pendant les différentes phases de l'expérience.

Enfin, l'originalité de cette approche est l'étude approfondie des produits de l'abattage. Ils sont les vestiges d'une action passée, au même titre que les vestiges archéologiques. En relation avec nos problématiques, nous avons accordé une place toute particulière aux charbons de bois qui portent les stigmates de l'action du feu. Il convient en effet de recouper les données anthracologiques archéologiques avec les données anthracologiques expérimentales. Premièrement, concernant les stratégies d'acquisition du bois, nous souhaitions valider ou invalider nos hypothèses, voire d'en proposer de nouvelles. L'analyse des charbons de bois archéologiques nous a conduit à observer des modifications de la structure anatomique pour certains d'entre eux. L'hypothèse conjointement admise est d'attribuer ces déformations à l'état du bois avant combustion. Mais, il n'est pas exclu que les conditions de travail en souterrain et les températures atteintes puissent générer des déformations, intimement liées au type et à l'état de bois utilisé et à la combustion. Deuxièmement, il était impératif de définir les propriétés combustibles des principales essences utilisées par les mineurs au Moyen Âge et l'ensemble des paramètres qui interfèrent avec elles. En prenant en compte les principaux facteurs qui entrent en jeu lors de la combustion d'un feu, l'expérimentation doit préciser l'adaptation des essences aux fonctions des foyers d'abattage et permettre de discuter sur les motivations de leur utilisation, intimement liées, nous l'avons démontré plus haut, aux disponibilités environnementales. De même, comment est-il possible de gérer aux mieux les propriétés des essences, par ailleurs bien connues, en fonction des objectifs d'abattage désirés. Troisièmement, entre les bois mis au feu et les résidus stratifiés dans les remblais ou inclus dans les sols, se déroulent une série de faits, anthropiques ou taphonomiques, pas toujours bien perceptibles par la seule étude des remblais archéologiques. Pour mieux cerner l'ampleur de ces phénomènes et leur impact sur la morphologie et la composition des dépôts, il est utile d'analyser les résidus typiques d'un foyer d'abattage *in situ*. En termes quantitatifs, quels sont la quantité et le poids des charbons totalement carbonisés, à demi carbonisés, torréfiés ? La totalité du bois a-t-elle été brûlée pour l'expérience ? Les résidus sont-ils peu ou très fragmentés ? Quelles sont les différentes

fractions résiduelles ? Ces dernières questions ne peuvent s'envisager sans un regard croisé sur les données granulométriques et sédimentologiques. L'objectif de ces analyses est de caractériser précisément les résidus obtenus au moyen de l'abattage par le feu et d'évaluer l'influence des différentes méthodes d'abattage (différents feux) sur leur modification de morphologie et leur composition.

Entre 2005 et 2007, l'approche expérimentale a été intégrée au programme de l'A.C.I. « Savoir-brûler, savoir gérer le combustible chez les potiers et les mineurs médiévaux méridionaux (XIe-XVe siècles) » portée par A. Durand. Elle avait pour objectif de mettre en évidence et de restituer les formes du savoir-faire du feu et les chaînes opératoires techniques associées, du combustible et du minerai, au sein de deux groupes sociaux particuliers, les potiers et les mineurs. Le programme a financé une partie des datations radiocarbones destinées à l'amélioration du phasage chronologique des exploitations du Fournel et de Faravel-Fangeas, et l'achat des sondes thermiques qui ont pu être mise en œuvre durant la dernière campagne d'expérimentations (2006).

III.2. LE PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

III.2.1. Postulats de base

Les expériences se sont déroulées durant la période hivernale lorsque les températures sont plus élevées à l'intérieur qu'à l'extérieur de la mine et que le courant d'air est favorable à l'évacuation des fumées par la galerie d'aérage. Pour augmenter les performances de l'aérage et éviter l'enfumage d'une grande partie des travaux, une porte en bois a été aménagée au bout de la Galerie de Rebaisse. Ainsi, lorsque la porte est close, l'air circule depuis l'entrée de la galerie jusqu'à la galerie d'aérage qui couronne les travaux. Pour des raisons de sécurité, les visites touristiques se déroulant depuis la fin du printemps jusqu'à l'automne, il n'a pas été possible de tester des feux durant cette période.

En se basant sur les travaux de 1997-1999, la cadence d'un abattage par jour a été choisie pour permettre le refroidissement du front de taille entre chaque feu et un meilleur enregistrement des données (ramassage des résidus, purge, tamisage, tri, pesée). L'efficacité d'un feu mené contre un front de taille refroidi était à tester car les fortes variations de température à la surface de la roche peuvent constituer un facteur non négligeable à évaluer. De plus, les rendements des feux menés en continu entre 1997-1999 et des feux conduits depuis 2002 de façon journalière étaient à comparer. L'objectif de creusement initial a été conservé : avancement du front de taille d'une galerie en travers-bancs de petit gabarit dont la hauteur et la largeur n'excèderaient pas 1,5 m. Durant la dernière campagne d'expérimentations, nous avons testé des feux destinés à attaquer plutôt la sole ou plutôt les côtés de la cavité. En partant du postulat qu'il était impossible ou extrêmement périlleux pour les mineurs de surveiller les bûchers pendant leur combustion, nous avons décidé de ne jamais intervenir sur les feux expérimentaux même pour redresser des bûches effondrées, après leur allumage. Par contre, l'allumage du foyer nécessite un court temps de surveillance, voire un rallumage, pour s'assurer la prise du feu dans le bûcher. Les outils choisis pour la purge sont la massette et le marteau. L'objectif étant d'abattre seule la couche de roche fragilisée par le feu et non d'opérer à une véritable attaque manuelle.

III.2.2. Mesures et enregistrement des données

Une fiche d'enregistrement a été créée et améliorée au fur et à mesure des expériences de façon à obtenir un corpus de données récurrentes et statistiquement exploitables. Toutes les données mesurées sont transcrites sur informatique le jour même de l'expérience (tableurs Excel). La fiche se compose de deux parties distinctes : le déroulement de l'expérience au verso et le bilan au recto (*cf.* fig. n°113-114, p. 1159-1160). Une expérience dure en général 24 heures.

Au recto, la fiche comporte un premier tableau destiné au déroulement de l'expérimentation : conditions météo, température ambiante aux différents stades de l'expérience (arrivée, allumage, étonnement, départ), chronométrage de la durée de combustion du bûcher, événements importants aux différents stades (premières projections, crises, ralentissement du feu, tassement du bûcher, etc.). Quatre thermomètres électriques sont placés à différents endroits de l'espace de travail, autour de l'amorce de galerie. T0 est placé en retrait de quelques mètres du front de taille ; T1, à un mètre en retrait du départ de la cavité ; T2, au même niveau que T1, mais sur le côté de la cavité ; T3, à droite de l'entrée de la cavité, à 2 mètres de retrait. Lorsque la température dépasse les 50 °C, les thermomètres s'arrêtent. Généralement seuls T1 et T2 s'arrêtent de fonctionner dès que le feu devient intense. Parfois, l'enregistrement est faussé car les thermomètres sont expulsés par les projections de plaquettes de roche. Cet enregistrement qui présente des limites, caractérise néanmoins le rythme de la combustion et le rayonnement du feu (dégagement d'énergie calorifique qui réchauffe l'atmosphère).

Le second tableau est destiné au combustible préparé pour dresser les bûchers. L'essence du bois est stipulée. Chaque quartier est mesuré (longueur) et pesé (kg). Le bûcher bénéficie d'un encart spécifique pour la description de l'aménagement du foyer (plancher), de l'agencement des bois (adossé, en éventail, etc.), de leur degré d'inclinaison et de leur contact avec la roche sur le front de taille, les côtés et la voûte de la galerie. Le bûcher échafaudé est photographié avant son allumage.

Enfin, le bas de la fiche est consacré à la description de l'allumage du feu, de l'embrasement, des flammes (hauteur et longueur, couleurs) et du travail du bûcher (intensité des étonnements). Un encart est réservé aux conditions d'aérage, jugée excellentes lorsque les fumées sont immédiatement évacuées vers le haut de la salle et ne perturbent pas le suivi de

l'expérience. Cette transcription-papier est renforcée par des prises de vues photographiques toutes les cinq minutes (le pied de l'appareil est toujours fixé au même endroit). Quelques expériences ont été filmées.

La seconde partie de l'expérimentation correspond au traitement des résidus de l'abattage. Le verso de la fiche se compose de trois tableaux réservés respectivement aux charbons de bois, à la roche tombée par étonnement et aux résidus de la purge manuelle.

Un premier encart est consacré au combustible non brûlé (pesée), à demi carbonisé (pesée) et torréfié (pesée). En partant du postulat que les mineurs géraient au mieux l'énergie, ce combustible résiduel est remployé dans les feux suivants. Toujours dans cette optique, les charbons de bois issus de la combustion incomplète des grosses bûches font l'objet d'un premier ramassage grossier correspondant à la fraction supérieure à un centimètre et plus. Ces charbons conservés au sec sont potentiellement recyclables pour des activités domestiques ou artisanales. Un second ramassage consiste à récolter le maximum de charbons résiduels pour réduire le travail du tri et la fragmentation *post* combustion. Enfin, les derniers charbons font l'objet d'un tri manuel lors du tamisage simplifié des résidus de roche (abattage par le feu et purge). Les fractions inférieures à 4 mm sont exclues de la pesée totale des charbons de bois résiduels et sont comptabilisées avec les sables et les poussières. Grâce au tamisage, nous avons constaté que ces esquilles millimétriques proviennent de la fragmentation *post* combustion de charbons fragiles dont l'oxydation était déjà bien avancée. Les charbons récoltés pour chaque expérimentation font l'objet d'un échantillonnage pour être soumis à une analyse microscopique.

Fig. n°111 : Séance de tamisage et de tri des produits de l'abattage (cl. B. Ancel).

Fig. n°112 : Relevé de l'avancée frontale du front de taille au laser-mètre (cl. B. Ancel).

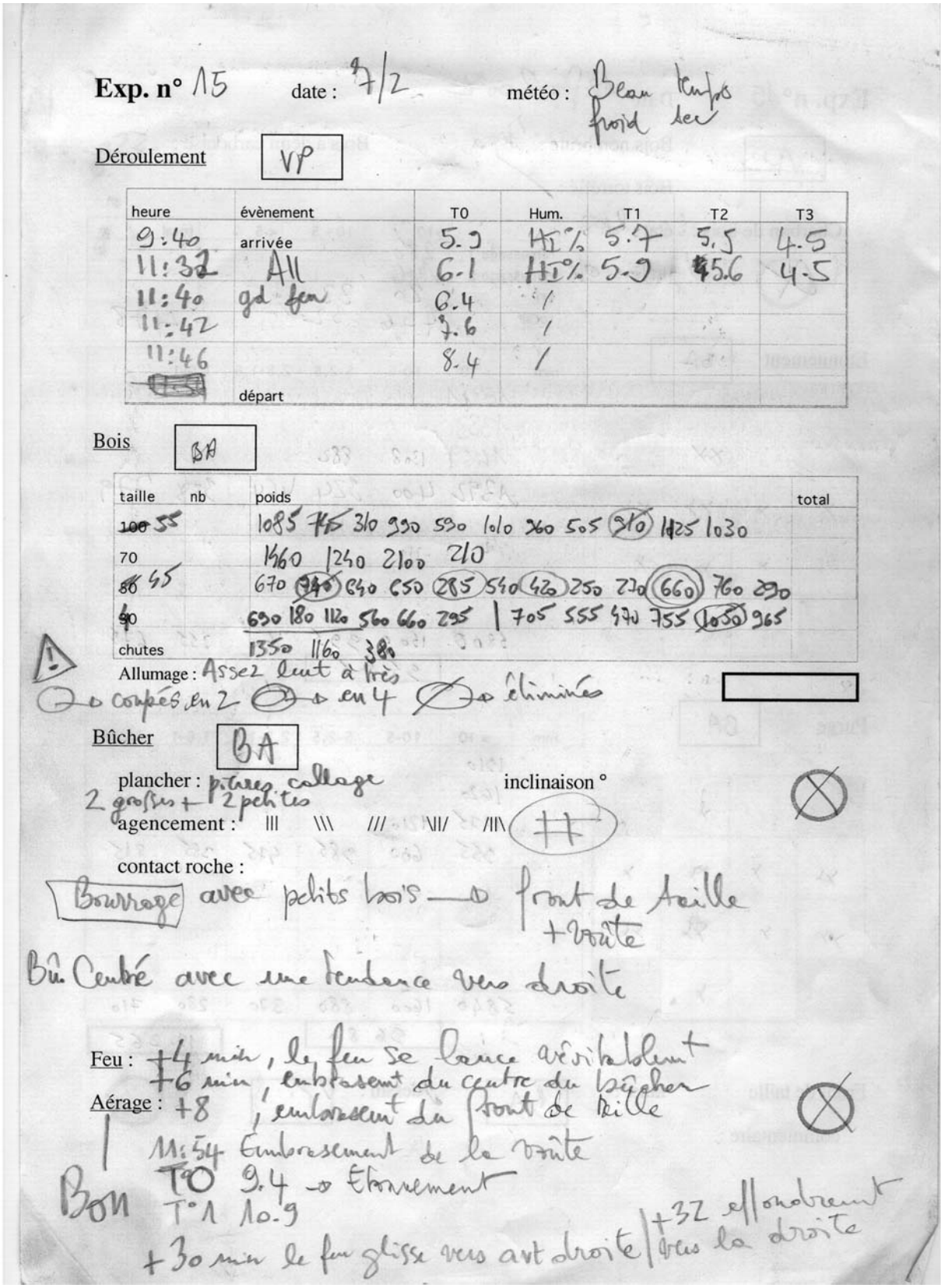
Le deuxième tableau accompagné d'un croquis est consacré à la pesée des différentes mailles de matériaux obtenus par abattage par le feu (étonnement). Les fractions tamisées sont : > 10 mm ; 10-5 mm ; 5-2,5 mm ; 2,5-1,6 mm ; 1,6-1 mm, < 1 mm (*cf.* fig. n°111, p. 1157). Après le nettoyage du foyer et des résidus, l'incidence du feu sur les différents endroits du front de taille est évaluée sur le croquis. Le même protocole est appliqué pour la purge (troisième tableau et croquis). Pour corriger les imperfections de ce tamisage simplifié, Ch. Marconnet a étudié en laboratoire la granulométrie des feux 27 et 28 de la campagne 2001/2002 avec le même protocole élaboré pour les matériaux archéologiques.

L'avancée frontale du front de taille est relevée sous la forme d'un profil longitudinal à l'aide d'un axe vertical gradué et d'un laser mètre. Le front de taille étant mesuré en 2D le long d'un axe vertical médian, sa progression est constatée lorsque le feu a été efficace sur cet axe. Il serait bien plus pertinent de mesurer l'évolution morphologique de la galerie en 3D, mais nous n'avons pas disposé du matériel adéquat. L'évaluation qualitative de l'attaque du front de taille (abattage par le feu et purge) est réalisée grâce au croquis du front de taille divisé en douze portions dans la fiche d'enregistrement (*cf.* fig. n°112, p. 1158).

Au total, 30 expériences ont été menées en 2002, 19 en 2003, 17 en 2004 et 30 en 2006 (tabl. n°28, p. 1158).

Campagnes	Nbre feux	Bois brûlé (kg)	Roche abattue (kg)	Bois m3	Roche m3
1998/1999	64	1692	1475	8	0,5
2002	30	840	500	4	0,16
2003	19	875	475	4	0,16
2004	17	850	650	4	0,25
2006	34	2415	2613	11	1

Tabl. n°28 : Bilan synthétique des différentes campagnes d'expérimentations.



Exp. n° 15 date : 7/2 météo : Beau temps froid sec

Déroulement VP

heure	évènement	T0	Hum.	T1	T2	T3
9:40	arrivée	5.9	HI%	5.7	5.5	4.5
11:32	All	6.1	HI%	5.9	5.6	4.5
11:40	gd feu	6.4	/			
11:42		7.6	/			
11:46		8.4	/			
	départ					

Bois BA

taille	nb	poids	total
~~100~~ 55		1085 ~~745~~ 310 990 590 1010 960 505 ~~910~~ 1125 1030	
70		1460 1240 2100 210	
~~80~~ 45		670 ~~740~~ 640 650 285 540 420 250 270 660 760 290	
~~90~~ 40		690 180 1120 560 660 295 | 705 555 470 755 ~~1050~~ 965	
chutes		1350 1160 380	

Allumage : Assez lent à très

⊖ → coupés en 2 ⊖ → en 4 ⊘ → éliminés

Bûcher BA

plancher : pierres collage inclinaison °

2 grosses + 2 petites

agencement : ||| \\\ /// \||/ /||\ #

contact roche :

Bourrage avec petits bois → front de taille + voûte

Bû. Centré avec une tendance vers droite

Feu : +4 min, le feu se lance véritablement

+6 min, embrasement du centre du bûcher

Aérage : +8, embrasement du front de taille

11:54 Embrasement de la voûte

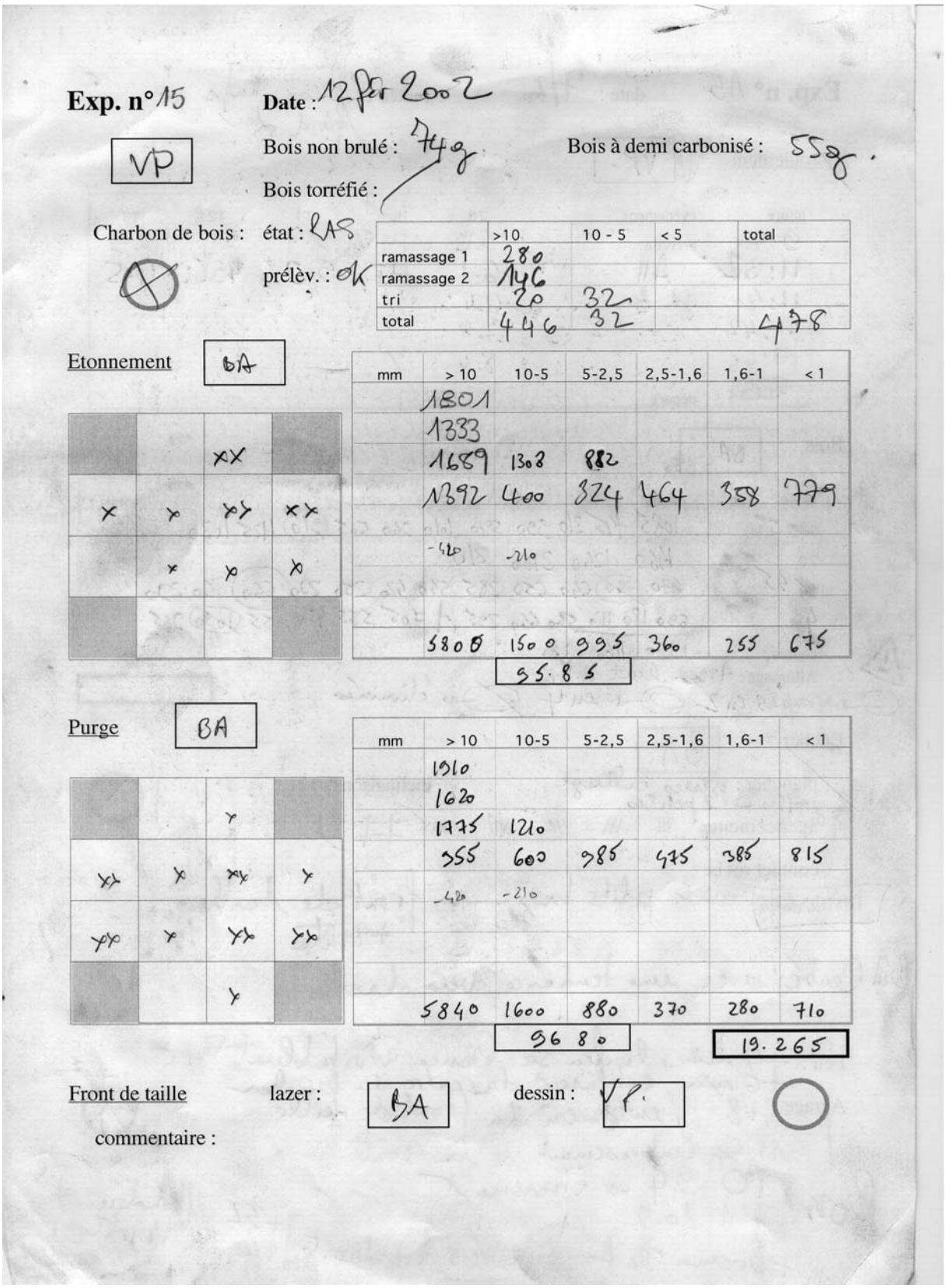
T0 9.4 → Etonnement

T°1 10.9

Bon

+30 min le feu glisse vers avt droite | +32 effondrement vers la droite

Fig. n°113 : Fiche d'enregistrement « recto » - première partie de l'expérience.



Exp. n° 15 **Date :** 12 fév 2002

VP

Bois non brulé : 74g Bois à demi carbonisé : 55g.

Bois torréfié :

Charbon de bois : état : RAS

prélèv. : OK

	>10	10 - 5	< 5	total
ramassage 1	280			
ramassage 2	146			
tri	20	32		
total	446	32		478

Etonnement BA

mm	> 10	10-5	5-2,5	2,5-1,6	1,6-1	< 1
	1801					
	1333					
	1689	1308	882			
	1392	400	324	464	358	779
	-420	-210				
	5808	1500	993	360	255	675
		95.85				

Purge BA

mm	> 10	10-5	5-2,5	2,5-1,6	1,6-1	< 1
	1910					
	1620					
	1775	1210				
	355	600	385	475	385	815
	-420	-210				
	5840	1600	880	370	280	710
		9680			19.265	

Front de taille lazer : BA dessin : VP

commentaire :

Fig. n°114 : Fiche d'enregistrement « verso » - deuxième partie de l'expérience.

III.2.3. Déroulement des expériences

La plateforme expérimentale

Les possibilités de travailler dans la mine médiévale dans des conditions optimales d'enregistrement des données n'étant pas réunies, nous avons décidé de reprendre les travaux sur le site de la salle des machines (salle supérieure) (*cf.* fig. n°115, p. 1161). L'amorce de galerie expérimentale était déjà avancée entre 1997 et 1999 sur un peu moins d'un mètre de profondeur et un mètre de hauteur. La hauteur de la salle (4 m) facilite la circulation des fumées vers le plafond lorsque l'aérage est bon. L'air demeure la plupart du temps respirable, même lorsque le tirage est faible.

Fig. n°115 : Plateforme expérimentale (cl. B. Ancel).

Il est évident que ces conditions n'étaient jamais réunies dans la mine médiévale où les chantiers font rarement plus de 1,50 m de hauteur. La plateforme expérimentale a été aménagée de façon à accueillir un espace de tri (tamisage et pesées) et de stockage des déblais, un espace de préparation du combustible, et un espace pour accueillir l'aire d'observation et le matériel d'enregistrement. Des lampes électriques ont été installées pour améliorer la qualité des observations ainsi qu'un plancher pour l'accueil du public (scientifiques, étudiants, élus, etc.). Le circuit conduisant à la plateforme expérimentale a été sécurisé avec la pose d'échelles et de cordages, entre la salle inférieure et la salle supérieure, pour faciliter l'amenée des charges de bois transportés à l'aide de sacs de spéléologie.

Choix et préparation du combustible

Chaque expérience débute par l'approvisionnement et le choix du combustible. Pour les premières expériences (1 à 15), nous avons utilisé du bois de stère sec acheté à un marchand de bois (épicéa). Par la suite, au vu des résultats anthracologiques, nous avons décidé de poursuivre les expériences avec du bois de mélèze et de pin sylvestre local (*cf.* tabl. n°29, p. 1163). La crue du Fournel de 2002 nous a fourni ce combustible. Des pins et des mélèzes situés aux abords des berges avaient été dépouillés d'une partie de leur écorce par les eaux de crue. Les agents de l'Office National des Forêts nous ont autorisé la coupe et le débardage de ces arbres qui séchaient sur pied. Les grumes ont été débitées en tronçons d'un mètre puis en gros quartiers sur le site de la mine durant l'été 2003. Ils ont été stockés en tas de bois de chauffe sous un auvent installé sur une dalle en béton, exposé au sud. Les bois utilisés pour les campagnes d'expérimentations 2003/2006 proviennent de ce stock (*cf.* fig. n°116, p. 1163).

Fig. n°116 : Aire de stockage du combustible expérimental (cl. B. Ancel).

Essences	Épicéa	Pin	Mélèze	Pin-Mélèze	Pin-Mélèze-Épicéa	Feuillus (Tremble)
Expériences	1 à 15	20	21	16 à 19	29	83
		22	23	30		116
		24	25	31-32		
		26	27	50		
		28	33 à 49	128 à 130		
		64	51 à 63	132		
		78 à 81	65 à 77			
		84 à 91	92 à 98			
		99	100			
		101	102			
		103 à 106	107			
		108 à 114	115			
		117	118			
		120	121			
		122	123			
		124	125 à 127			
		138-139	131			
			133 à 137			

Tabl. n°29 : Essences de bois et expériences. Par exemple, pour les expériences 1 à 15, nous avons utilisé de l'épicéa, et pour l'expérience 20, du pin.

Avant chaque campagne d'expérimentations, nous avons évalué l'hygrométrie des bois. Un bois est commercialement sec avec un taux d'humidité compris entre 22-23 et 18 %. Séché à l'air libre pendant deux ans, il conserve une teneur en eau qui s'établit entre 15 et 20 %. Les quartiers utilisés en 2004 ont atteint cette fourchette avec des taux compris entre 15 et 18 % d'humidité. En effet, les arbres ont séché sur pied pendant un an, puis sous un abri exposé au sud pendant une autre année sous la forme de quartier d'environ d'un peu moins d'un mètre de longueur. Comme le bois est généralement gelé au moment des expériences menées au plus fort de l'hiver, leur taux d'humidité exact n'a pas pu être mesuré avant chaque expérience avec un appareil électrique. Il ne peut pas fonctionner avec une température ambiante située autour ou sous 0°C. Pour tenter de corriger nos évaluations, une expérience a été réalisée en 2006. Les bois sélectionnés pour le bûcher ont été stockés pendant la matinée dans une pièce fermée et chauffée avec un fourneau à bois de façon à pouvoir prendre des mesures hygrométriques avec l'appareil électrique. Les taux mesurés sont très homogènes. Ils sont compris entre 13 et 15 % d'humidité. Les bois sont donc bien secs, notamment le pin qui est en moyenne plus sec que le mélèze en raison de sa plus faible densité. Il est probable que le climat sec et ensoleillé haut-alpin, même en hiver, favorise un parfait séchage des bois et un maintien d'un faible taux d'humidité. Compte tenu de l'humidité ambiante de la mine (99 %), nous avons opté pour une introduction des bois de chauffe sous terre au dernier moment (après nettoyage du précédent front de taille, le tri et le tamisage des matériaux, les pesées et le relevé du front de taille).

Le transport des bûches se fait dans des sacs en prenant un minimum de précaution pour ne pas les salir ou les mouiller inutilement. Le frottement des bois sur la neige, présente sur le site en hiver, peut humidifier la surface des bois et nuire à la rapidité de l'allumage. Sur place, les quartiers et plus rarement les bûches sont plus ou moins refendues, selon les objectifs de l'expérience. Les quartiers mesurent en moyenne 70 à 90 cm de longueur pour toutes les expériences. Ils présentent une largeur maximale comprise entre 5 à 15 cm. Suivant les expériences et le type de bûcher à échafauder une dizaine à une trentaine de quartiers sont refendus, rarement plus, et jamais moins (*cf.* fig. n°117-118-119, pp. 1165-1166).

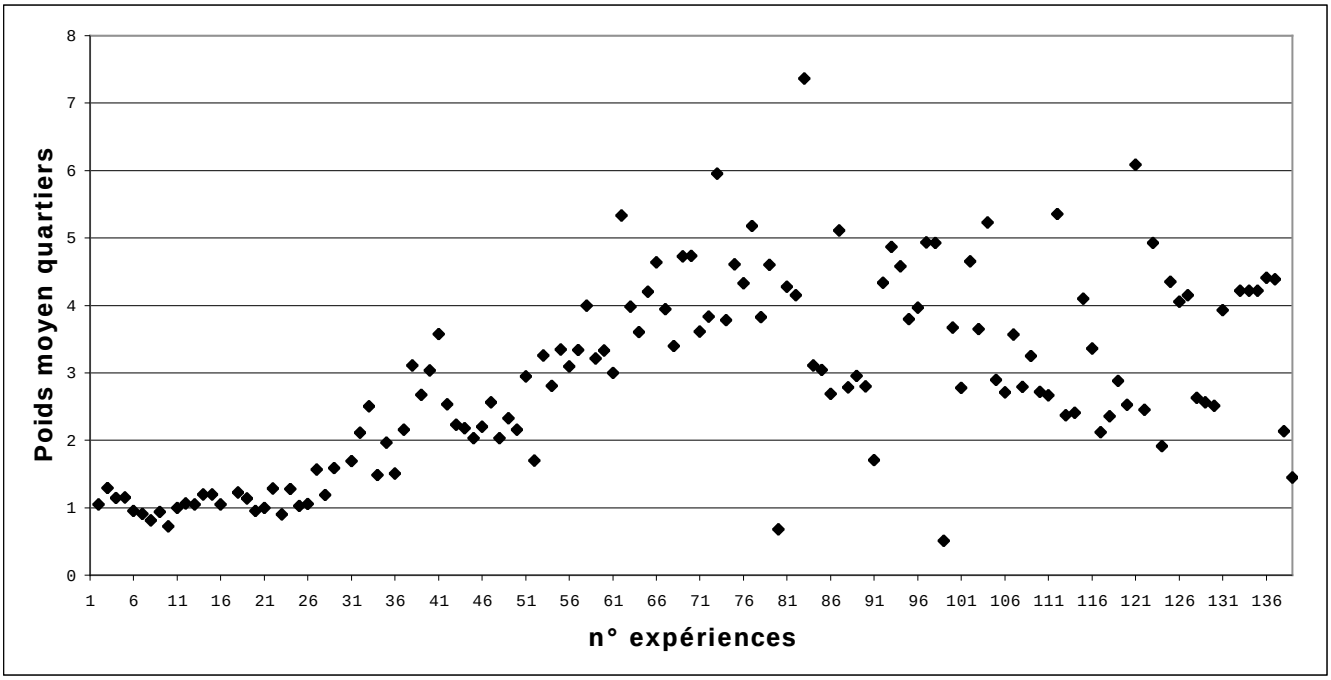


Fig. n°117 : Poids moyen des quartiers en kg pour les expériences 1 à 139.

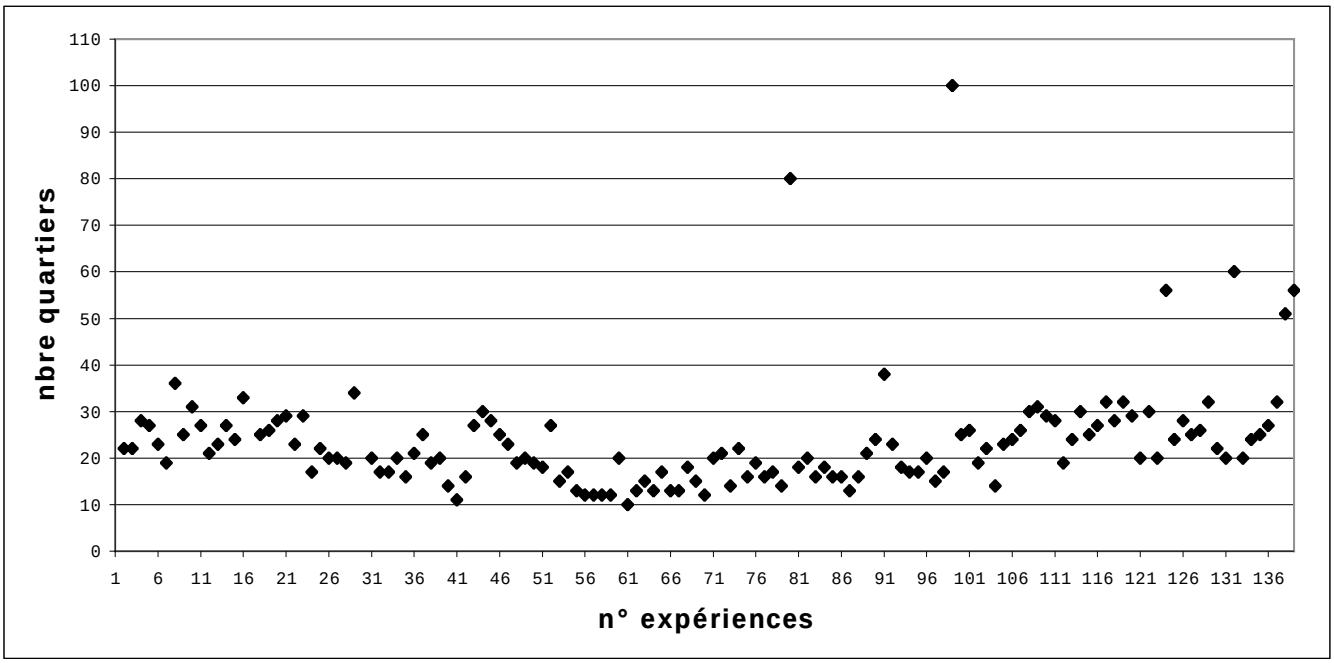


Fig. n°118 : Nombre de quartiers utilisés pour les expériences 1 à 139.

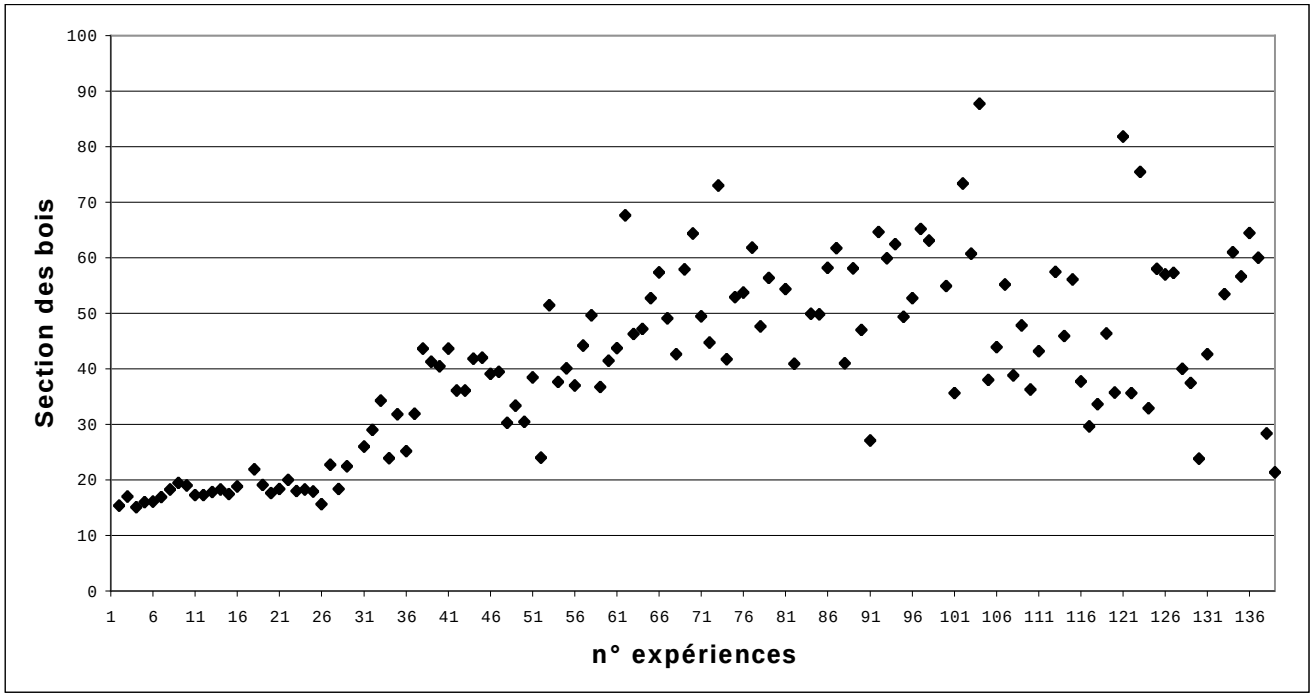


Fig. n°119 : Section moyenne des quartiers pour les expérimentations 1 à 139.

Le poids moyen des quartiers brûlés pour les expériences 1 à 139 a été maintenu autour de 1 kg pour les expériences 1 à 30. Puis, entre 1 et 3 kg pour les expériences 31 à 50, et entre 2 et 5 kg pour les autres expériences. Le poids moyen des quartiers a donc augmenté au fur et à mesure des expériences. À partir de l'expérience 55, le poids des plus petits quartiers est compris entre 2 et 3 kg, et celui des plus gros, entre 3 et 5 kg. L'objectif étant de mesurer l'impact du paramètre calibre des poids sur les rendements des feux.

Un ratio entre la longueur des quartiers et leur poids reflète leur gabarit. Ces ratios ne sont comparables qu'à essence égale et taux d'humidité égal (variation de la densité des bois). Ce ratio ne distingue pas la forme de la section des quartiers. Le nuage de points obtenu avec ces données est très comparable avec celui du poids des quartiers. La section des bois augmente à partir de la trentième expérience et devient plus variable (*cf.* fig. n°119, p. 1166).

Les chutes de la refente sont récupérées pour le foyer et le fourrage du bûcher. Ce petit-bois est amené à brûler et à disparaître en quelques minutes. Il ne joue pas un rôle primordial dans l'attaque de la roche à proprement parler, mais il est déterminant pour l'embrasement rapide et homogène du bûcher. La pratique des feux a montré qu'il était nécessaire d'en préparer au moins 2 à 3 kg. Évidemment, des branchages peuvent suppléer au petit-bois de refend. Pour l'allumage du foyer, nous avons remplacé les feuillages et les aiguilles secs ou les copeaux de bois par du papier-journal et les lattes fines de cagettes de pin. Ce choix n'est

pas très authentique, mais il a permis de constater de manière évidente que des restes de ce bois d'allumage se retrouvent dans le foyer résiduel en fin d'expérience. Par commodité, nous avons remplacé le briquet médiéval (silex et amadou) par le briquet contemporain. Les mineurs pouvaient aussi allumer les foyers avec leur *Kienspäne* ou leurs torches en bois.

Mise en place des sondes thermiques

Grâce au concours financier de l'A.C.I., nous avons pu investir dans l'achat de sondes thermiques : 6 sondes thermiques (thermocouples K avec câbles de Téflon tressé) souples reliées à un enregistreur portable. Les expériences 67 à 100 ont bénéficié d'un enregistrement des températures (*cf.* tabl. n°30, p. 1169).

Avant d'avoir ou recourir à ce matériel, les expériences ont démontré que le front de taille évoluait durant la combustion du bûcher à cause de l'étonnement de la roche. Des plaquettes d'épaisseur millimétrique à centimétrique peuvent se décrocher. Les matériaux les moins lourds sont projetés et les plus lourds s'effondrent dans le bûcher. Contrairement aux expériences menées à Melle, nous avons décidé de placer les sondes uniquement à la surface de la roche. En effet, le perçage de trous pour les insérer est un exercice particulièrement laborieux dans le cadre d'expériences sérielles en roche extrêmement dure, et les sondes peuvent être expulsées de leur logement, et cela même si elles ont été insérées à plusieurs centimètres de profondeur. Par conséquent, lorsque aucun matériel de fixation des sondes n'est mis en place, les enregistrements de températures dans la roche sont faussés de manière significative. À Melle, des clous fichés dans la paroi rocheuse ont assuré leur maintien, au Fournel, nous n'avons pas trouvé de solution satisfaisante.

Les sondes thermiques sont placées contre le front de taille avant la construction du bûcher. Elles suivent une ligne verticale médiane au niveau du repère de prise de mesures pour le relevé du profil longitudinal (*cf.* fig. n°120, p. 1168). L'objectif est de mesurer la variabilité thermique aux différents niveaux du front de taille et à différents moments de l'expérience.

Fig. n°120 : Positionnement des sondes sur le front de taille.

Une première sonde est installée au niveau de la sole (T1), au pied du front de taille. La seconde (T2) est placée une vingtaine de centimètres plus haut, la troisième (T3) une quarantaine de centimètres plus haut, la quatrième (T4), une soixantaine de centimètres plus haut, la cinquième (T5), environ 80 cm plus haut, et la dernière sonde (T6) est placée au sommet du front de taille grâce à la fixation du corps souple à une barre métallique rigide maintenue par une chaîne. Les corps souples des cinq premières sondes sont réunis au niveau de la sole et calés sous un bloc de pierre. Malgré la violence des étonnements, les sondes se maintiennent à peu près dans l'axe vertical médian, mais certaines d'entre elles, après la phase d'étonnement, se retrouvent décollées de quelques millimètres à quelques centimètres du front rocheux. Ainsi, si la sonde est déconnectée du front de taille, la température enregistrée concerne les flammes ou la chaleur ambiante dans la cavité, si la sonde est noyée dans des braises incandescentes (les deux sondes du bas), la température enregistrée concerne le foyer, et si la sonde est protégée par des écailles de roche, la température est artificiellement baissée.

L'enregistreur est programmé de façon à prendre la température au niveau de chaque sonde toutes les 10 secondes. Pour faciliter la lecture graphique, les températures indiquées en fonction du temps sont relevées toutes les minutes. Pour la première expérience (n°67), la durée d'enregistrement a été fixée à 1 heure. Puis, pour les autres expériences, la durée était illimitée, c'est-à-dire jusqu'à ce que la batterie de l'appareil soit totalement vidée (elle dure en moyenne 300 minutes) de façon à évaluer la durée et le rythme de refroidissement de la roche (*cf.* tabl. n°30, p. 1169). L'enregistreur est tombé en panne pour seulement quatre expériences (72, 74, 75, 98).

		Durées et T°C			
n°	Durée enr.	montée	500° sup.	étonn.	500° inf.
67	60 min	4 min	x	18 min	x
68	166	3	62 min	36	50 min
69	166	5	74	35	100
70	120	6	12	18	150
71	830	13	64	40	171
72	panne	x	x	30	x
73	308	4	8	12	160
74	panne	x	x	24	x
75	panne	x	x	30	x
76	273	4	41	14	153
77	328	4	67	38	135
78	332	6	36	22	172
79	336	9	37	27	70
80	332	13	25	17	0
81	300	6	37	28	89
82	305	5	54	36	0
84	310	5	51	42	120
85	303	10	41	20	139
86	333	3	4	0	170
87	317	2	58	47	61
88	333	4	37	24	10
89	249	20	24	25	96
90	300	6	44	31	139
91	300	5	48	27	0
92	333	4	106	62	69
93	288	2	76	38	133
94	315	3	75	38	155
95	333	6	31	11	152
96	291	3	59	29	146
97	333	22	64	20	190
98	panne	x	x	51	x
99	333	4	30	11	0
100	333	18	56	42	256

Tabl. n° 30 : Bilan thermique des expériences avec les durées d'enregistrements, la durée pour arriver à la température de 500 °C et la durée de maintien à cette température dans la moitié supérieure et la moitié inférieure du front de taille.

Construction du bûcher

À partir des données écrites et iconographiques de l'extrême fin de l'époque médiévale et de la période moderne, deux grands types de bûchers et leurs variantes ont été mis en œuvre : des bûchers élevés en tour (lits horizontaux perpendiculaires) et les bûchers adossés contre la paroi du front de taille.

Le bûcher adossé se compose en général d'un plancher, du corps du bûcher et par parfois d'un écran. Le plancher s'appuie sur la base concave du front de taille. Il est constitué de deux traverses recouvertes de petits-bois, et surélève le corps bûcher d'environ 5 cm. De cette manière, il permet une bonne ventilation du bûcher jusqu'à son effondrement. Il doit être assez solide pour supporter l'empilement des bois du corps du bûcher. Les bois sont agencés de manière plus ou moins parallèle, avec plusieurs couches superposées plus ou moins inclinées contre le front de taille (*cf.* fig. n°121, p. 1170). La direction et l'inclinaison des bûches orientent les flammes vers telle ou telle zone du front de taille : le front médian, le front inférieur, le front supérieur, la voûte, les parois gauche ou droite. Le bûcher peut prendre la forme d'un cône : les bois sont disposés en cercle à la verticale ou de façon plus ou moins inclinée pour tenter de concentrer les flammes vers une zone précise du front de taille.

De façon générale, la construction du bûcher adossé ne pose pas de difficulté pour orienter les bois en direction de la paroi gauche ou de la paroi de droite. Les bois peuvent aussi être arrangés en éventail avec l'angle fermé en direction du front de taille. Pour contenir les flammes le plus longtemps possible dans la cavité, et surtout en direction du front de taille, il est apparu judicieux pour la dernière série d'expériences de placer un écran de bois à l'arrière du bûcher. En général, cet écran est réalisé avec des dosses plus ou moins épaisses qui recouvrent le dernier lit de bois le plus souvent de fort calibre.

Fig. n°121 : Variantes du bûcher adossé. La troisième photo en partant de la gauche représente un bûcher adossé couché ou horizontal.

Fig. n°122 : Bûcher tour surélevé avec des blocs.

Le bûcher tour se compose de plusieurs étages de bois empilés en croix jusqu'au plafond de la cavité (*cf.* fig. n°122, p. 1171). Le premier étage qui fait office de plancher peut être surélevé par des blocs de roche. Pour éviter un effondrement du bûcher en cours de combustion vers l'arrière du front de taille, il faut faire incliner la structure en direction du front de taille en décalant légèrement les lits de bois. Avec moins d'aisance que pour le bûcher adossé, il est possible de diriger les flammes vers une zone du front de taille en jouant sur l'espacement des bois. Sans cette précaution, les flammes ont tendance à s'élever de tous les côtés.

En arrangeant une sorte de cheminée au centre de la tour, on peut obtenir un effet chalumeau vers la voûte. Pour ce deuxième type de bûcher, on peut aussi confectionner un écran de fermeture avec des bois de section plate ou des dosses, appuyés contre le bûcher. Cet écran expérimenté lors de la dernière série d'expériences assure un affaissement progressif de la structure vers le front de taille.

Dans les deux cas et leurs variantes, le bûcher doit être confectionné avec soin car son bon embrasement et la dynamique du feu sont étroitement liés à son architecture. Lors de sa confection, il ne faut jamais perdre de vue l'objectif de l'expérience : avancer le percement d'une galerie en travers-bancs. Si l'on charge une grande quantité de bois dans la cavité sans méthode, on prend le risque d'agrandir la cavité sur toute sa longueur, sans guère avancer le front de taille.

L'accolement de plusieurs bûches entraîne une orientation des flammes, voire parfois un effet de chalumeau très efficace pour cibler une attaque. Un bois ou plusieurs bois plaqués contre la paroi font écran et protègent un temps la roche. L'expérience démontre la nécessité de conserver un espace vide de quelques centimètres de largeur entre le bûcher et le front de taille. Il facilite une bonne circulation de l'air et le glissement des plaques de roche vers le foyer. Si les plaques restent bloquer par les bois contre le front de taille, elles protègent la paroi (effet d'écran).

Un empilement compact fait durer le bûcher, et au contraire une disposition aérée le fait flamber très rapidement et il se consume plus vite. Lorsque la structure du bûcher est compacte, il faut veiller à insérer dans les interstices du petit-bois de refend (bourrage du bûcher) pour augmenter la rapidité de l'embrasement dans le corps du bûcher. Sa structure doit être conçue de façon à ce qu'elle résiste le plus longtemps possible à l'affaissement pour assurer la durée de l'efficacité du bûcher suivant les effets souhaités. Un mélange de grosses et de petites bûches allie vigueur du brasier et solidité du bûcher. Comme la cavité ouverte par le feu présente des parois arrondies, il faut s'en accommoder pour échafauder un bûcher stable. Des blocs rocheux de calage, à ne pas comptabiliser dans la pesée des résidus d'abattage, sont utilisés à cet effet.

Type Bûcher	Adossé	Adossé couché	Adossé Écran	Tour	Tour Écran	Adossé/Tour
N° expériences	1 à 7 23 à 33 40 à 42 48 à 52 58 à 64 66 à 69 87-88 92 97-98 109 116 à 118 122 124 à 126 130 132 138-139	34 à 36 53 55 à 57 65 70 à 72 75-76 77 à 80 82 à 86 93-94 96 99 101 108 110-111 120	133 à 135	8 à 22 37 à 39 73-74 81 89-91 100 102 à 107 112-115 119 121 123 131 136-137	43 à 47	54 127 à 129

Tabl. n°31 : Expériences 1 à 139 et types de bûchers mis en œuvre. Par exemple, pour les expériences 1 à 7, nous avons confectionné des bûchers adossés et pour l'expérience 54 un bûcher adossé couché.

Les différents types de bûchers ont été en général expérimenté par série de trois à dix bûchers conçus de la même manière. Le rythme de variabilité des bûchers a été accentué pour la dernière trentaine de bûchers, en interchangeant parfois le type de bûcher d'une expérience à l'autre (*cf.* tabl. n°31, p. 1172). Malgré un souci de reproductibilité par séries, l'architecture du bûcher, liée *pro parte* au calibre des bois utilisés, son embrasement, la morphologie du

front de taille qui avance, ne sont jamais identiques. Ainsi, par principe, chaque expérience est unique et la reproductibilité des feux par séries est donc inévitablement relative.

Suivi scientifique du feu

Dynamique du feu et réactions de la roche

Fig. n°123 : Étonnement avec projections de fines plaquettes de roche et de charbons de bois incandescents.

Si le bois d'allumage a été judicieusement placé et en suffisance, le bûcher s'embrase en quelques minutes (1 à 5 min.). Durant les dix premières minutes, le feu s'intensifie à tel point que les flammes s'allongent le long de la voûte, puis sortent de la cavité et lèchent sur près d'un mètre de hauteur la paroi de la salle.

Le bois craque et produit des pétillements sonores. Les flammes des bûchers de pin sont très vives, claires et lumineuses. Les flammes des bûchers de Mélèze, de couleur jaune orangé, sont plus sombres.

Les fumées, souvent très abondantes, s'échappent de la cavité par la voûte sous forme d'épais roulements. Elles stagnent un temps en nappe au plafond de la salle, puis sont aspirées par l'ouverture supérieure, grâce au courant d'air ascendant qui parcourt la mine en hiver. Lorsque l'aérage est moins bon (mauvaise ouverture de l'entrée de la galerie de la Rebaisse, températures douces à l'extérieur), les fumées peuvent stagner dans la salle, au-dessus du sol, à partir de 1 m à 1,50 m de hauteur. Il est possible de se tenir accroupi, mais rapidement les fumées piquent les yeux et gênent la respiration. L'évacuation de la salle s'impose jusqu'à ce que le courant d'air soit rétabli.

Le feu ronfle ainsi pendant 10 à 15 minutes (20 min. au maximum). À ce moment, les thermomètres placés devant l'entrée de la cavité s'arrêtent. Il est impossible de se tenir à un

mètre de l'entrée de l'amorce de galerie au risque de se brûler le visage. Puis, presque instantanément, les flammes baissent et sortent à peine de la cavité.

C'est souvent à partir de cette décroissance des flammes, qui se maintiennent sous la voûte, que commence la phase d'étonnement. Des esquilles de roche, des lamelles, parfois des lames de 10 cm^2 se décrochent de la paroi du front de taille, accompagnées de claquements secs et bruyants, nettement différents de ceux qui sont produits par les bois pendant la phase de déshydratation. Beaucoup de ces étonnements ont lieu sur la zone du front de taille dissimulée par le bûcher. Les écailles de roche s'entassent sur et autour du bûcher. Elles glissent parfois sous le plancher et forment un écran qui protège la sole. Par contre, les étonnements sont bien visibles à la voûte et présentent un caractère explosif parfois spectaculaire (*cf.* fig. n°123, p. 1173). De fines plaquettes brûlantes sont projetées jusqu'à 5 mètres de distance de l'entrée de la cavité. Les étonnements peuvent parfois se succéder rapidement lors de phases de crise où les projections peuvent tapisser en quelques minutes le devant du foyer. Il peut être dangereux de se trouver dans la trajectoire des projections. Sur les parois latérales de la cavité, on observe des fissurations qui individualisent progressivement des lames de roche épaisses. Les étonnements ne sont pas toujours spectaculaires, cependant une attaque visuellement discrète s'opère derrière et sous le brasier. Lorsque les flammes deviennent courtes, les étonnements s'espacent et sont plus discrets. Ils concernent la moitié inférieure du front de taille et des parois latérales. Les projections à l'extérieur du foyer s'arrêtent.

Après trois quarts d'heure de combustion, le bûcher carbonisé se tasse, les flammes deviennent très courtes. Le bûcher s'affaisse et forme un amas de braises ardentes mélangées aux plaquettes de roche étonnées. Les étonnements cessent totalement. À ce moment, le suivi visuel de l'expérience s'arrête, mais l'enregistrement des températures se poursuit. Les braises couvent sur la sole encore pendant deux à quatre heures.

Nous avons expérimenté un bûcher de bois vert fraîchement abattu (tremble). Le plancher a été chargé de petit-bois sec comme pour les autres bûchers. Son allumage a été extrêmement laborieux. Le petit-bois a fini par brûler, les flammes étaient très courtes, et le corps du bûcher n'a jamais pris feu. Cette expérience a été répétée une deuxième fois, mais toujours sans succès. Ces deux essais confirment la difficulté de conduire un feu de bois vert en milieu souterrain et son incompatibilité avec l'abattage par le feu. Il est par contre possible d'utiliser quelques bois verts dans un bûcher composé majoritairement de bois sec.

Températures de combustion

De façon générale, dès les dix premières minutes après l'allumage, la vigueur du feu fait monter rapidement les températures entre 100° et 300°, voire entre 400°-600°C, suivant l'emplacement des sondes. Puis, lors des dix minutes suivantes, les sondes placées dans la moitié supérieure du front de taille, léchée par les flammes, enregistrent des températures comprises entre 300°C et 400°C, pouvant atteindre 600° à 800°C, au maximum. Durant la première demi-heure, la moitié supérieure du front de taille, grâce à l'action des flammes, est attaquée. Les étonnements les plus spectaculaires, accompagnés de projection de paillettes et de plaquettes de roche, ont lieu à ce moment. Puis, la température baisse progressivement. Après une heure de combustion, la partie supérieure du front de taille refroidit significativement, alors que la partie inférieure peut continuer de monter en température. Suivant le type de bûcher et la dynamique du feu, la roche en contact avec les braises incandescentes peut être portée à près de 1000°C (au maximum). Ce pic de température est atteint durant la seconde heure de combustion, alors que le bûcher est tassé et que le feu semble mourir.

Dans le détail, les enregistrements sériels de températures révèlent un impact significatif de la forme du bûcher (inclinaison et agencement des bois) et du calibre des bois sur l'évolution de la thermie enregistrée sur le front de taille (moitié supérieure et moitié inférieure) durant la combustion des bois. Pour illustrer ce phénomène, qui a lieu avec le même grand type de bûcher (bûcher adossé ou tour), nous avons choisi de décrire la thermie de deux expériences : 85 et 87 (*cf.* fig. n°124, p. 1177 et n°126, p. 1180).

L'expérience 87 a été réalisée avec un bûcher adossé contenant 66 kg de bois de pin sec. Son rendement est élevé : 1,68. Dès les 5 premières minutes écoulées, les températures enregistrées par l'ensemble des sondes atteignent ou sont supérieures à 400 °C (*cf.* fig. n°124, p. 1177). La phase de combustion du bois dite *endothermique, comprenant la déshydratation et la torréfaction, a donc lieu de façon très rapide (quelques minutes) grâce au faible taux d'humidité des bois et à l'efficacité du foyer d'allumage. À 10 minutes, la température enregistrée au niveau de la base de la voûte approche les 600 °C (T6). Les températures des sondes T5 et T4 sont comprises entre 400° et 500°C (moitié supérieure). La température de la sonde située au niveau de la sole atteint 400°C. La température enregistrée par T2 atteint 320°C et la température enregistrée par T3 atteint presque 500 °C. Le bois est entré dans sa

troisième phase de combustion appelée pyrolyse ou carbonisation. De la périphérie vers le cœur, il se transforme progressivement en charbon de bois. Au niveau de l'armature supérieure du bûcher, du bois transformé en braises entre dans la phase de comburation.

Les étonnements démarrent au bout de 5 minutes avec le premier pic de températures. Ils démarrent au cours de la pyrolyse, lorsque la réaction devient exothermique, et quand la température, s'élevant spontanément, atteint plus de 300°C.

Une première phase d'intensification des étonnements a lieu durant l'ascension de la courbe de températures de la sonde T6, au niveau de la naissance de la voûte d'où provient la majeure partie des projections de roche visibles et avec les deuxièmes pics de températures des sondes T2 et T1, correspondant à la partie basse du front de taille. Vers 22 minutes, le second pic d'étonnement correspond aux pics de températures des sondes T3, T4 et T5. À ce moment-là, les flammes sont un peu plus courtes et attaquent la moitié supérieure du front de taille. La sonde T6 atteint son pic de température le plus important, accompagné d'étonnements visibles. Au niveau de la moitié inférieure, les lames qui se décrochent au niveau des parois latérales attestent l'intensité de l'attaque. Le bois soumis à une température supérieure à 500°-700°C va se transformer en cendres.

La courbe des étonnements opère une inclinaison progressive avec les courbes de températures des sondes T1, T2, T3, T5 et T6. Les étonnements sonores et visuels (projections de lamelles) s'arrêtent vers 52 minutes de combustion. Les courbes de températures des sondes T1, T2, T3 et T5 chutent sous la barre des 500 °C. Le bois n'ayant pas été porté à une température supérieure à 500 °C ne se transforme pas en cendres.

Dix minutes plus tard, seule la courbe de la sonde T4 se maintient au-dessus de cette température et cela pendant encore presque une heure. La chaleur se maintient grâce à la combustion de bois de forts calibres (poids moyen des quartiers : 5 kg). Les flammes qui s'élèvent le long des bûches inclinées qui se consument sont courtes et travaillent le centre du front de taille. Au-delà de 200 minutes de combustion, les courbes des sondes T4, T5 et T6, pourtant tombent sous la barre des 100 °C, alors que les températures des sondes de la moitié inférieure se maintiennent au-dessus de 150 °C, et cela jusqu'à 300 minutes de combustion.

Cette expérience peut se diviser en quatre grandes phases. La première, qui a lieu durant les 5 premières minutes, se caractérise par le passage rapide à une réaction exothermique avec intensification brutale de la chaleur. La seconde, qui se déroule entre 5 et 50 minutes, correspond à l'étonnement de roche accompagné de claquements sonores et de projections

visuelles. Durant cette phase, toutes les sondes enregistrent leur pic de températures, à l'exception de la sonde T4. La troisième phase qui a lieu durant la deuxième heure se caractérise par la chute de toutes les courbes de températures à l'exception de celle de la sonde T4 qui se maintient à plus de 500 °C durant plus d'une heure, et cela grâce à l'utilisation de bois de forts calibres. L'abattage se poursuit discrètement dans la zone médiane du front de taille. Le maintien d'un taux d'oxygène suffisant permet à une portion des braises de se transformer en cendres. Les autres résidus se calcinent. La quatrième phase démarre vers 2 h de combustion. Elle se caractérise par la chute de toutes les courbes de températures et notamment de celle de la sonde T4.

Fig. n°124 : Enregistrement thermique de l'expérience 87 : bûcher adossé, 66 kg de bois. En ordonnée, les températures, en abscisse, le temps en minutes. Pour la courbe des étonnements, en abscisse, le temps, en ordonnée, le nombre d'étonnements.

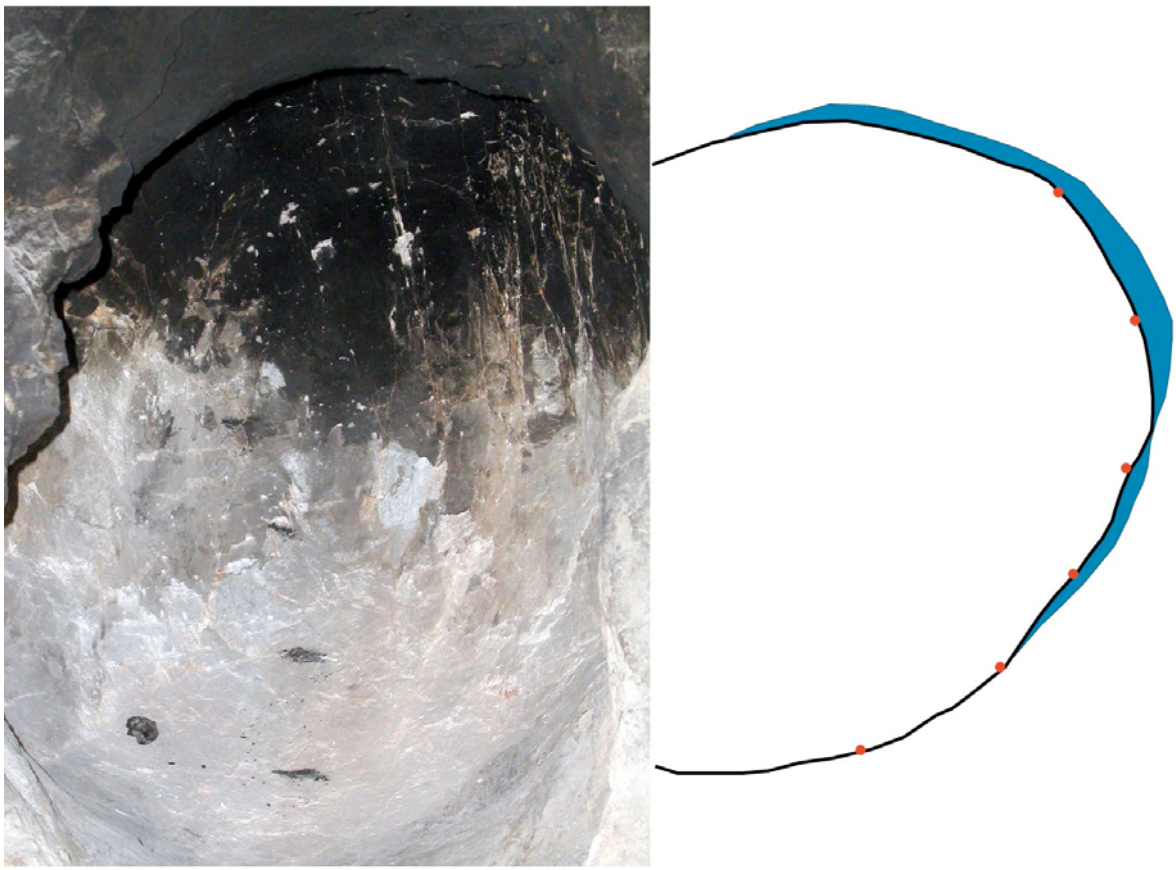


Fig. n°125 : Résultat de l'expérience 87 : vue du front de taille après abattage par le feu, purge, et nettoyage du front de taille, et relevé en coupe du front de taille avec en bleu les zones d'avancement et en rouge l'emplacement des sondes thermiques.

L'expérience 87 a permis d'avancer le creusement de la moitié haute du front de taille et de sa portion médiane sur quelques centimètres (*cf.* fig. n°125, p. 1178). Le relevé en coupe de la paroi après abattage se corrèle parfaitement avec les données thermiques : l'avancement concerne la voûte et la moitié supérieure du front de taille portées à haute température durant la première et la deuxième phase de l'expérience, et il concerne aussi la portion médiane pour laquelle la sonde T4 a enregistré de fortes températures durant la troisième phase de l'expérience.

L'expérience 85 a été réalisée avec un bûcher adossé couché (ou horizontal) contenant 49 kg de bois de pin sec. Son rendement est faible : 0,63. La sonde T5 n'a pas fonctionné. Comme pour l'expérience précédemment décrite, dès les 5 premières minutes écoulées, les températures enregistrées par l'ensemble des sondes atteignent ou sont supérieures à 400 °C (*cf.* fig. n°126, p. 1180). La sonde T1 (sole) enregistre presque 500°C, alors que pour l'expérience 87, la sonde T6 (voûte) enregistre la plus forte température au même moment.

Cette variation est clairement liée à l'agencement horizontal des bûches qui concentre l'effet des flammes dans la moitié inférieure du front de taille et la chaleur au niveau de la sole. À 10 minutes, la température enregistrée au niveau de la voûte atteint les 500 °C. La température de la sonde T4 atteint 490°C (moitié supérieure). La température de la sonde située au niveau de la sole a chuté à 350°C. La température enregistrée par T2 atteint 540°C et la température enregistrée par T3 a chuté à 380°C. Le bilan thermique de cette première phase de l'expérience est différent de celui de l'expérience 87. Les températures sont en moyenne plus basses et les étonnements accompagnés de claquements et de projections n'ont pas commencé. L'agencement des bois ralentit la pyrolyse avec une réduction de l'apport de l'oxygène (bûcher plus compact).

Les étonnements démarrent au bout de 14 minutes. Seules les courbes de températures des sondes T2 et T6 dépassent la barre des 500°C. Les autres sont comprises entre 360° et 490°. La phase d'étonnement dure 22 minutes. Les étonnements sont moins nombreux. On ne note pas de pic ou de « crise ». Les courbes de températures sont comprises entre 330° et 600 °C, à l'exception de la courbe de la sonde T3 qui atteint plus de 800°C. La majeure partie des étonnements visibles ont lieu dans la zone médiane et supérieure du front de taille.

L'arrêt des étonnements est suivi, vers 45 minutes, d'une montée en température spectaculaire des sondes T2 et T3, et vers 60 minutes de la sonde T1. La carbonisation des bois a généré une légère éventration du bûcher accompagnée d'un apport massif d'oxygène accélérant la combustion et permettant la montée des températures dans la moitié inférieure du front de taille. Mais ce phénomène n'a pas d'action visible (étonnement). Vers 95 minutes, la courbe de températures de la sonde T2 frôle les 1000 °C. À ce moment, les températures des sondes T3, T4 et T6 sont en chute libre. Elles sont comprises entre 170° et 200°C. Les courbes des sondes T1 et T2 s'inclinent progressivement vers 2 h de combustion, tandis que les courbes de températures des autres sondes se maintiennent entre 150° et 300°C. Au-delà de 4 h, toutes les courbes sont sous la barre des 300 °C.

Cette expérience peut aussi se diviser en quatre grandes phases, mais différentes de celles de l'expérience 87, à l'exception de la première, qui a lieu durant les 5 premières minutes, et qui se caractérise par le passage rapide à une réaction exothermique avec intensification brutale de la chaleur. La seconde se déroule entre 14 et 36 minutes. Elle correspond à l'étonnement de roche. Durant cette phase, les sondes enregistrent des températures comprises entre 340° et 600°C, à l'exception de la sonde T3, dont la température grimpe à 800°C. La troisième phase, qui a lieu entre 36 et 95 minutes, se caractérise par la

chute des courbes de températures des sondes T3, T4 et T6, et par l'ascension spectaculaire des courbes des sondes T1 et T2. Enfin, la quatrième phase, qui démarre au bout de deux heures, correspond au refroidissement progressif des températures au niveau des sondes T1 et T2, alors que les autres courbes sont déjà sous la barre des 300°C.

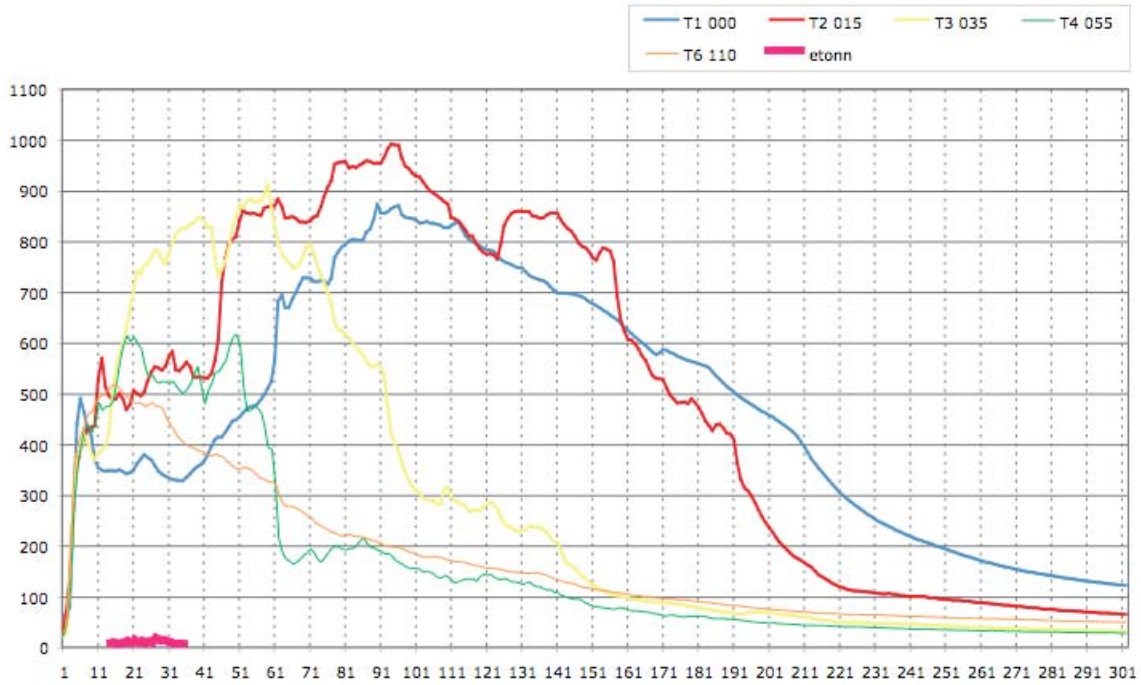


Fig. n° 126 : Enregistrement thermique de l'expérience 85 : bûcher adossé couché, 49 kg de bois. En ordonnée, les températures, en abscisse, le temps en minutes.

Le relevé du front de taille en coupe montre que l'abattage a été performant au niveau de la sole et de la moitié inférieure, là où les températures ont été les plus élevées (*cf.* fig. n°127, p. 1181). Comme pour l'exemple précédent, ces résultats mettent en évidence l'impact des températures élevées (supérieures à 600°-700°C) sur la fragilisation du front de taille. Les étonnements visuels de la première et de la deuxième phase de l'expérience, associés à l'ascension rapide des températures, n'attaquent le front de taille que sur une très faible épaisseur, tandis que les chaleurs importantes obtenues à différentes zones du front de taille suivant l'agencement du bûcher, durant la troisième phase, permettent un travail plus en profondeur.

Fig. n° 127 : Expérience 85 : vue du bûcher 85 en cours de combustion et relevé en coupe du front de taille après abattage, purge et nettoyage du foyer.

L'agencement horizontal des bois pour l'expérience 85 démontre la possibilité d'atteindre de fortes températures au niveau de la sole et de la moitié inférieure du front de taille. Mais la phase d'étonnement à proprement parler a lieu durant la première heure de combustion avec la montée brutale des températures au-dessus de la barre de 300°C, puis avec l'accroissement rapide des températures entre 500° et 800°C selon les expériences. Les courbes thermiques de l'expérience 87 montrent clairement que les étonnements sont liés à la montée des températures au-dessus de la barre des 500°-600°C. De façon moins nette, il en est de même pour l'expérience 85 et pour les sondes concernant la partie inférieure et médiane du front de taille. Mais alors que les températures du foyer augmentent significativement, les étonnements s'arrêtent. En effet, les projections de plaquettes de roche sont directement liées à l'action des flammes et au transfert de chaleur par rayonnement. Lorsque les flammes deviennent courtes et que l'oxygène réagit au contact des braises (comburation) en dégageant une forte chaleur, le travail par le feu opère différemment, de manière plus profonde. La roche fragilisée par une chaleur intense (supérieure à 600°C) et soutenue se craquelle et se décroche sous forme d'épaisses plaques. Il ne s'agit pas d'étonnement à proprement parler, mais d'un travail plus en profondeur et plus sourd. Le transfert de chaleur du brasier à la sole se fait par conduction. Après 5 h de combustion, certaines zones du front de taille, et notamment la sole

qui accueille le lit de braises, sont encore très chaudes (entre 100° et 200°C). Il est donc impossible d'intervenir sur le front de taille. Lorsque les températures sont inférieures à 300°C, retirer le foyer de braises avec une racle permettrait un refroidissement plus rapide du front de taille.

Après le feu

Le foyer

Fig. n°128 : Foyer résiduel d'un abattage par le feu.

Le lendemain de l'expérience, tous les résidus du foyer (*cf.* fig. n°128, p. 1182) sont traités. Parfois, si l'agencement du bûcher n'a pas été optimisé, il reste des fragments de bûches à demi carbonisées, mais leur proportion est toujours faible (un à deux moignons de bûches tout au plus). Le plus souvent, la totalité du bois a brûlé. Glissées le long des parois ou tombées de la voûte, les plaquettes de roches sont mélangées aux cendres et aux charbons de bois. Le foyer est encadré par des amas de plaquettes de roche. Elles sont abondantes au niveau des parois latérales ou de la moitié inférieure du front de taille suivant les expériences. L'arrière du bûcher, depuis l'entrée de la cavité, est tapissé plus ou moins densément de très fines écailles de roche, de surface millimétrique à centimétrique.

En général, de gros charbons de bois centimétriques marquent l'emplacement des dernières bûches consumées et se fragmentent dès qu'on les saisit. Les charbons de bois mesurant plus d'un à deux centimètres sur au moins un de leurs côtés sont moins fragiles, mais leur manipulation pour dégager le front de taille entraîne forcément leur fragmentation. Les résidus carbonisés situés au contact de la sole, le plus souvent couverts de plaquettes de

roche, contiennent du bois d'allumage (cagette) et de l'écorce. Cette constation a été confirmée par leur analyse anthracologique. Leur fréquence dans les résidus carbonisés est *grosso modo* proportionnelle à leur fréquence dans le poids total de combustible mis au feu (1 à 5 %).

Tous les charbons de bois triés aisément à la main sur le front taille représente en moyenne plus de 90 % du poids total des charbons récoltés. La majeure partie des charbons de bois tamisés avec le reste des résidus proviennent de la maille supérieure à 10 mm et de la maille 10-5 mm (4 à 7 %). Les fragments triés dans les autres tamis représentent une infime proportion des résidus carbonisés (moins de 1 %). Leurs cassures fraîches attestent pour la plupart qu'ils proviennent de la fragmentation de plus gros éléments.

Certains charbons de bois sont extrêmement friables et mous (pulvérulents), indiquant que le processus de comburation a été entamé, d'autres sont durs, signalant un apport d'oxygène insuffisant pour permettre leur oxydation dans certaines zones du foyer. Les bois torréfiés sont extrêmement rares. Son nettoyage minutieux met en évidence la grande abondance des charbons résiduels, de l'ordre de 10 à 20 % du volume, sans commune mesure avec ce que l'on observe dans les remblais archéologiques. La quantité de charbons de bois récoltés est assez variable. Elle représente en moyenne 1,5 à 3 % du combustible brûlé, mais la variation de leurs fréquences, intimement liée à l'apport d'oxygène durant la combustion, ne présente pas de lien direct et évident avec l'efficacité du feu (ratio) (fig. n°129, p. 1183).

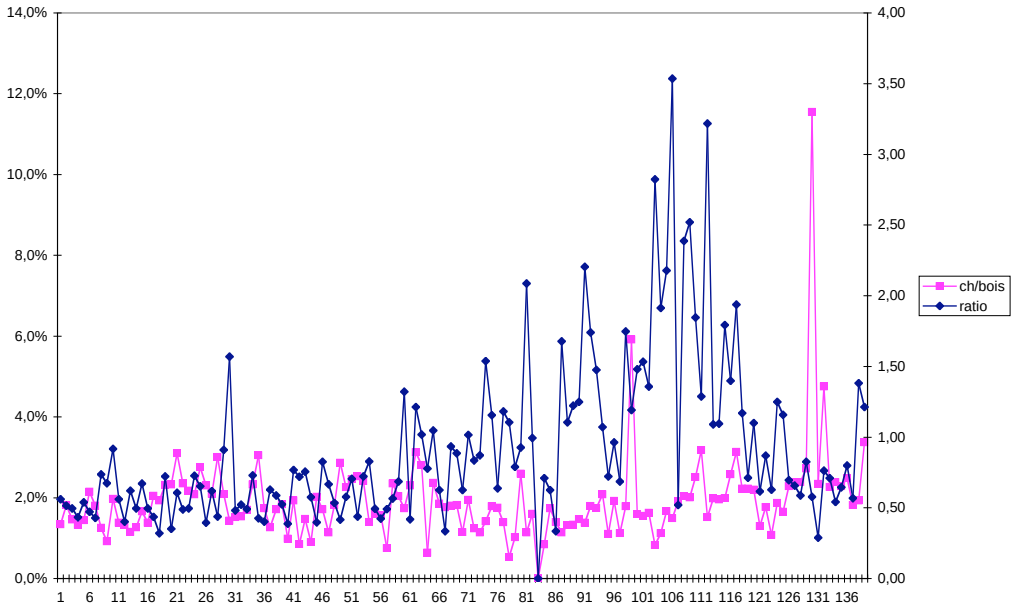


Fig. n°129 : Courbes comparatives du ratio (en bleu) et de la production de charbons de bois (en rose).

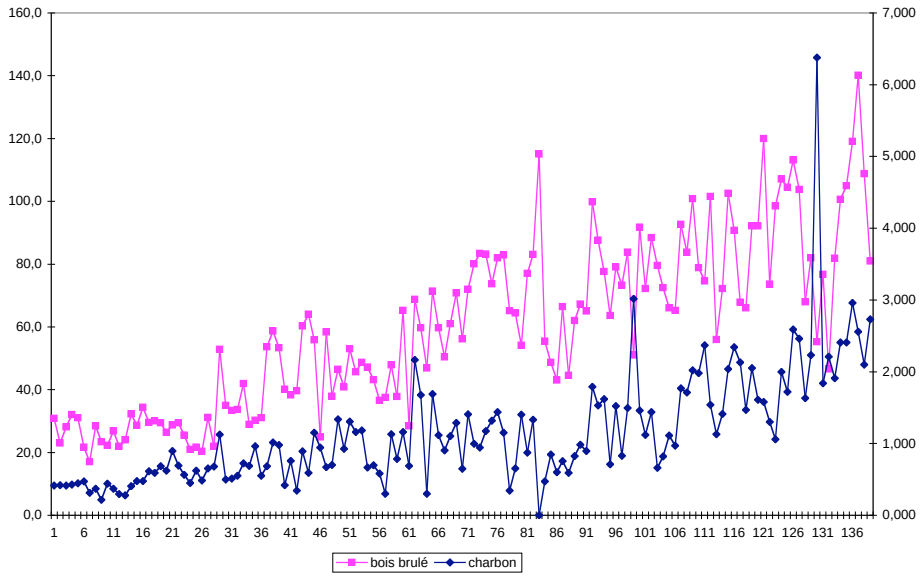


Fig. n°130 : Courbes comparatives du bois brûlé (en rose) et de la production de charbons de bois (en bleu).

Un feu donnant un bon ratio peut aussi avoir produit une importante quantité de charbons de bois et inversement. De la même manière, l'augmentation de la quantité de bois brûlés ne génère pas systématiquement une production plus importante de charbons de bois.

Par contre, les courbes superposées de la quantité de bois brûlés et de la quantité de charbons de bois produits (%) indiquent une augmentation sensible, mais irrégulière, de la production de charbons de bois avec les très gros bûchers (plus de 80 kg) (*cf.* fig. n°130, p. 1184).

L'abattage qui s'est opéré plus discrètement dans la partie inférieure de la cavité, cachée auparavant par le bûcher, est visible après le dégagement du foyer. Sur la sole, des lames très épaisses se détachent en produisant de la poussière. Les produits de l'étonnement se composent essentiellement d'écailles et de lames de roche. Les matériaux mêlés aux cendres sont salis. Une portion importante des plaquettes et des écailles est marquée sur une face par du noir de fumée. Par contre, les matériaux produits au moment de la comburation (flammes courtes) sont d'aspect gris blanc comme le veinage de la roche, et sont parfois rougis. Ils sont souillés par les cendres et les charbons de bois après manipulation, tri et tamisage.

Les fractions les plus grosses reflètent le rendement de l'expérience. Un feu efficace (ratio supérieur à 1) produit de grosses lames, la fraction supérieure à 5 cm peut représenter 7 à 40 % du poids total des matériaux produits. Les fractions inférieures à 5 mm, obtenues par tamisage, et qui ne sont normalement pas triables à la main dans la mine, représentent 10 à

20 % du produit de l'abattage. Les fractions inférieures à 2 mm (les sables) totalisent en général 10 % du produit de l'abattage. Les poussières fines, constituées de cendres et de roche, sont abondantes. Le nettoyage du front de taille provoque un soulèvement de ces produits fins. Le port d'un masque pour éviter leur inhalation est obligatoire.

Cette étape intégrée dans le protocole expérimental est nécessaire pour séparer et étudier les différents produits de l'abattage. La pratique des feux a conduit à constater son utilité indépendamment de notre protocole. Les produits de l'abattage par le feu étant souillés, il est difficile de distinguer les matériaux riches en minerais des matériaux stériles. Il n'est donc pas judicieux de pratiquer la purge avec le foyer en place. Les charbons de bois potentiellement réutilisables dans le feu suivant ou pour d'autres activités sont écrasés, piétinés, et mélangés au reste des produits. De plus, le nettoyage foyer facilite l'observation du front de taille de manière à apprécier les zones où le feu a eu le plus d'effet. Cette observation est nécessaire pour cibler l'attaque à l'outil et pour préparer la conception du bûcher suivant en fonction de l'objectif d'avancement.

La purge

Fig. n°131 : Purge et préparation du combustible. Maillons de la chaîne opératoire pouvant se dérouler de façon simultanée.

Après ce premier nettoyage, le front de taille, la voûte et les parois de la cavité, sont martelés pour être purgés (fig. n°131, p. 1185). Attestée dans les travaux médiévaux par l'archéologie, cette étape est nécessaire pour assurer l'efficacité du feu suivant. La portion de roche fragilisée sur quelques millimètres ou centimètres d'épaisseur non tombée pendant la combustion du bûcher créée un écran pouvant réduire considérablement les effets du feu suivant.

Lors de l'attaque à l'outil, certaines zones sont saines et sonnent de façon claire sous les coups de maillet, soit parce qu'elles n'ont pas été

attaquées par le feu, soit parce qu'elles se sont purgées durant la phase d'étonnement. D'autres zones sonnent creux et des masses de plaquettes s'abattent aisément. Les zones microfracturées qui résistent à l'étonnement doivent être abattues essentiellement lors de la purge. La poussière produite est importante. Le tamisage des produits montre que près d'un cinquième de la roche abattue est constitué de particules inférieures à 2 mm. Lorsque l'ensemble du front de taille sonne clair, la purge est arrêtée.

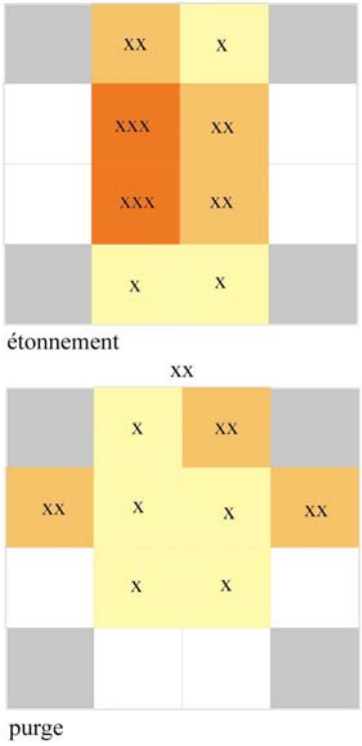


Fig. n°132 : Indication sur les croquis des fiches d'enregistrement des zones du front de taille travaillées par le feu, puis la purge.

Bien que l'objectif des attaques soit de faire progresser le front de taille, le feu peut fragiliser des zones reculées comme les parties arrière la voûte ou des parois latérales de la galerie. Ces zones ne sont pas purgées. Lorsque ce travail est nécessaire de façon à anticiper la chute accidentelle de plaque de roche, les produits issus de cette « rétropurge » ne sont pas comptabilisés. Ils augmenteraient considérablement le rendement de l'attaque sans donner une idée juste de l'avancement.

De façon générale, la purge est efficace là où le feu a été efficace, notamment au niveau du front de taille (de la naissance de la voûte à la sole). Mais la quantité de matériaux purgés est toujours moins importante là où le feu a fait progresser considérablement le front de taille (fig. n°132, p. 1186). Par contre, au niveau des zones où le feu a fait tomber une faible quantité de roches par étonnement, la purge est plus productive, surtout au niveau des parois latérales. Il est rare que la purge permette de progresser là où le feu n'a eu aucun impact. Par contre, ces zones, surtout les parois latérales, se fragilisent avec l'action de plusieurs feux (rayonnement). Parfois, et sans que cela soit de la rétropurge, la purge

Fig. n° 133 : Produits tamisés de l'abattage par le feu et de la purge.

permet d'abattre de la roche à cause de l'action cumulée de plusieurs feux et non pas d'un seul.

Il est donc extrêmement difficile d'évaluer de façon objective si la quantité de roche purgée est directement liée à l'action d'une expérience ou de plusieurs expériences, surtout au niveau des parois latérales qui sont moins atteintes par l'action des flammes qui parcourent la zone médiane du front de taille. Les produits de la purge se composent de lames, de graviers et de sables non salis (*cf.* fig. n°133, p. 1186). Leur aspect diffère essentiellement des matériaux produits par le feu (étonnement) par leur aspect anguleux et l'absence de charbon de bois ou de cendres.

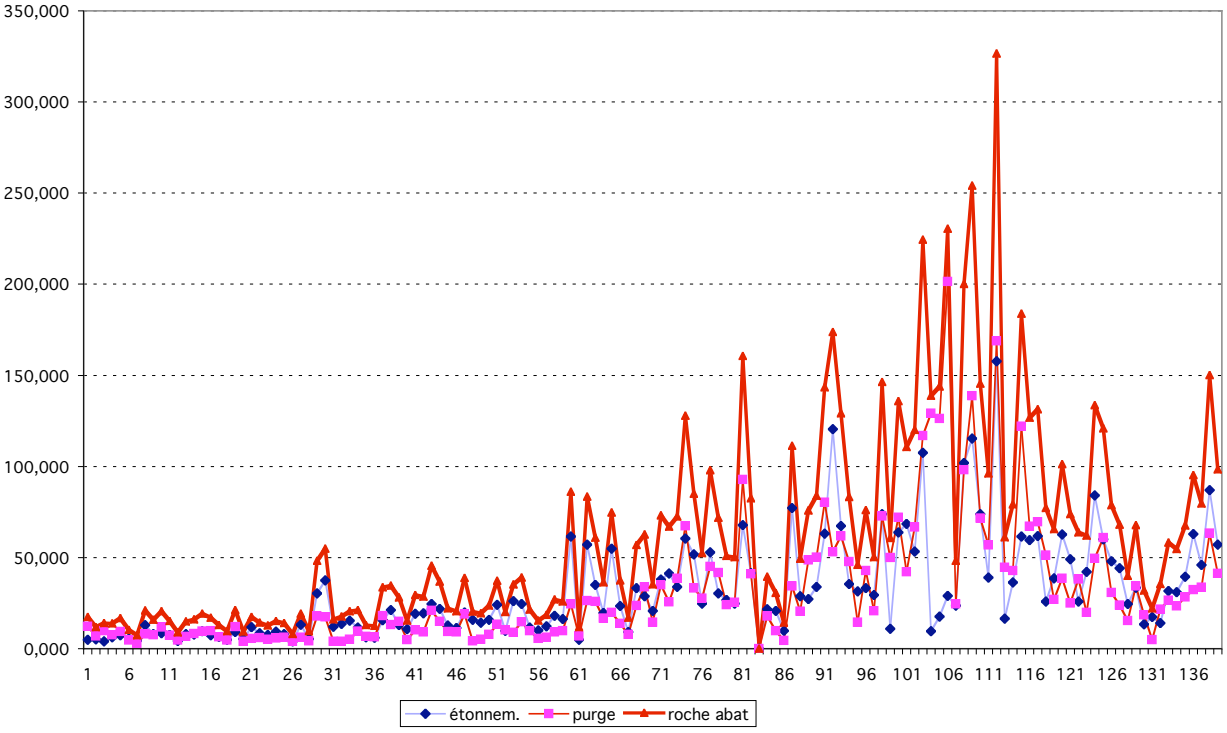


Fig. n°134 : Courbes comparatives du poids des matériaux obtenus par le feu (en bleu), du poids des matériaux obtenus par la purge (en rose) et du poids totale de roche abattue (en rouge).

Le poids total des résidus abattus et sa répartition entre les matériaux issus de l'abattage par le feu et les matériaux provenant de la purge est variable (*cf.* fig. n°134, p. 1187). Le soin apporté au nettoyage du front de taille et au tri des matériaux pourrait être à l'origine de la variation de la répartition du poids entre la roche abattue par le feu et la roche abattue manuellement : certains matériaux de l'étonnement pourraient se trouver comptabilisés par

erreur avec ceux de la purge et vice versa. Or, le front de taille est toujours parfaitement nettoyé et débarrassé de tous les résidus abattus par le feu avant de procéder à la purge. Cette variation serait plutôt due, non pas au tri, mais à la manière de procéder au nettoyage du front de taille. En effet, lorsque l'on dégage le foyer et que l'on opère à son ramassage, des plaques de roches qui ne sont pas tombées « naturellement » se décollent du front de taille. Lorsque l'on insiste avec une simple brosse, des plaques et des poussières de roche se dégagent très facilement. Un coup de brosse sur toute la surface traitée par le feu fait tomber de nouvelles plaquettes de roche. Pour éviter les risques d'erreur et pour que les résultats soient fiables et comparables, nous avons toujours procédé au nettoyage du front de taille de la même manière, notamment après les 29 premiers feux : évacuation de tous les résidus tombés naturellement et dégagés avec un simple brossage. Malgré le soin apporté au nettoyage du front de taille, toujours réalisé par la même personne pour chacune des expériences, nous devons constater une forte variabilité de la répartition du poids de la roche abattue par l'étonnement et par la purge qui doit être attribuée à un autre facteur, et non au protocole (*cf.* fig. n°134, p. 1187).

Évolution générale du front de taille

La forme de la cavité obtenue est conforme à celle des galeries médiévales : ovalaire, parois lisses, front de taille concave (fig. n°135, p. 1189). Elle est due au passage des flammes qui lèchent le front de taille en se courbant en demi-lune. L'avancement apprécié sur l'axe vertical médian varie de 0 à 3 cm suivant les expériences. Nous sommes donc très éloignés de l'avancement théorique proposé pour le Goutil-L'Argentario (10 cm) et de l'avancement expérimental mesuré pour quelques expériences à Melle (3 à 10 cm). Cette donnée confirme la difficulté de percer une galerie dans un miroir de faille et le caractère laborieux de ce travail. Il est possible que l'avancement varie du simple ou double dans les roches fragilisées.

En général, les bûchers adossés creusent la moitié supérieure du front de taille, les bûchers adossés très inclinés, la partie médiane, et les bûchers couchés ou horizontaux, la moitié inférieure. Pour attaquer la sole efficacement, il faut aménager un plancher solide et compact de façon à ce que les écailles de roches ne viennent pas recouvrir et protéger la sole. La quantité de braises obtenues doit être importante pour favoriser la montée des températures et leur maintien pendant plusieurs dizaines de minutes. Ce paramètre est directement lié à la gestion du calibre des bois et à la morphologie et construction du bûcher.

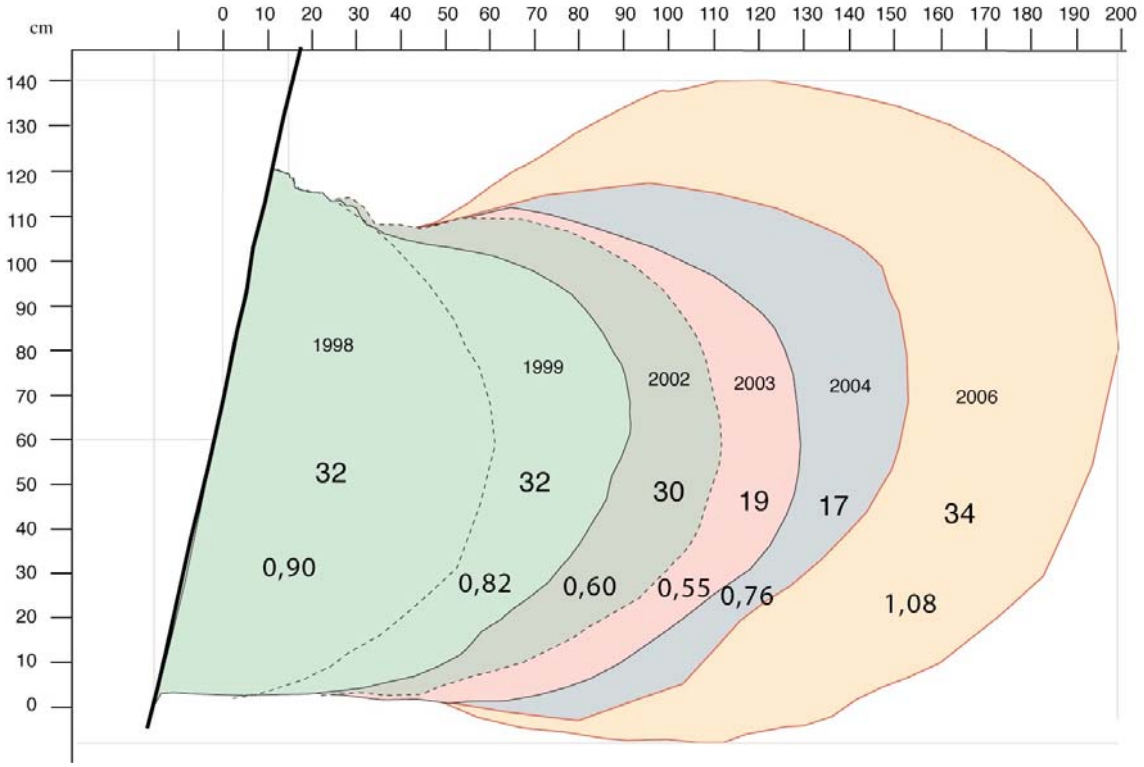


Fig. n°135 : Progression du front de taille en coupe longitudinale depuis 1998. En haut, l'année de la campagne, plus bas, le nombre d'expériences, et en bas, le ratio moyen.

Les bûchers tours élargissement souvent la cavité. Malgré de bons rendements, une très faible progression du front de taille est parfois visible au niveau de l'axe vertical médian. Si aucun écran n'a été aménagé au sommet du bûcher, ils attaquent fortement la voûte. Ce postulat a notamment été validé lors de la campagne d'expériences 2006. Une quinzaine de bûchers tours ont été expérimentés et ont permis de presque doubler la hauteur du front de taille. Mais, cet agrandissement est aussi à attribuer *pro parte* aux bûchers adossés très redressés qui attaquent aussi la voûte. L'agrandissement de la cavité permet d'accueillir des bûchers et des bois plus longs et massifs qui ont un impact certain le développement en hauteur du front de taille. On peut relever une connexion entre l'élévation du poids moyen des quartiers de bois brûlés et de leur calibre avec l'élargissement de la cavité. Mais telle n'est pas l'objectif directeur des expériences : il s'agit de faire progresser le front de taille vers l'avant en évitant un trop grand élargissement qui consomme de grandes quantités de bois à perte. Les ouvrages de recherche médiévaux sont d'ailleurs la plupart du temps exigus, indiquant

une bonne maîtrise des mineurs de la quantité utile de bois, et de son aménagement dans la cavité, pour éviter un agrandissement superflu de l'ouvrage.

Une constatation s'impose avec la campagne d'expérimentations réalisée en 2006, c'est l'acquisition d'un savoir-faire, encore immature, qui se traduit par de meilleurs rendements, mais surtout par la capacité de cibler les attaques vers le haut, la partie médiane ou la sole de la galerie, grâce à une bonne gestion du calibre des bois et de la manière de construire le bûcher. Contrairement à ce qui a été observé expérimentalement jusqu'à présent, il est possible de rectifier la pente de la sole au moyen du feu. Cette information est à commenter plus longuement plus loin, mais il est bon de la signaler ici car elle intervient dans l'affinement du protocole expérimental : progressivement il est possible d'intervenir sur l'amélioration des rendements et la progression du front de taille grâce à l'acquisition d'un savoir-faire.

Enfin, en tenant compte des dernières remarques, les expériences menées sur un front de taille refroidi ne sont pas plus ou pas moins performantes que les expériences menées en continu. Il n'a pas été démontré que la montée rapide en température de la surface de la roche refroidie provoque un choc thermique facilitant l'apparition des étonnements. Les résultats de l'expérience 29 vont dans ce sens. La montée en température a été deux fois plus lente que d'habitude et l'abattage deux fois plus efficace, mais cela à cause d'autres facteurs plus prégnants.

III.3. ANALYSE DES RÉSIDUS

III.3.1. Approche granulométrique

Caractères des résidus expérimentaux

Ch. Marconnet a réalisé une analyse granulométrique des résidus des 29 premiers feux conduits lors de la campagne de 2002. Les expériences se répartissent en quatre séries de 7 à 8 bûchers pour lesquels trois facteurs ont volontairement été modifiés : l'essence des bois utilisés, l'architecture du bûcher et la quantité de bois brûlés (*cf.* tabl. n°32, p. 1191).

n°	Bûches	type	Essence	moyenne	section	écart	bûcher	bois brulé	charbon	ch/bois	étonnem.	purge	roche abat.	ratio	éton/purg
1	27	A	E	1,1	x	x	31,0	**30,8**	**0,416**	1,3%	5,013	12,279	**17,292**	0,56	0,4
2	24	A	E	1,0	15,6	4,2	23,1	**23,0**	**0,420**	1,8%	5,047	6,823	**11,870**	0,52	0,7
3	28	A	E	1,0	15,0	4,9	28,4	**28,1**	**0,414**	1,5%	4,030	9,918	**13,948**	0,50	0,4
4	39	A	E	0,8	13,2	5,0	32,1	**32,1**	**0,426**	1,3%	6,294	7,588	**13,882**	0,43	0,8
5	42	A	E	0,7	13,1	4,6	31,1	**31,1**	**0,447**	1,4%	7,299	9,431	**16,730**	0,54	0,8
6	28	A	E	0,8	14,9	4,5	21,8	**21,7**	**0,470**	2,2%	5,643	4,578	**10,221**	0,47	1,2
7	22	A	E	0,8	15,6	5,3	17,3	**17,0**	**0,312**	1,8%	4,365	2,935	**7,300**	0,43	1,5
8	43	T	E	0,7	17,1	6,5	29,4	**28,4**	**0,369**	1,3%	12,924	8,020	**20,944**	0,74	1,6
9	28	T	E	0,8	18,2	6,7	23,5	**23,4**	**0,216**	0,9%	8,100	7,680	**15,780**	0,67	1,1
10	35	T	E	0,6	17,6	6,6	22,3	**22,3**	**0,440**	2,0%	8,566	11,902	**20,468**	0,92	0,7
11	40	T	E	0,7	14,5	6,6	26,9	**26,9**	**0,371**	1,4%	7,590	7,470	**15,060**	0,56	1,0
12	27	T	E	0,8	15,7	5,6	22,3	**22,0**	**0,297**	1,3%	4,175	4,638	**8,813**	0,40	0,9
13	28	T	E	0,9	16,1	6,0	24,1	**24,0**	**0,278**	1,2%	8,130	6,730	**14,860**	0,62	1,2
14	33	T	E	1,0	16,5	6,6	32,2	**32,2**	**0,407**	1,3%	7,823	8,157	**15,980**	0,50	1,0
15	44	T	E	0,7	12,4	6,7	28,8	**28,6**	**0,478**	1,7%	9,585	9,680	**19,265**	0,67	1,0
16	49	T	PM	0,7	15,1	6,8	34,5	**34,4**	**0,477**	1,4%	7,275	9,790	**17,065**	0,50	0,7
17	40	T	PM	0,8	x	x	30,0	**29,5**	**0,614**	2,0%	6,425	6,425	**12,850**	0,44	1,0
18	29	T	PM	1,1	20,0	9,5	30,6	**30,0**	**0,590**	1,9%	4,951	4,635	**9,586**	0,32	1,1
19	30	T	PM	1,0	17,8	8,1	29,6	**29,5**	**0,685**	2,3%	9,130	12,155	**21,285**	0,72	0,8
20	36	T	P	0,7	15,2	6,2	26,7	**26,4**	**0,621**	2,3%	5,299	3,990	**9,289**	0,35	1,3
21	35	T	M	0,8	16,4	7,2	28,9	**28,8**	**0,896**	3,1%	11,934	5,486	**17,420**	0,61	2,2
22	34	T	P	0,9	16,1	8,3	29,6	**29,4**	**0,694**	2,3%	8,375	5,984	**14,359**	0,49	1,4
23	33	A	M	0,8	16,8	5,8	26,1	**25,5**	**0,566**	2,2%	7,555	5,066	**12,621**	0,49	1,5
24	32	A	P	0,7	13,3	6,6	21,7	**21,0**	**0,450**	2,1%	9,372	5,906	**15,278**	0,73	1,6
25	28	A	M	0,8	15,7	6,0	22,6	**21,7**	**0,622**	2,8%	8,005	6,155	**14,160**	0,65	1,3
26	33	A	P	0,6	12,1	6,0	21,1	**20,4**	**0,485**	2,3%	4,120	3,925	**8,045**	0,39	1,0
27	31	A	M	1,0	18,2	9,7	31,3	**31,1**	**0,655**	2,1%	13,055	6,225	**19,280**	0,62	2,1
28	30	A	P	0,8	14,6	8,6	22,6	**22,0**	**0,680**	3,0%	5,360	4,295	**9,655**	0,44	1,2
29	45	A+	MEP	1,2	18,8	9,1	53,9	**52,9**	**1,125**	2,1%	30,315	17,775	**48,090**	0,91	1,7
30	x	A	MP	x	x	x	35,0	**35,0**	**0,500**	1,4%	37,460	17,460	**54,920**	1,57	2,1

Tabl. n°32 : Données brutes de la première campagne d'expérimentations.

Le phénomène observé le plus remarquable est la très grande homogénéité des spectres et des courbes granulométriques de chaque catégorie de matériaux, particulièrement pour les résidus provenant de l'abattage par le feu (fig. n°136-137, p. 1192-1193). Cette donnée suggère que les facteurs « quantité de bois brûlés », « architecture du bûcher », et « essence », n'ont pas d'impact majeur sur les différents classements granulométriques des matériaux produits. Or, elle concerne seulement la première campagne expérimentale pour laquelle la quantité de bois brûlés et les calibres des bois sont, malgré des variations de quelques kilos, relativement homogènes. En effet, comme les figures présentées plus haut le mettent en évidence, les paramètres des expériences ont évolué. Progressivement, la tentative de reproductibilité par séries a été abandonnée au profit d'une plus haute variabilité des paramètres d'un feu à l'autre ou d'une courte série de feux à l'autre, et notamment la quantité de bois brûlés a été multipliée par 2 à 3, ainsi que le calibre des bois. Il serait donc bon de vérifier ce phénomène pour les expériences de la dernière campagne expérimentale car il est probable que les facteurs « quantité de bois brûlé » ou « taille du bûcher » influent sur la variabilité des classements granulométriques.

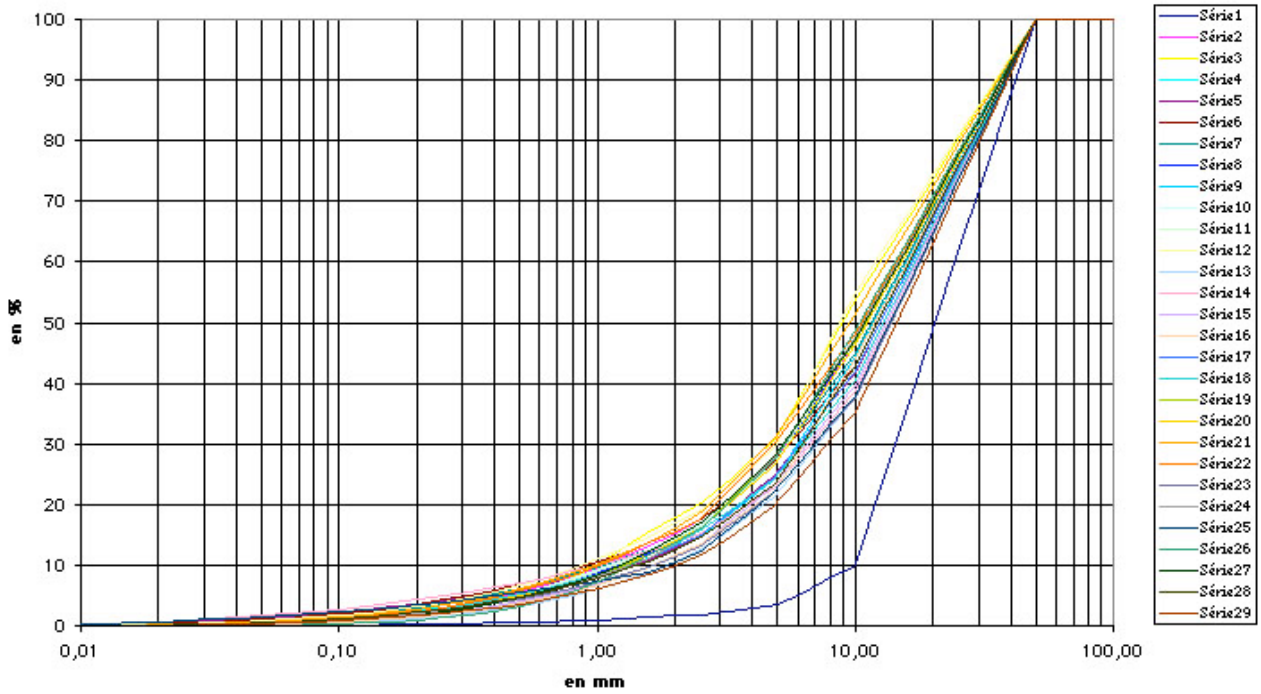


Fig. n°136 : Courbes granulométriques des résidus de l'étonnement des expériences 1 à 29 (Marconnet 2002).

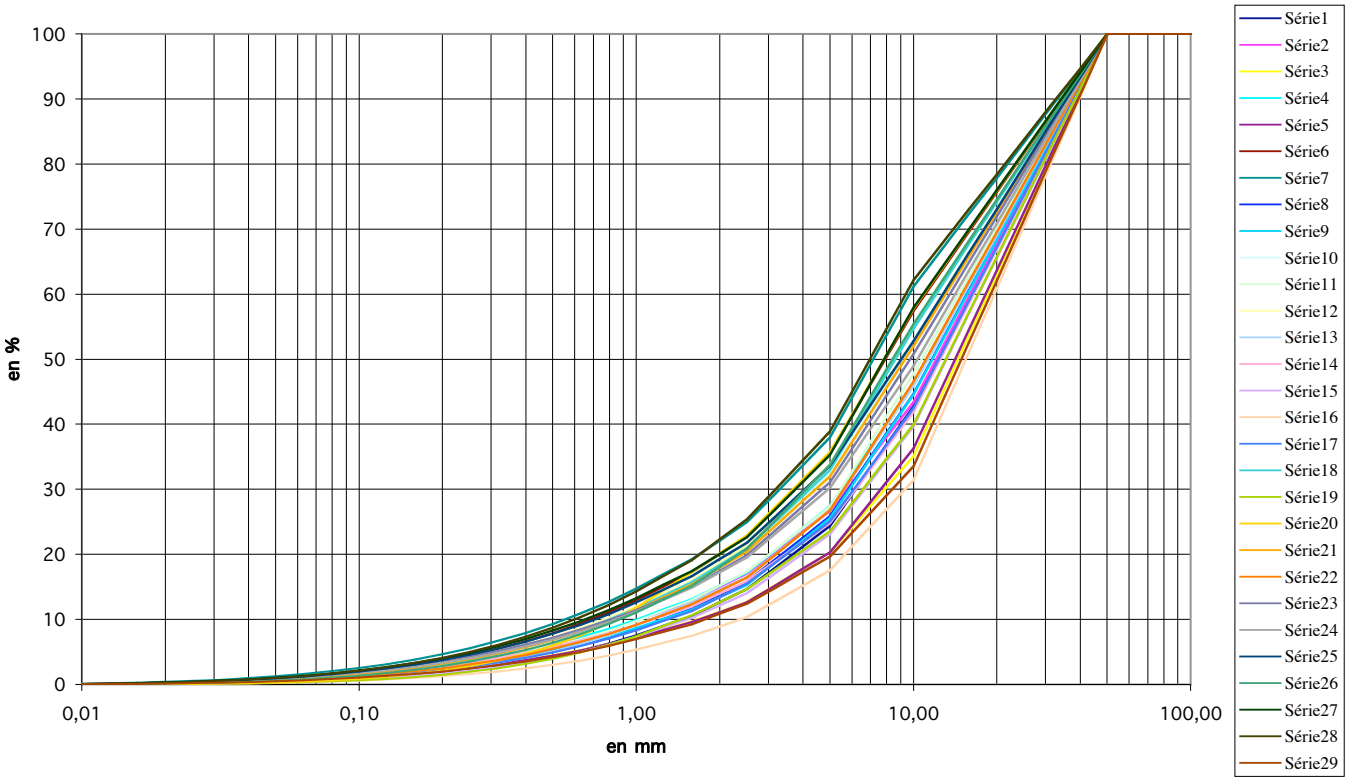


Fig. n°137 : Courbes granulométriques des résidus de la purge des expériences 1 à 29 (Marconnet 2002).

Les matériaux obtenus avec le feu 29 (série 1 dans le graphique) tendent à appuyer cette hypothèse. Dans la perspective d'envisager des variations du mode opératoire, cette expérience particulière a été réalisée hors du protocole « normal » de l'expérimentation propre à la première campagne. Le bûcher était presque deux fois plus important en taille que les autres bûchers de la campagne 2002 (*cf.* tabl. n°32, p. 1191). De façon à renvoyer la chaleur contre le front de taille et à ralentir l'embrasement du bûcher et le processus de combustion des bois, une grande tôle métallique a été installée à l'arrière du bûcher pour boucher la cavité en laissant juste assez d'espace pour faire circuler l'air. Par manque d'apport massif d'oxygène, le feu a été moins vif que d'habitude. L'étonnement a mis longtemps à débuter et son paroxysme était moins violent et plus sourd. Cependant, ce feu a amélioré le ratio moyen de 67 %, et les fragments de roche abattue étaient de 30 à 40 % plus gros que lors des expériences précédentes. Par contre, la proportion de roche abattue au moyen de la purge par rapport à l'étonnement était moins importante. Ici, le feu a été assez intense pour libérer seul de gros fragments de roches qui normalement auraient été abattus au moyen de la purge. Cette

expérience apparaît clairement en retrait dans le graphique. Elle indique qu'une grande variation des paramètres expérimentaux, notamment la quantité de bois brûlés et le calibre des bûches, peut influer sur la granulométrie. Les observations granulométriques des matériaux produits avec de gros bûcher lors du nettoyage du foyer et du tamisage indiquent clairement une augmentation de la taille des lames, notamment au niveau de la sole. Le problème majeur de l'expérience 29 réside dans l'utilisation de la tôle. Il est impossible de savoir si les variations granulométriques sont *pro parte* déterminées par son recours. C'est notamment pour cette raison que la tôle a été exclue du protocole par la suite. De plus, l'usage d'un tel équipement n'a jamais été attesté d'un point de vue archéologique. De la même manière, la fouille de fronts de taille n'a jamais mis en évidence la construction de muret de pierres et d'argile à l'arrière des bûchers. Par contre, il s'agit d'une amélioration technique du procédé, attestée par les sources écrites et iconographiques à partir du XVIIIe siècle.

Contrairement aux produits de l'abattage par le feu, les résidus de la purge présentent une légère variation des fractions comprises entre 1 et 5 cm (Marconnet 2002, p. 5). De prime abord, cette variation est déterminée par la variabilité de la force utilisée pour le martelage. L'expérimentateur frappe la roche moins violement en fin de purge qu'en début de purge. Plus les coups sont puissants, plus les risque de fragmentation des matériaux sont augmentés. Il faut aussi considérer que la roche qui tombe lors du martelage peut être piétinée et écrasée par l'expérimentateur.

Pour réfléchir sur l'impact des facteurs expérimentaux sur la granulométrie des matériaux, mais aussi pour comparer les produits de l'abattage avec les matériaux prélevés dans les remblais, Ch. Marconnet a analysé de façon approfondie les résidus des feux 27 et 28. Ils ont fait l'objet d'un second tamisage en laboratoire respectant le protocole mis en place pour les résidus archéologiques. Pour les matériaux de la purge, les résidus tamisés en laboratoire sont assez proches de ce qui a pu être mesuré en contexte archéologique. Par contre, les matériaux de l'étonnement paraissent refragmentés et présentent un tri moins marqué. Cette refragmentation peut être liée à au moins deux facteurs : le double tamisage, en mine, puis en laboratoire, et le tamisage supplémentaire sur les fractions supérieures à 2 cm. Ce dernier diminue la fraction supérieure surreprésentée dans le premier tamisage réalisé en mine.

D'un point de vue morphologique, l'étude granulométrique approfondie des fractions fines montre que la forme en plaquettes devient plus discrète, mais reste majoritaire sur la fraction proche du millimètre. De plus, elle suggère une refragmentation des matériaux liée au

tamisage. Il faut en déduire que le tri, le transport et les conditions de stockage des matériaux produits, particulièrement par abattage par le feu, ont un impact sur la granulométrie des remblais. Pour tenter de mesurer plus précisément ce phénomène, les résidus du feu 27 ont fait l'objet de diverses manipulations. Pour reproduire le transport et la manipulation des matériaux dans la mine, une fraction provenant de l'étonnement a subi une trituration (5 transvasements de seau à seau). Mais la courbe granulométrique révèle que son impact est négligeable. Il faut donc en déduire que l'opération de tamisage granulométrique en mine a des conséquences plus importantes sur la fragmentation des matériaux qu'une simple trituration.

Pour reproduire la fragmentation des matériaux déversés dans les espaces de circulation, une seconde fraction de l'étonnement a fait l'objet de piétinements pendant deux minutes. L'analyse granulométrique et sédimentologique de ces matériaux donne des résultats très éloignés de ceux obtenus avec les matériaux d'origine provenant de la purge ou de l'étonnement. Au lieu de provoquer un effritement des matériaux, le piétinement fractionne les morceaux les plus gros. Il génère une concentration des matériaux sur une classe granulométrique inférieure, ce qui entraîne une amélioration du classement autour d'un mode statistique principal légèrement inférieur. L'aspect des matériaux en plaquettes ou en écailles ne semble pas modifié. Le piétinement des matériaux issus de l'étonnement au niveau de voies de circulation secondaires empruntées seulement durant la durée de quelques abattages ne modifierait donc pas la morphologie en plaquette typique de l'étonnement, mais entraîne un classement granulométrique inférieur au classement obtenu avec des matériaux d'origine.

La même opération de piétinement a été réalisée sur une fraction de matériaux provenant de la purge. L'effet de cette action est moins perceptible. La désagrégation des matériaux liée au piétinement prolonge le mode de fractionnement observé lors de l'abattage avec un effritement de toutes les fractions. Cette action est donc moins perceptible sur les résidus issus de la purge.

De façon plus générale, les mesures effectuées lors des expériences révèlent que la quantité de roches abattues augmente sensiblement avec le ratio et avec la quantité de bois brûlés. Mais, ces phénomènes observés ne sont pas systématiques car l'efficacité d'un feu n'est pas proportionnelle à la quantité de bois de brûlé, notamment pour percer une amorce de galerie. On peut juste constater que les grands bûchers favorisent l'abattage de la roche, mais uniquement lorsque la cavité est assez spacieuse pour les accueillir.

D’un point de vue morphologique, les variations des dimensions de fragmentation de la roche des résidus issus de la purge semblent étroitement liées à la quantité de roches abattues. Ce phénomène n’est pas perceptible pour les matériaux issus de l’étonnement. Ainsi, plus le feu est important (gros bûcher), plus les fragments de roche abattus lors de la purge sont susceptibles d’être gros. Or, si l’explication de ce phénomène ne réside pas uniquement dans le facteur de la taille du bûcher, elle se trouve dans la capacité d’un feu à chauffer en profondeur la roche de façon à la fracturer sur une grande épaisseur à la suite d’un long processus de dilatation. En effet, lorsque la fracturation de la roche s’opère en profondeur, le front de taille ne se désagrège pas avec la même intensité durant la combustion (étonnement), mais par contre la proportion de matériaux obtenus avec la purge est plus importante et la taille des fragments de roches abattues sont plus gros. À l’inverse, un feu plus petit va libérer de préférence des matériaux de petites tailles qui se détachent plus facilement du front de taille et de manière plus spectaculaire (projections).

Comparaison des matériaux expérimentaux et archéologiques

Ch. Marconnet a ébauché une étude comparative des résidus archéologiques et expérimentaux de Melle et du Fournel (Marconnet 2002). Les données sont totalement inédites. Nous nous contentons ici de dégager les éléments remarquables pointés par cette étude qui demeure encore embryonnaire, sans prendre en compte les résultats de Melle qui sont encore très partiels (les résidus d’une seule expérience ont été étudiés) (Téreygeol 2001, I, pp. 230-231).

La comparaison des matériaux prélevés dans la mine médiévale du Fournel avec les matériaux expérimentaux révèle la différence des faciès granulométriques. Ceux qui sont les plus proches présentent soit des fractions grossières plus élevées, soit moins élevées. Leurs modes granulométriques, autour desquels se concentre le classement, sont soit supérieurs, soit inférieurs (Marconnet 2002, p. 13). Certains des échantillons sont toutefois assez proches. Ils se caractérisent par une disparition progressive de leur classement et par une diminution générale de la taille des grains.

Le décalage existant entre l’image texturale des résidus archéologiques et expérimentaux peut être déterminé par plusieurs facteurs, liés d’une part à une chaîne opératoire technique d’abattage par le feu plus complexe, et d’autres part à des pratiques

minéralurgiques conduites en mine. Le mode opératoire des mineurs au Moyen Âge est sans doute différent du protocole expérimental, surtout dans la manière de récolter et de trier les produits de l'abattage. Il faut ajouter à cela la grande variabilité de dureté de la roche au sein d'une même mine qui constitue sans doute un facteur entraînant une variation importante de la nature des matériaux. Une roche broyée ou fissurée par des fractures ou le passage d'une faille est abattue plus aisément sans le recours au feu et produit des matériaux totalement différents d'un point de vue morphologique et granulométrique. De même, sa composition et sa minéralisation peuvent avoir un impact mécanique voire chimique lors de l'abattage. Il faut ajouter à cela la variabilité de la taille et de l'architecture des bûchers suivant les contextes de travail. Ce facteur, nous l'avons dit plus haut, a un impact certain sur la granulométrie des résidus provenant de l'abattage par le feu comme de la purge. Enfin, les matériaux produits par le feu ou par la purge sont manipulés à plusieurs reprises avant leur stockage ou leur déblaiement à l'extérieur de la mine. Les expériences ont démontré que les phénomènes d'altération et d'effritement touchent particulièrement les résidus produits par le feu, plus fragiles (finesse des plaquettes).

Pour améliorer notre perception de la chaîne opératoire technique de l'abattage par le feu dans la mine médiévale, il est certain que cette voie de recherches peut apporter des éléments nouveaux et étonnants. Or, ce travail nécessite une coopération de plusieurs spécialistes au même moment et des moyens techniques et financiers conséquents. Cela est difficilement réalisable dans le cadre d'une recherche programmée. L'A.C.I. a contribué à faire avancer ce travail, mais il serait bon de poursuivre dans cette lancée.

III.3.2. Approche anthracologique

Au-delà de la détermination taxinomique, l'étude anthracologique éclaire spécifiquement l'état du combustible et ses usages. Des travaux précurseurs sur des charbons de bois issus de foyers paléolithiques et d'expérimentations en laboratoire, tentant de reproduire les mêmes déformations, ont mis en évidence l'intérêt de l'analyse des modifications anatomiques de la structure des bois en termes d'économie des boisements (Théry-Parisot 1998 ; 2001).

Parallèlement aux déformations étudiées plus haut, antérieures à la carbonisation et en relation avec les activités de dégradation biologique du bois, témoignant de pratiques d'approvisionnement et de stockage, les charbons de bois archéologiques prélevés dans les mines du Fournel et de Fangeas-Faravel montrent des modifications de la structure anatomique. Elles sont observées de façon récurrente sur les plans transversaux et radiaux, et sont potentiellement porteuses de renseignements sur les caractéristiques du feu ou sur l'état hygrométrique des bois utilisés. Il s'agit surtout de fentes radiales de retrait souvent béantes et de fusions cellulaires plus ou moins importantes (vitrification). Pour ouvrir d'autres perspectives d'études en termes de pratiques du feu minier, l'objectif de l'étude anthracologique des charbons produits de façon expérimentale est de vérifier si ces déformations sont reproductibles de façon à déterminer les causes responsables de leur apparition dans ce contexte spécifique. Pour cela, nous souhaitions réaliser une étude morphométrique des charbons de bois par le biais de l'analyse d'images (association du microscope à une caméra et à un ordinateur équipé d'un logiciel de capture et de traitement d'images) pour mesurer et interpréter la récurrence, les variations de taille et de forme de ces déformations (longueur et largeur des fentes et des craquements, surface et volume des vitrifications). Mais cet axe de recherche n'a pas pu être développé car nous n'avons pas réussi, malgré le soutien de l'A.C.I., à réunir les financements nécessaires à l'achat de ce matériel. Malgré tout, un échantillonnage « test » des charbons résiduels expérimentaux a été étudié pour constituer un premier inventaire de stigmates récurrents et significatifs. Les résidus carbonisés de chaque expérience ont été échantillonnés dans l'attente d'une étude approfondie. L'analyse anatomique porte sur 170 charbons expérimentaux issus de 17 expériences. Les premières observations méritent quelques commentaires.

Les fentes radiales de retrait

Un peu plus de 60 % des échantillons expérimentaux analysés montrent des fentes radiales de retrait souvent béantes. Pour les expérimentations menées avec l'épicéa, 65 % des charbons de bois présentent de telles déformations, et pour celles menées avec le pin et/ou le mélèze, 66 %. L'occurrence du retrait et la fréquence des fentes sont importantes chez les trois espèces. Ces forts pourcentages ne peuvent pas être liés à l'usage d'un bois vert ou mouillé puisque le bois utilisé est sec. De plus, des expériences conduites en laboratoire, en

contrôlant les paramètres de la carbonisation, montrent qu'il n'est pas possible de déterminer à partir de ce seul critère l'utilisation d'un bois vert ou d'un bois sec (Théry-Parisot 2001, pp. 56-68). Depuis quelques années, les anthracologues ont abandonné l'idée de pouvoir caractériser l'usage de bois vert pour faire un feu avec la seule observation de ce phénomène. En effet, sans relation avec la présence d'eau libre dans le bois, l'apparition des fissures de retrait est liée à l'évacuation de l'eau liée (de structure) lors de la carbonisation (Théry-Parisot 2001, p. 64). D'après les expérimentations en laboratoire d'I. Théry-Parisot, l'occurrence du retrait varie sous l'influence de plusieurs facteurs combinés, différents d'une espèce à l'autre, voire d'un individu à l'autre. À l'heure actuelle, ils ne sont pas bien cernés. Le comportement du bois au feu dépend, en amont, de ses caractéristiques propres et, en aval, de l'ensemble des variables de la carbonisation (Théry-Parisot 2001, p. 65).

Nos résultats tendent à montrer pour les trois espèces utilisées, relativement proches d'un point de vue anatomique, une régularité de l'occurrence du retrait. Dès lors, les facteurs de carbonisation (gradient et températures), sans exclure les autres, semblent prégnants. Les travaux d'I. Théry-Parisot ont mis en évidence une relation entre la largeur des fentes et la température de carbonisation. Par contre, le gradient de montée en température n'a pas d'impact significatif sur l'occurrence du retrait ou la taille des fentes. Mais, les expériences menées en laboratoire ont été limitées à 750°C et seulement deux gradients ont été testés : « choc brutal » dans un four préchauffé (température ?) et montée progressive en température. Dans le cadre de nos expériences, la montée en température est extrêmement rapide et peut atteindre en cinq minutes plus de 400°C à 500°C. Il est donc difficile d'exclure totalement une corrélation entre le gradient de montée en température et l'occurrence du retrait des échantillons expérimentaux. Mais le doute demeure. Il n'est pas exclu que les températures extrêmement élevées pouvant atteindre 800 à 1000°C soient à l'origine de l'élargissement des fentes. Seule une analyse morphométrique sur des échantillons provenant de différents secteurs du foyer pourrait permettre de vérifier ce phénomène, ou du moins d'apporter de nouveaux éléments de réflexion. Malgré les résultats des expériences en laboratoire d'I. Théry-Parisot, mettant en évidence un faible impact de la carbonisation sur l'occurrence du retrait et la taille des fentes, l'étude morphologique des charbons expérimentaux vaudrait la peine. Le protocole des expériences d'abattage par le feu est différent, les conditions de terrain sont en profond décalage avec des conditions de laboratoire, et il paraît évident qu'un bois ne réagit pas de la même manière dans un bûcher d'abattage que dans un four dont on peut contrôler la température.

La vitrification ou cristallisation

La vitrification est la seconde déformation observée de façon récurrente dans les échantillons expérimentaux et archéologiques. Elle se caractérise par l'homogénéisation et la fusion des différents éléments anatomiques du bois conduisant à une perte d'informations relatives à la détermination taxinomique[359]. Elle est régulièrement signalée par les anthracologues et elle est souvent associée à des contextes artisanaux, comme les dépôts résiduels des places à charbons ou les foyers de fours de potiers (cuisson réductrice), ou à des incendies naturels (Chabal *et al.* 1999). Certains y voient le résultat d'un choc thermique violent (aspersion d'eau par exemple), d'autres y reconnaissent les stigmates de la carbonisation d'un bois vert ou mouillé. Ces hypothèses sont aujourd'hui controversées et méritent une assise expérimentale. Déterminer l'origine du phénomène et de sa récurrence pourrait constituer une nouvelle clé d'interprétation pour caractériser l'état du bois avant carbonisation ou des paramètres de combustion dans un contexte spécifique.

La possibilité de reproduire la vitrification de façon expérimentale est en soit intéressante. En effet, les expérimentations en laboratoire conduites par I. Théry-Parisot, avec un contrôle des paramètres de la carbonisation (utilisation d'un four), n'ont pas permis de reproduire la vitrification. Elles ont néanmoins suggéré qu'il pourrait exister une corrélation entre la température et la vitrification, mais seulement si cette température est supérieure à 750°C et corrélativement si la combustion est réalisée dans un milieu réducteur en oxygène (Théry-Parisot 2001, pp. 76-77). Mais cela reste à vérifier.

Nos échantillons expérimentaux vitrifiés se caractérisent le plus souvent par un aspect vitreux et brillant. Des stades plus ou moins avancés ont été distingués : vitrification partielle ou très localisés à fusion totale des éléments anatomiques. Certains échantillons sont comme scoriacés, avec un aspect bulleux très caractéristique, mais ce niveau extrême de dégradation est plus marginal (*cf.* fig. n°138, p. 1201). Par contre, les charbons analysés contiennent un pourcentage élevé de fragments partiellement vitrifiés.

[359] Tous les échantillons archéologiques indéterminables ou déterminés "Gymnospermes indéterminables" présentaient cette déformation sur la quasi-totalité de la surface du charbon (*cf.* annexe).

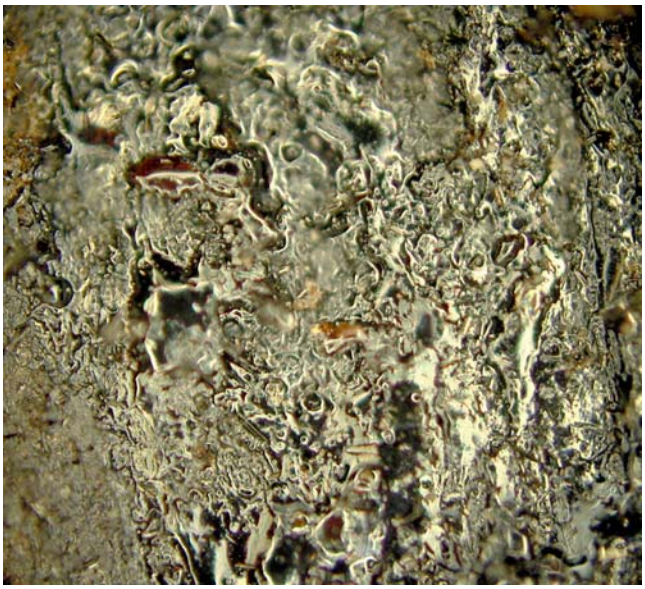


Fig. n°138 : Charbon scoriacé expérimental (x 100) (cl. V. Py).

Nous avons pu vérifier que certains échantillons scoriacés proviennent de bois qui ont évacué, lors des phases de séchage et de déshydratation, une substance fluide et visqueuse devenue noirâtre avec le dégagement du dioxyde de carbone. Il s'agit des résines qui forment parfois des poches importantes dans les fibres ligneuses. Les résineux en sont gorgés au printemps et en été. D'ailleurs, le bois utilisé pour ces expériences provient des arbres abîmés par une crue printanière du Fournel. Ils sont donc regorgés de résine. Montées à très haute température et dans un foyer mal aéré, la résine, d'autant plus lorsqu'elle est abondante, pourrait avoir un impact sur l'état des charbons. Dans ce cas, si ces déformations sont engendrées par des résines abondantes ou certains extraits chauffés à hautes températures, leur détermination et leur récurrence dans un échantillon pourraient offrir des indications très précieuses sur la saison d'abattage, mais encore faut-il que d'autres paramètres liés à la combustion soient réunis. Cette hypothèse est donc trop fragile pour être validée.

Nous pensons qu'il peut exister plusieurs types de vitrifications à rattacher à des facteurs différents : espèce et saison d'abattage, températures.

Bien que le milieu expérimental soit toujours alimenté en oxygène, les hautes températures atteintes dans le foyer, conjuguées à la présence de nombreux charbons de bois résiduels après combustion, suggèrent que la carbonisation s'est déroulée dans un milieu semi réducteur. Il paraît donc probable que l'abattage par le feu en souterrain réunit les paramètres nécessaires à la vitrification.

III.4. FACTEURS PRÉGNANTS ET RENDEMENTS

Pour tirer les enseignements de ces expériences, nous proposons une étude comparée des ratios en fonction des différents paramètres de combustion et d'abattage qui ont pu être mesurés grâce au protocole établi plus haut.

III.4.1. Le facteur bûcher

Aménagement des bois

L'aménagement des bois (empilement en tour ou adossé) et leur inclinaison ciblent l'attaque sur une portion du front de taille. Ce facteur est prégnant dans la conduite du feu. Il a aussi un impact sur la morphologie du front de taille et son évolution. L'usage des bûchers tours et adossés peut être complémentaire lorsque l'amorce de galerie a été préparée. En général, le bûcher tour nécessite un espace relativement spacieux, pouvant accueillir au moins un stère de bois. Il n'est pas adapté pour percer des entailles ou des amorces de galeries. Pour atteindre notre objectif de percement, l'usage en alternance des bûchers adossés et couchés (horizontaux) s'est avéré complémentaire.

Du point de vue strict des ratios, la méthode « tour » a produit les meilleurs rendements (ratios supérieurs à 2 plus nombreux). Étant donné sa capacité à élargir la cavité et abattre la voûte, elle paraît adaptée pour travailler dans les chambres d'exploitation ouvertes sur le filon ou pour élargir les galeries de circulation. Ces données sont donc conformes à la documentation écrite et iconographique mettant en évidence son usage privilégié dans les mines modernes pour exploiter des filons puissants. Progressivement surélevé sur une estrade de remblais, le bûcher tour paraît aussi adapté pour percer un ouvrage vertical depuis le bas.

Permettant une meilleure gestion de l'inclinaison et de l'orientation des bûches, la méthode adossée est plus malléable et s'adapte à de multiples contextes d'abattage. Elle est sans conteste la plus adaptée pour le percement d'ouvrages horizontaux, obliques et même

verticaux, particulièrement lorsqu'il s'agit d'ouvrir un puits depuis le haut. Ces raisons peuvent expliquer la récurrence de sa représentation dans l'iconographie de la Renaissance jusqu'au XVIIe siècle.

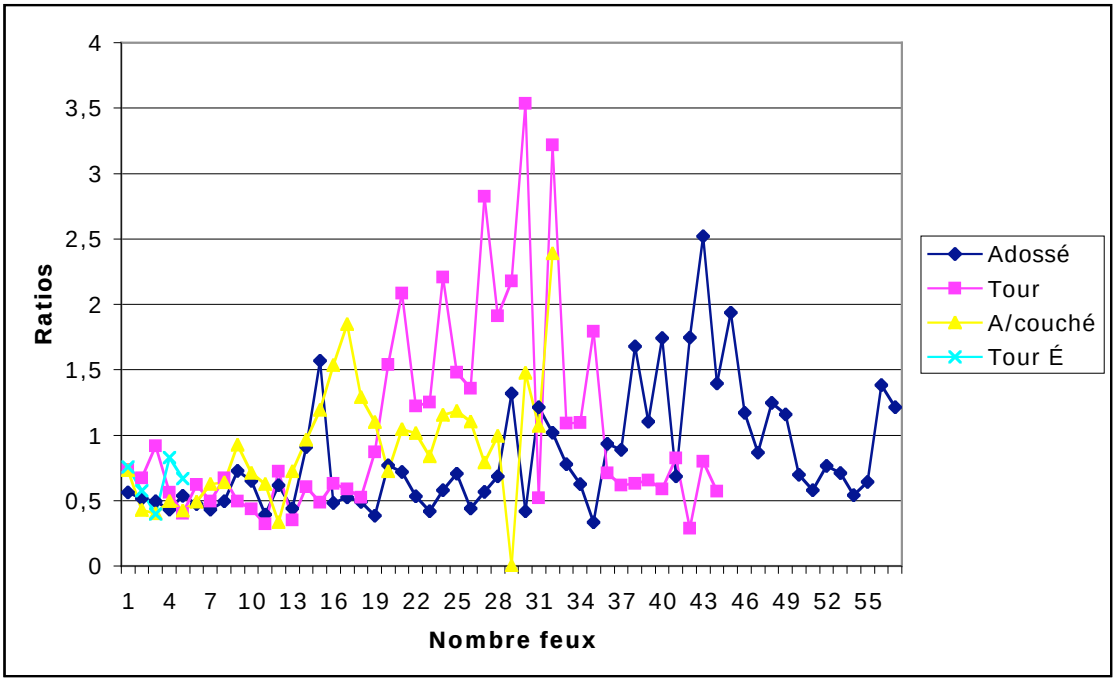


Fig. n°139 : Ratios en fonction des différents grands types de bûchers.

Le graphique proposé superpose les ratios obtenus pour les différents types de bûchers. Il met en relief deux phénomènes majeurs (fig n°139, p. 1203). Le premier est le maintien des ratios sous 1 avec les premières séries de feux, et cela quel que soit le type de bûcher mis en œuvre. Le second est l'augmentation significative des ratios de tous les types de bûchers après les 60 premiers feux. Le facteur bûcher seul n'est donc pas à l'origine de l'augmentation des ratios. Pour que le feu soit efficace en termes d'avancement, mais aussi de rendement, il faut intégrer une autre variable prégnante : la quantité de bois mise au feu (ou poids du bûcher).

La quantité de bois mise au feu

Lors de la première série d'expériences (30 premiers feux), la quantité de bois mise au feu était inférieure à 50 kg (30 kg ± 5 kg). Les ratios étaient variables, mais toujours inférieurs

à 1 (*cf.* fig. n°140, p. 1204). Leur augmentation n'avait pas de lien évident avec la quantité de bois brûlés, et les meilleurs rendements ont même été obtenus avec les bûchers de plus petite taille. Cette constatation va dans le sens des résultats des expériences du Goutil-L'Argentario et de Melle.

Pour la série de feux suivants, la quantité de bois a été augmentée de 10 à 30 kg. Aucune augmentation significative et régulière des rendements n'a été enregistrée, et il n'y avait toujours pas de corrélation évidente entre le ratio et la quantité de bois brûlés.

Pour le cas du Fournel, il faut donc conclure que pour ouvrir une amorce de galerie de 1 x 1 m avec des ratios raisonnables, la quantité utile de bois doit être inférieure à 50 kg.

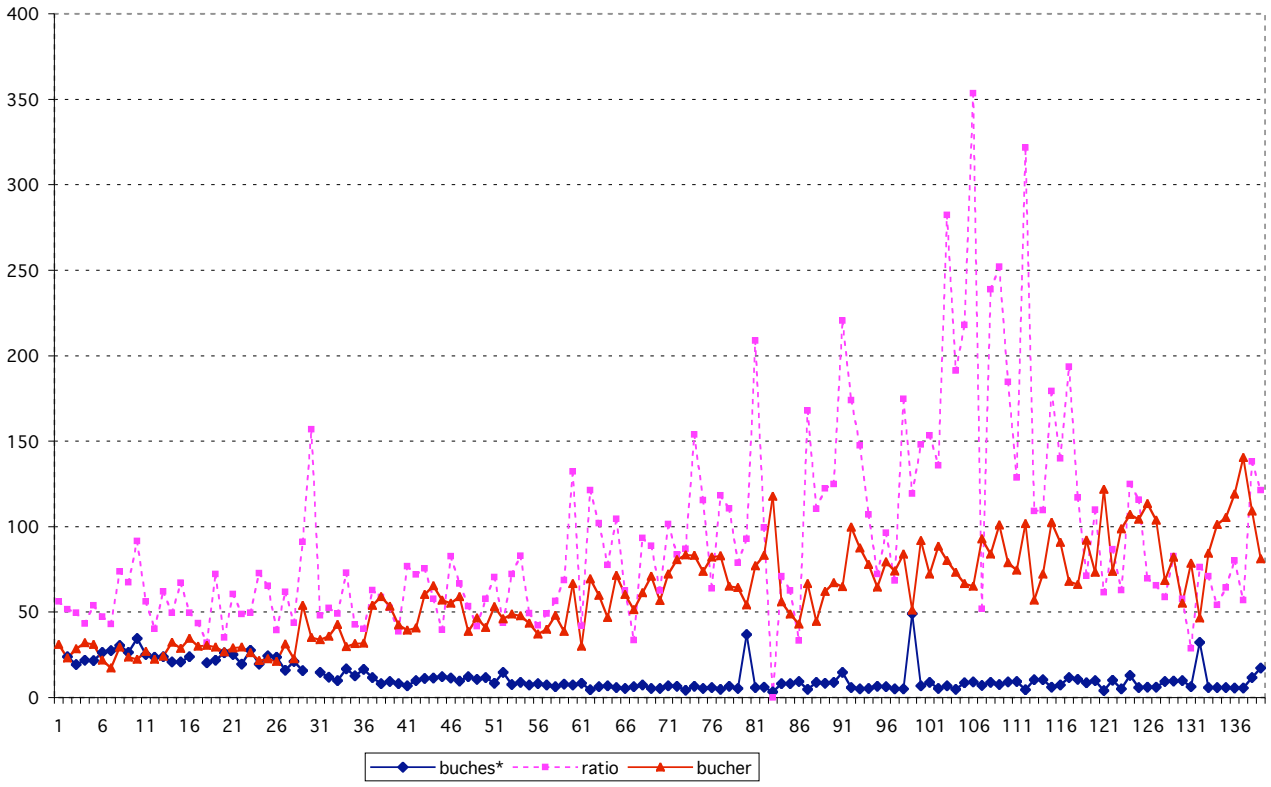


Fig. n° 140 : Comparaison des courbes des ratios (en rose), poids du bûcher (en rouge) et nombre de bûches (en bleu).

Lors de cette étape, les rendements, toujours variables, ont été significativement améliorés. Les ratios les plus importants (supérieurs à 2) ont été obtenus avec des bûchers de 65 à 100 kg (*cf.* fig. n°140, p. 1204). Parallèlement à cette constatation, il faut considérer l'évolution de la morphologie de la cavité qui a été élargie. Il faudrait donc travailler à élargir la galerie avec des bûchers de plus en plus importants pour trouver un bon ratio. Cette

hypothèse rejoint les conclusions tirées des propos de G. Agricola : plus le bûcher est gros, plus la quantité de roche abattue est importante. Mais, dans ce cas, ajoute G. Agricola, la « grande puissance du feu » attaque le toit et le mur du filon. Les gros bûchers sont donc plus rentables que les petits bûchers, mais seulement dans le cas où l'ouvrage a été préalablement élargi. Les gros bûchers sont donc adaptés pour abattre le filon en chambre, mais leur usage doit être modéré pour le percement des ouvrages d'assistance. Lorsque la taille souhaitée de la cavité percée dans la roche stérile a été atteinte (par exemple 1 x 1 m), il est inutile d'élargir la cavité avec des bûchers toujours plus importants. Au regard de la taille souvent exiguë des galeries et des puits d'aérage et d'exhaure médiévaux, les mineurs ont manifestement préféré avancer avec des rendements plus faibles par souci d'économie du combustible. Au Fournel, la quantité utile de bois pour poursuivre le percement d'une galerie en travers-banc n'excédant 1,5 x 1,5 m avec des ratios corrects a été évaluée à 70 ± 5 kg de bois.

L'analyse granulométrique des résidus montre que le facteur quantité de bois brûlés a une incidence sur les variations granulométriques et sur la quantité de roche produite lors de la purge. Ce dernier phénomène a également été constaté avec les expériences de Melle. Par contre, il n'a pas une influence directe sur les ratios.

III.4.2. Le facteur combustible

L'hygrométrie

Le facteur qui a le plus d'incidence sur la conduite d'un feu et les propriétés combustibles du bois, quelle que soit l'espèce, est le taux d'humidité. Si l'eau contenue dans le bois n'a pas été évacuée avant la combustion, l'énergie produite lors de la phase de déshydratation est utilisée pour sa vaporisation. La température ne peut pas s'élever au-delà de 100 °C tant que toute l'eau contenue dans le bois n'a pas été vaporisée. Au regard des données thermiques expérimentales, il apparaît clairement que l'utilisation d'un bois vert ou humide va accroître le temps de séchage durant la première phase de combustion et produire une montée en température de la roche plus lente et moins importante. La combustion de bois humides s'accompagne de flammes courtes et de durée éphémère ayant un impact limité sur le front de taille. Ce facteur peut donc influer significativement sur la baisse des rendements.

Les deux expériences réalisées avec du bois vert ressuyé (50 % d'humidité) (115 kg) n'ont d'ailleurs jamais pu être conduites à terme, et cela malgré l'utilisation de 3 kg de bois sec pour le foyer. Conformément aux sources écrites et à la pratique, il est évident que l'utilisation de bois vert ou très humide est exclue pour l'abattage par le feu. De plus, au Moyen-Âge, les conditions d'allumage et d'aérage pouvant s'avérer extrêmement précaires dans les ouvrages profonds, il est difficilement concevable de pouvoir conduire un feu à terme avec du bois vert ou humide. L'usage de bois vert pouvait toutefois être marginal, notamment pour réalimenter des feux déjà vigoureux conduits à ciel ouvert (départ des travaux, grattages).

La variation significative du taux d'humidité pouvant influer sur la durée de calcination, elle peut avoir un intérêt pour la conduite de feux particuliers. Par exemple, un bois légèrement humide associé à du bois sec convient pour réaliser des gros feux qui doivent « couver » longtemps. Tandis qu'un bois bien sec produit des feux très flambants accompagnés d'une montée rapide des températures, mais qui se consument plus rapidement. Il n'a malheureusement pas été possible de faire varier significativement ce paramètre dans le cadre des expériences, car nous ne disposions pas de plusieurs réserves de combustibles avec des taux d'humidité qui diffèrent de plus de 10 %.

Les bois pour lesquels le taux d'hygrométrie a été précisément mesuré présentaient un taux moyen compris entre 13 et 15 %. À ce stade, les très légères variations du taux de l'ordre de 1 à 3 % n'ont plus d'impact direct sur les variations des ratios compris entre 0,33 et 2,09 (*cf.* tabl. n°33, p. 1207). Lorsque le taux d'humidité est presque égal d'une expérience à l'autre, le calibre des bois et l'essence ont potentiellement plus d'incidence sur la conduite du feu.

Exp.	Nbr. bû.	Type bûcher	Essence	Section	Hum %	Bûcher kg	Bois brû.	Roche abat.	Ratios
67	13	A	M	49,1	15%	51,3	50,4	16,9	0,33
68	18	A	M	42,6	15%	61,2	61	56,9	0,93
69	15	A	M	57,9	15%	70,9	70,8	62,8	0,89
70	12	C	M	64,4	16%	56,8	56,2	35,2	0,63
71	20	CA	M	49,5	15%	72,2	72	73,1	1,02
72	21	CA	M	44,7	15%	80,5	80,1	66,9	0,84
73	14	T	M	73	15%	83,4	83,4	72,6	0,87
74	22	T	M	41,7	15%	83,2	83,2	127,9	1,54
75	16	CA	M	52,9	14%	73,8	73,7	85,1	1,15
76	19	C	M	53,7	15%	82,2	82	52,4	0,64
77	16	CA	M	61,8	15%	82,9	82,9	98,0	1,18
78	17	CA	P	47,6	14%	65,1	65,1	71,9	1,10
79	14	CA	P	56,4	13%	64,4	64,4	50,8	0,79
80	80	FC	P		13%	54,1	54,1	50,2	0,93
81	18	T	P	54,4	14%	77	77	160,7	2,09
82	20	CA	F	40,9	13%	83,1	83,1	82,5	0,99
83	16	CA	FV		50%	117,8	115	0,0	0,00
84	18	C	P	49,9	14%	56	55,5	39,4	0,71
85	16	C	P	49,8	14%	48,7	48,7	30,5	0,63
86	16	C	P	58,2	13%	43	43	14,3	0,33
87	13	A	P	61,7	14%	66,5	66,4	111,4	1,68
88	16	A	P	41	15%	44,6	44,6	49,2	1,10

Tabl. n°33 : Bilan des expériences (67 à 88) pour lesquels le taux d'humidité des bois a été précisément mesuré.

Le calibre

Avec un bois dense sec, il est possible de faire des feux flambants en jouant sur sa section. Plus la bûche est fine, plus les gaz de combustion s'enflamment vite et les flammes sont hautes. Les feux de fagots s'embrasent très vite et montent rapidement en température, mais leur durée de combustion est courte. À Melle, les expériences réalisées avec des fagots de branchettes ont été les plus courtes qu'avec des bûches, mais ont donné de bons ratios, et cela grâce à l'action des flammes. Le calibre a donc un impact évident sur la durée de combustion, et manifestement sur le ratio. Pour cette raison, les fagots ont été jugés plus performants que les bois de fort calibre pour la conduite de l'abattage par le feu. Or, les données archéologiques du Fournel et de Faravel montrent l'utilisation de bois de fort calibres provenant notamment du tronc et des branches charpentière de l'arbre. Toutefois, ces bois étaient refendus et calibrés sur le carreau de la mine. Pour cette raison, nous avons tenté, en faisant varier ce paramètre, de mesurer plus précisément l'impact du calibre sur les rendements, et cela pour la totalité des expériences.

Les données enregistrées lors des expérimentations menées en 2002 montrent que la section (poids/longueur) des bûches et des quartiers constitue un paramètre qui intervient significativement sur la rentabilité des feux. Les meilleurs ratios correspondent aux sections moyennes des bûches comprises entre 15 et 18. Les sections inférieures ou supérieures ont donné des résultats moins ou peu rentables. Mais, lors des expériences suivantes, des calibres plus importants ont été utilisés, augmentant significativement la moyenne des sections (26 à 57). Les bûchers constitués de bûches présentant des sections moyennes importantes, associées à des écarts-type élevés, se sont avérés très rentables (*cf.* fig. n°141, p. 1208).

La gestion de ce paramètre joue donc un rôle plus déterminant que la quantité de bois contenue dans le bûcher. Un bûcher constitué d'une grande quantité de petites sections est moins rentable qu'un bûcher de plus faible taille, mais associant des grosses sections en combinaison avec des plus petites. Ces données se corrèlent avec la durée du feu et le maintien de fortes températures. Le feu peut durer lorsque la surface de bois soumise à la flamme est importante.

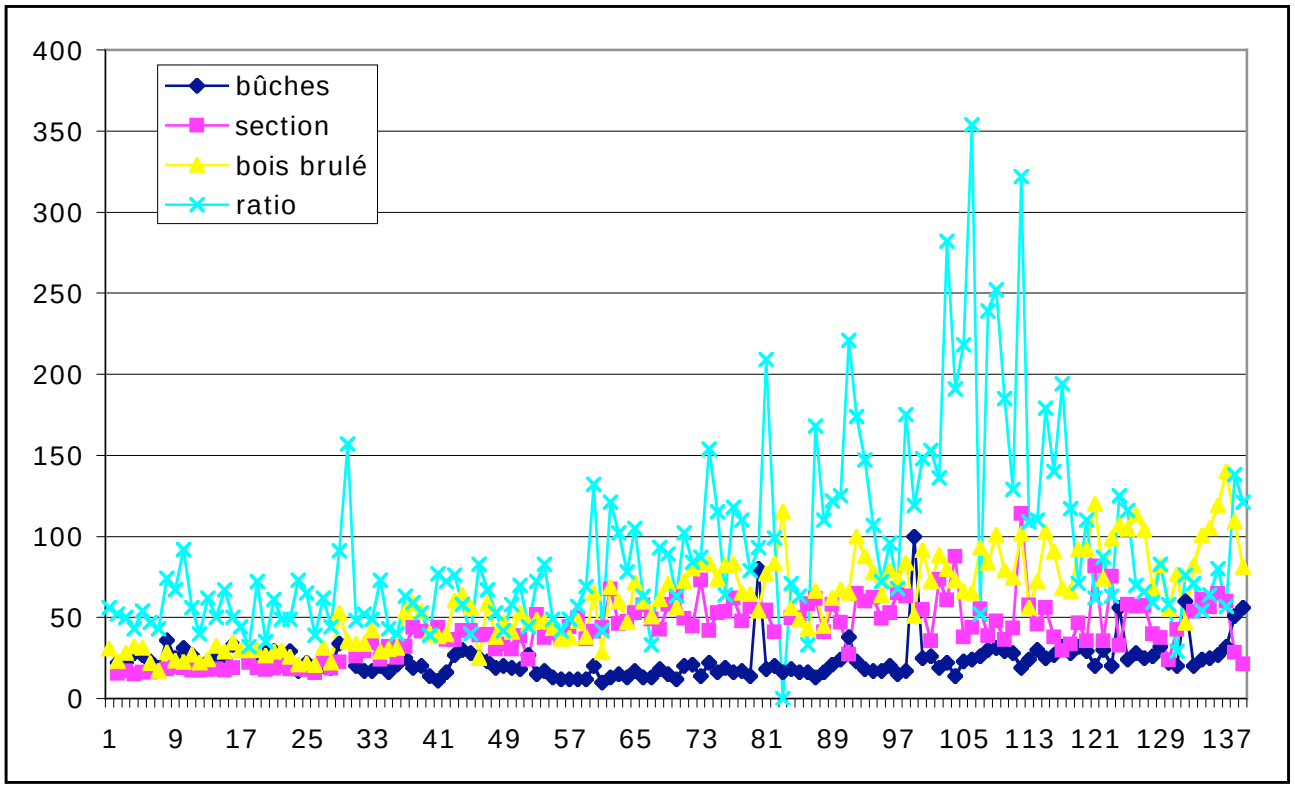


Fig. n°141 : Courbes comparatives du nombre de bûches (en bleu foncé), de la section (en rose), du bois brûlé (en jaune et des ratios (bleu ciel).

Pour obtenir un feu suffisamment long avec des températures élevées maintenues de façon continue, il est indispensable de gérer le calibre des bois qui constituent le bûcher en fonction notamment de leur rôle stratégique dans l'architecture (bois de soutien, bois d'allumage, armatures et remplissage). L'usage de bois de fort calibre combinés avec des petits calibres pour l'inflammabilité (écarts-types élevés) favorise l'efficacité de la seconde phase de l'attaque réalisée par l'action des braises (action en profondeur grâce à la montée des températures). Ce phénomène était connu par les mineurs. En effet, certaines sources révèlent l'usage combiné du charbon de bois pour attaquer la sole. Ce combustible étant plus calorifique que le bois, il permet d'atteindre de fortes températures, et de réaliser une attaque ciblée par conduction.

Le calibrage du combustible constitue donc une étape cruciale de la chaîne opératoire de l'abattage par le feu.

L'essence

À taux d'humidité et calibres égaux, il existe une variation des propriétés du combustible du bois en fonction de l'espèce. L'épicéa mis en œuvre pour les 15 premières expériences est un bois tendre et léger. Le mélèze et le pin sylvestre utilisés pour les expériences suivantes (en association ou indépendamment), ont une densité nettement supérieure. Une bûche d'épicéa flambe mieux et plus vite qu'une bûche de pin sylvestre ou de mélèze, et le pin sylvestre flambe mieux et plus vite que le mélèze. La dynamique des feux de pin sylvestre et de mélèze, observée lors des expériences, est d'ailleurs différente. Mais, il n'a pas été constaté de variations importantes et récurrentes de la production de roche par étonnement entre ces trois espèces. Les résines contenues chez ces trois espèces ont un pouvoir calorifique très élevé et engendrent une bonne inflammabilité, tandis que les éléments minéraux, appelés aussi « cendres », influent négativement sur cette propriété. En tenant compte de ces critères, le pouvoir calorifique varie finalement très peu entre ces trois espèces. Il n'y a donc pas d'impact de ce facteur sur la thermie. Les espèces choisies prioritairement par les mineurs au Fournel et à Faravel Fangeas sont toutes riches en résines. Ce composé favorise l'accroissement de l'élévation de la température du foyer au cours des premiers stades de la combustion. Il favorise la création d'un choc thermique. Cependant, ce phénomène est reproductible avec des feuillus grâce à la gestion du calibre. Le calibrage du

combustible pour l'abattage par le feu est donc potentiellement différent dans les mines situées dans d'autres zones biogéographiques. Cela pourrait expliquer, *pro parte*, l'usage de calibres plus fins à Melle.

Au regard des données expérimentales, le paramètre essence n'influe pas sur le rendement d'un feu, mais peut potentiellement jouer sur le calibrage du combustible. Les mineurs pouvaient user de faibles calibres pour faire des feux flambants (effet chalumeau sur une zone ciblée du front de taille) et du plus fort calibre pour faire des feux couvants, et cela en fonction de la contrainte technique à surmonter, comme abattre le plafond ou la sole d'une galerie. La conduite du feu est donc différente en fonction du contexte de travail.

Ces remarques conduisent à aborder le dernier point qui constitue à nos yeux un autre facteur prégnant : l'environnement, ce terme prenant en compte tous les aspects d'une aire de travail en souterrain.

III.4.3. Le facteur environnement

La roche

Caractéristique des zones de dureté maximale rencontrées par les mineurs pour percer une galerie en stérile, le contexte rocheux choisi pour les expériences donne forcément des rendements minimaux à l'échelle d'une exploitation. Depuis 1998, les expériences ont donné des ratios très variables compris entre 0,32 et 3,54, avec un ratio moyen de 0,92. À ce stade, il est possible de déduire qu'en roche très dure et non fracturée, le rendement moyen pour percer une galerie horizontale d'un gabarit maximal de 1,5 x 1,5 m serait de l'ordre de 1, alors que dans un filon fracturé, il pourrait être multiplié par 2. Pour l'abattage en chambre impliquant la mise en œuvre de bûchers bien plus importants, toujours dans des contextes de roches moyennement dures à très dures, ces moyennes doivent être sans doute évaluées à la hausse. En effet, dans des cavités élargies, il a été démontré que la taille croissante des bûchers, conjuguée à l'usage de gros calibres combinés avec des plus petits calibres pour assurer une bonne inflammabilité des bois lors de la première phase de montée en température, joue un rôle prépondérant sur l'augmentation des rendements. Mais, en l'état actuel des données, il est téméraire de donner une évaluation des ratios potentiels en contexte

d’abattage en chambre. Il pourrait passer de 1 à 1,5 (2) en contexte de roche dure, et de 2 à 2,5 (3) en contexte de roche fracturée.

D’après les expériences de Melle, les fractures situées dans le sens d’avancement des travaux faciliteraient la circulation de la chaleur et donc amélioreraient les rendements. Cette hypothèse est juste, mais elle demeure encore subjective lorsque la roche n’est pas fracturée à proprement parler. Au Fournel, le front de taille présente une zone légèrement fracturée sur le côté droit donnant un aspect grumeleux à la roche. Le suivi visuel des expériences a révélé que l’attaque se produisait différemment au niveau de cette zone. La roche ne se desquame pas avec des projections de lamelles comme dans la partie gauche qui est très massive. Elle s’effrite. Par contre, l’avancement s’opère de la même manière et les décalages sont de l’ordre du centimètre, rarement plus. La purge finit toujours par égaliser le front de taille. Bien que cet exemple ne soit pas représentatif d’une fracture affectant toute la hauteur ou la largeur du front de taille, ce paramètre peut avoir un impact limité sur le rendement global du percement d’un ouvrage dans une roche saine.

L’aérage

L’incidence d’une moins bonne aération sur le rendement des bûchers n’a pas pu être évaluée. L’expérience 29 révèle néanmoins qu’il suffit d’un faible courant d’air pour qu’un bûcher, même de grande taille, se consume. Par contre la durée de la combustion s’allonge et par conséquent celle du temps de refroidissement aussi. Lorsque la salle expérimentale a été envahie par la fumée suite à la suite d’un courant d’air déficient, nous n’avons jamais relevé d’incidence sur les rendements. Il est donc possible de conduire des feux d’abattage avec succès dans des conditions d’aérage limitées, mais le temps de reprise du travail est allongé et il est impossible d’occuper ou de travailler dans la mine avant la parfaite évacuation des fumées et des vapeurs toxiques. Il faut donc réviser les propositions de temps de travail en souterrain, émises par l’équipe de Cl. Dubois au Goutil-L’Argentario, et se fier à la documentation écrite. En contexte souterrain avec des possibilités d’aérage relativement réduites, en comparaison avec les conditions expérimentales, il paraît plus raisonnable de travailler au rythme d’un feu (sur un ou plusieurs fronts de taille à la fois) par jour, allumé après la journée de travail, de façon à ce que les fumées aient toute la nuit pour s'évacuer. Par contre, à l'air libre, le rythme des feux peut être plus soutenu et il est possible de travailler en

continu (jour et nuit). L'avancement des départs d'exploitation peut théoriquement être deux à trois fois plus rapides qu'en souterrain. Indépendamment des autres problèmes liés à l'enfoncement d'une exploitation, l'usage de l'abattage par le feu peut considérablement ralentir le développement de l'exploitation dans le temps.

La saison

La circulation de l'air dans la mine est conditionnée *pro parte* par la saison. Lorsque la température dans la mine devient plus froide que celle de l'extérieur, c'est-à-dire principalement de la fin du printemps jusqu'à l'automne au Fournel, et en été à Faravel-Fangeas, les fumées ne s'évacuent plus efficacement par convection. Dans les ouvrages souterrains profonds, il faut donc améliorer le système d'aérage par des appels d'air. Parallèlement à ces précautions, la saison estivale peut nécessiter une gestion plus stricte du temps de travail. Si les bûchers se consument, en fin d'après-midi, après la journée de travail, la nuit, toujours plus fraîche, est le moment idéal pour l'évacuation des fumées. Ce facteur n'a donc pas d'incidence sur les rendements, par contre il peut engendrer des changements dans la gestion de l'aérage et du temps de travail.

La saison peut avoir une conséquence indirecte sur les ratios parce qu'elle modèle le taux d'hygrométrie des bois stockés à l'air libre. Mais, il paraît plus juste de supposer une adaptation du mode de stockage en fonction des saisons avec une préparation de réserves de bois sous couvert pour la période hivernale, de façon à réduire l'augmentation inévitable de leur taux d'humidité.

III.5. SYNTHÈSE : LE MODE OPÉRATOIRE DE L'ABATTAGE PAR LE FEU ET SES CONSÉQUENCES SUR L'ORGANISATION DU TRAVAIL ET L'ENVIRONNEMENT

III.5.1. De la forêt au carreau de la mine

La saison d'abattage du combustible n'a pas pu être déterminée. Les coupes concernent l'ensemble des bois disponibles dans l'aire d'approvisionnement, avec néanmoins une nette sélection des bois matures. La gestion agrosylvopastorale du mélézin sur pré-bois, concomitante à l'exploitation forestière, indique que les coupes n'étaient pas toujours réalisées à blanc. Le bois de tronc, les branches charpentières, y compris des basses branches non rectilignes, et les ramifications sont exploités.Une réserve des plus beaux bois rectilignes pour la construction est envisageable. Si l'approvisionnement en bois relevait de paysans employés par les mineurs, l'abattage des arbres pouvait se dérouler en grande partie aux moments de moindres activités du calendrier agricole, c'est-à-dire durant la période hivernale. À Fangeas-Faravel, les bois utilisés pour l'étayage et le confortement des travaux était principalement abattu en hiver. Il pouvait en être de même pour le combustible. Bien que cela nous paraisse peu concevable à l'heure actuelle, le couvert neigeux ne constituait pas un véritable handicap. Il pouvait même faciliter la vidange des coupes dans les couloirs de débardage. Le transport des grumes tronçonnées ou non se faisait du haut vers le bas des versants. Le bois pouvait circuler sur plusieurs centaines de mètres de dénivelés et plusieurs kilomètres de distance. Le recours au flottage n'est pas totalement exclu quand les torrents sont en crue.

Le bois de feu sectionné en tronçons et grossièrement refendu était stocké en forêt et/ou sur à proximité de la mine pendant au moins deux ans à l'air libre (séchage pendant deux étés consécutifs). Cette durée, fondée sur la présence et l'occurrence des champignons saprophages, pouvait varier d'un an à plus de deux ans suivant les conditions de stockage. Le séchage pouvait être optimisé en stockant sous un abri exposé au sud des bûches refendues et

écorcées. Le combustible engrangé pour la saison hivernale était probablement stocké sous couvert pour éviter de trop grandes fluctuations du taux d'humidité. L'utilisation de bois vert ou de bois très humide (stocké trop longtemps dans la mine par exemple) a pu avoir lieu, mais de façon accidentelle et limitée à quelques bûches ou branchettes.

La production industrielle de bois de chauffe a pu s'accompagner, à certains moments, d'une récolte de l'écorce revendue aux tanneurs. Mais cette hypothèse est encore très fébrile. Par contre, il est évident que cette reconstitution du mode opératoire du combustible est simplifiée. D'autres maillons ont pu s'y greffer pour optimiser la gestion de la forêt et la production de ses produits dérivés.

Au Fournel, la présence d'essences arbustives montagnardes ou de la ripisilve, dans des proportions infimes, indique une récolte subsidiaire de branchettes (bois mort ou vert) pour constituer du bois d'allumage, principalement composé de petits bois de refend calibrés à Faravel-Fangeas. Les expériences ont démontré la présence de résidus du combustible d'allumage dans les foyers d'abattage. Il constitue une part infime des charbons résiduels. Leurs proportions sont légèrement supérieures à celles des feuillus caractérisés dans certains réseaux (0,7 % du combustible total).

Le combustible stocké à proximité du carreau de la mine était refendu et calibré avant son transport sous terre. L'exiguïté des ouvrages et la pénombre souterraine justifient la réalisation de ce travail en surface. Il incombe aux mineurs chargés de la préparation des bûchers. Ce dernier, en fonction de l'allure du front de taille, devait anticiper ses besoins (quantité de bois, calibre). Des aires de préparations du combustible sont attestées par les nombreux déchets de refends découverts dans la halde de la Grande Fosse de Faravel I, dans le comblement de la Grande Fosse de Fangeas et sur le carreau du travers-bancs de Saint-Roch au Fournel. Il fallait préparer des bûches de fort calibre pour l'armature du bûcher et des bois plus fins pour assurer son inflammabilité. Une étape de segmentation pouvait être nécessaire pour le percement des galeries et des foncées de faible envergure ne dépassant rarement 1 m de hauteur ou de diamètre. Pour l'abattage en chambre, des bois plus longs pouvaient convenir, mais ils ne devaient que rarement dépasser 1 ou 1,50 de longueur, l'épaisseur de la bande massive étant comprise entre 0,20 et 1,50 m

III.5.2. Du carreau minier au front de taille

Temps de travail

L'ensemble des données suggère une organisation rigoureuse du temps de travail dans les ouvrages profonds reliés à la surface par des puits et des conduits étroits. Elle est dictée par l'évacuation des fumées. L'exiguïté des travaux et les conditions limitées d'aérage interdisaient aux mineurs toute intervention sur les bûchers d'abattage, sauf pour les travaux à ciel ouvert. Leur allumage après la journée de travail paraît l'hypothèse la plus probable, les fumées pouvant s'évacuer durant toute la nuit. Une variation saisonnière de l'heure d'allumage est plausible. Encore fébrile, cette hypothèse peut être en partie appuyée par les règlements miniers de Schladming et du Leberthal. Ils organisent le temps de travail de l'abattage par le feu en fonction des saisons. De l'automne au printemps, les feux doivent être allumés à la tombée du jour, et du printemps à l'automne suivant, les feux doivent être allumés à la place du poste de droit. Pendant la période froide, le temps de combustion des bûchers et d'évacuation des fumées est raccourci. On peut en déduire, toujours avec beaucoup de réserve, que cette réglementation est conditionnée par l'aérage, facilité en hiver, et donc impliquant un temps d'évacuation des fumées moins long qu'en été. Le temps de préparation des bûchers se déroulerait après le temps de travail normal des mineurs occupés à la purge, au nettoyage et au tri, à l'évacuation et au stockage des matériaux. Cette durée s'allonge au fur et à mesure que les travaux s'enfoncent, comme celle de l'évacuation des matériaux. Dans l'attente de connexion d'un chantier profond avec un puits d'aérage, les fumées peuvent stagner et encore ralentir les travaux. Le phasage chronologique du Fournel appuie cette hypothèse. Des ralentissements sont perceptibles au XIIe siècle.

La journée de travail à proprement parler est consacrée au de traitement des produits de l'abattage. Au Fournel, les coquilles de noix vides découvertes au sein des remblais du réseau inférieur de Saint-Roch sont peut-être les restes d'une collation. Cette découverte originale pose la question de la durée de présence sous terre des travailleurs à l'Argentière. Est-ce l'équipe travaillant sur les fronts de taille (abattage, purge, tri, confection des bûchers) faisait un seul aller-retour par jour et restait donc au fond de la mine pendant les pauses, abandonnant dans les déblais quelques restes ? Les textes donnent quelques informations,

mais il est impossible de les généraliser. À Massa Marittima à la fin du XIIIe siècle, une présence en continu des travailleurs dans les fosses était exigée. À Sainte-Marie-aux-Mines en Alsace, au tout début du XVIIe siècle, malgré un temps journalier de travail discontinu – six à dix heures et douze à seize heures – les mineurs restaient sous terre pendant leur pause, soit en tout dix heures sur leur poste de travail (Braunstein 1990, pp. 335-336).

Transport du bois

La découverte dans les remblais de nombreux fragments de cordage et de toiles grossières en chanvre suggère l'utilisation de sacs portés à dos d'homme et/ou traînés au sol ou contre les cuvelages des puits pour le portage. Les bois acheminés jusqu'aux fronts de taille suivait certainement le même circuit que les sacs ou autres contenants de minerai. Dans l'iconographie de la Renaissance et moderne, les bois sont généralement représentés dressés dans les bûchers, mais exceptionnellement lors du portage. Il pouvait être réalisé dans des sacs en toile, dans des traîneaux, ou directement à dos d'homme (*cf.* fig. n°142, p. 1216).

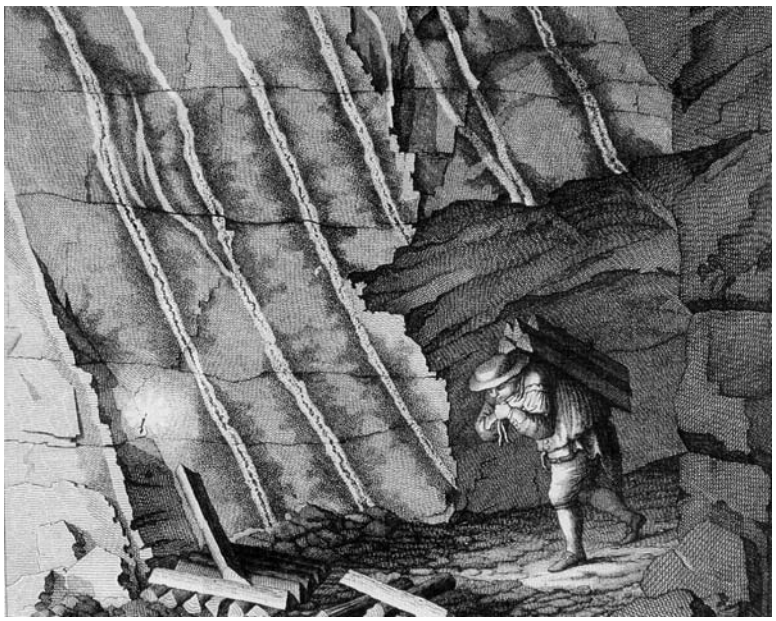


Fig. n°142 : Fagot de grosses bûches liées entre elles par des cordes et acheminées à dos d'homme vers un front de taille où un bûcher d'abattage de type tour est en cours de préparation d'après J.-F.W. Charpentier (1778).

Les mineurs qui étaient chargés d'évacuer le minerai vers l'extérieur pouvaient faire le circuit inverse, chargés de bois, de façon à optimiser leurs trajets sous terre. Les bois assemblés en grands fagots grossièrement calibrés, pouvaient encore être charroyés avec des cordages.

Le mode de transport était certainement adapté aux conditions de cheminement qui étaient plus ou moins aisées suivant les réseaux et la profondeur du front de taille à desservir.

La nécessité d'utiliser du bois bien sec exclut le stockage de réserve de combustible sous terre. Le bois devait être acheminé dans les travaux dans le courant ou en fin de journée et rapidement dressés en bûchers.

L'abattage

Au Fournel, la technique employée dépend de la dureté de la roche. Dans les zones de faille, des traces de pointerolles sont conservées. Lorsque la roche est très fracturée, comme au contact des schistes noirs, l'abattage a sans doute été manuel, mais ses traces ne sont pas visibles. L'abattage par le feu a été évité dès que cela s'avérait possible. Mais, le secteur de l'Argentière-Freissinières étant dominé par des formations géologiques très dures, il prédomine. Les zones de faiblesse dans la roche sont d'abord attaquées à la pointerolle sous la forme d'une entaille qui est ensuite élargie au moyen du feu. Cette technique mixte explique la forme pincée des fronts de taille de certains chantiers.

Contrairement aux mines vosgiennes de la Renaissance où ils sont très abondants (Ancel, Fluck 1988, pp. 79-83), les vestiges de l'outillage en fer sont rares. Le recours massif à l'abattage par le feu pourrait justifier cet état de fait[360]. Mais, une phase de purge manuelle lui succède toujours pour la préparation du front de taille suivant. Une sorte de fourche en fer découverte au Gorgeât pourrait correspondre à un outil de purge (Ancel *et al.* sous presse). La rareté des outils en fer contribuerait à nourrir l'hypothèse de leur cherté, voire de leur rareté entre les IXe et XIIIe siècles. Mais, elle n'est pas satisfaisante. Le fer est produit dans tout l'arc alpin au moins depuis l'an mil (Braunstein 2003, pp. 175-177 ; Pesez 1998, p. 13). Les exemples d'outils en fer de bonne qualité retrouvés dans les sites archéologiques se diversifient. Il faut donc trouver une alternative. Les mineurs de l'Argentière et Freissinières, comme ceux de Brandes ou de Melle à l'époque carolingienne, n'étaient probablement pas sous-équipés (Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994 ; Téreygeol 2001, I, p. 238). Contrairement aux mineurs germaniques de la Renaissance qui ont excellé dans la taille de la roche manuelle et consommaient des quantités industrielles de pointerolles, les mineurs de l'Argentière, utilisaient surtout le feu, et cela dès que la roche était trop dure pour qu'un abattage par

[360] Un morceau de pointerolle a été découvert tout récemment dans le chantier de Combe Blanche. Cette donnée est totalement inédite. Elle va dans le sens de notre démonstration (B. Ancel, communication orale).

percussion posée soit rentable. Leur art était dans la maîtrise de cette technique si particulière, associée ou non à la percussion posée. Certes, ils ont eu recours à des outils en fer, mais ils n'étaient pas autant sollicités. Leur usage était moins systématique, moins intense. Les mineurs, à quelques exceptions près, ont toujours pu récupérer leur matériel auquel ils accordaient soin et attention, comme le ferait tout bon artisan. Enfin, les outils usés ou abîmés ont pu être recyclés (Pesez *et al.* 1998, p. 433 ; 1998, pp. 104-105).

La quantité de bois utilisée pour percer les galeries et les foncées obliques ou verticales dont la largeur ou le diamètre ne dépassent pas 1,50 m, ne devait pas excéder 70 kg (± 10 kg). La technique adossée devait prédominer pour ouvrir les entailles et faire avancer le front de taille. L'usage de bûchers tours est probable pour l'élargissement de certaines cavités (galeries de circulations). L'attaque de la sole devait se réaliser avec des bûchers couchés (horizontaux). Le recours au charbon de bois pour rectifier la pente d'un ouvrage horizontal ou pour percer un ouvrage vertical ou oblique depuis le haut est envisageable, mais il n'est pas attesté de manière fiable par les résidus carbonisé. La taille des ouvrages d'assistance ouverts par le feu indique que les mineurs ont préféré travailler lentement plutôt que d'avancer deux fois plus vite en élargissant la cavité et en consommant deux à trois fois plus de combustible. Dans les chantiers, l'association des deux techniques, alternativement ou de manière concomitante, est probable. Plusieurs bûchers d'abattage pouvaient être aménagés simultanément en avant des fronts de taille.

Pour l'heure, il est impossible de mesurer précisément le rythme d'avancement des mineurs, très variable suivant les contextes rocheux, le type d'ouvrage et la profondeur des travaux. On peut juste constater la lenteur du procédé pour le percement des ouvrages d'assistance étroits, puisque la technique est plus rentable dans les cavités élargies, ce qui peut expliquer le ralentissement ou la suspension des travaux à certains moments. Le rendement global de l'exploitation année après année (quantité de bois consommée et volume de roche abattu) ne peut pas être évalué, ni même modélisé, trop de variables pas toujours maîtrisées entrent en jeu.

III.5.3. Du front de taille au traitement des matériaux

Purge et tri

Avant l'étape de stockage, les matériaux produits lors des abattages subissent des transformations. Les tas de remblais bien stratifiés avec une alternance nette de faciès rubéfiés et salis et de faciès clairs et vierges sont issus d'un front de taille proche. La roche tombée pendant un feu d'abattage est triée avant l'étape de purge dont les résidus, vierges de pollution liée au feu, sont plus faciles à trier. Les foyers étaient donc soigneusement nettoyés suivant un protocole récurrent. L'absence de très gros fragments de charbons de bois (plusieurs centimètres de côté) suggère leur ramassage et leur réemploi dans le feu suivant, pour l'abattage de la sole ou pour d'autres activités. Pour étayer cette hypothèse, il faudrait pouvoir étudier les résidus de combustible de toute la chaîne opératoire métallurgique et les comparer avec ceux de l'abattage par le feu. Il faut aussi considérer que les manipulations des résidus pour leur tri et le stockage conduit à une fragmentation importante des charbons.

Au Fournel, l'absence d'élément grossier dans une succession stratigraphique pourrait indiquer, avant l'évacuation ou le stockage, une étape de tri et/ou de concassage précédant peut-être une dernière étape de tri réalisée en retrait du front de taille ou sur le carreau de la mine. L'étude comparée des résidus archéologiques et expérimentaux confirme cette hypothèse. Les variations granulométriques sont liées d'une part à un mode opératoire plus complexe, et d'autres part à des pratiques minéralurgiques conduites en mine. Il faut ajouter à cela la grande variabilité de dureté de la roche au sein d'une même mine qui constitue sans doute un facteur entraînant une variation importante de la nature des matériaux.

À Melle, une phase de concassage souterraine est attestée par des aires de travail circulaires et la découverte de tables de broyage similaires à celles qui ont été trouvées en fouille dans une laverie (Téreygeol 2001, I, pp. 181). Le tri et le concassage étaient effectués en retrait du front de taille, soit à l'intérieur du chantier d'abattage, soit dans une salle immédiatement voisine. Ils conduisent à la production de déchets grossiers (1 à 5 cm) séparés des éléments fins. Au Fournel, les déblais contenus dans la coupe nord du Chantier Double, dont 50 % des matériaux sont compris entre 2 mm et 1 cm, seraient les résidus calibrés d'un

tri dont la fraction grossière aurait été récupérée ou entreposée plus loin (coupe sud ?), ou les résidus calibrés d'un concassage.

La richesse en galène de certains dépôts laisse entrevoir une faille dans le mode opératoire. Les fréquences les plus importantes étant généralement présentes dans les fractions fines, ces dernières étaient, soit abandonnées volontairement sur place par les mineurs puisqu'elles pouvaient compliquer et ralentir l'étape de tri sur le front de taille, soit abandonnées involontairement puisqu'elles étaient difficilement différentiables des cendres et des poussières de roche. Cette dernière hypothèse est en partie validée par la faiblesse des fréquences de la galène dans les faciès vierges plus aisés à trier. F. Téreygeol avait déjà suggéré la difficulté du triage des foyers d'abattage sur le front de taille. Pour cette raison, il a supposé, sans s'appuyer sur des données sédimentologiques ou stratigraphiques fiables, que les résidus des foyers d'abattage devaient subir un lavage préalable et devaient pour cela être transportés vers l'extérieur dans des zones aménagées à cette fin. Ainsi, à Melle, la majeure partie de produits de l'abattage aurait quitté le souterrain (Téreygeol 2001, I, pp. 180-181). Ce mode opératoire qui demeure à l'état d'hypothèse est envisageable pour la partie des fractions fines recueillies sur les fronts de taille, mais les fractions triables à la main, même salies par les stigmates du feu, pouvaient être traitées *in situ*.

Toujours à Melle, l'étude sédimentologique, réalisée sur des matériaux prélevés dans des zones riches en sables et en matériaux fins, a mis en évidence des couches de sables à granulométrie hétérogène alternant avec des éléments fins plus homogènes. Ils ont été interprétés comme le résultat d'une opération de criblage destinée à récupérer les grains ayant une taille supérieure à 5 mm. Les matériaux mieux classés présentent des taux de galène supérieurs à ceux des matériaux hétérogènes compris entre 1 et 7,5 % (Téreygeol 2001, I, p. 231). De façon générale, la faiblesse des taux de galène de ces résidus provenant de l'abattage d'une zone minéralisée riche a été considérée comme le témoignage indirect d'une phase d'enrichissement, ces sables pouvant être les résidus d'un criblage. Une telle étape n'a pas été reconnue de façon fiable dans les résidus étudiés au Fournel. Les variations des taux de galène sont plutôt interprétées comme une conséquence des modifications des contextes rocheux et minéralisés. De plus, il faut tenir compte de la variabilité des résultats au sein d'un même site. Seule la multiplication des analyses sédimentologiques à l'échelle d'un réseau peut valider ou non ces hypothèses.

La mise en évidence d'une première étape de préparation minéralurgique dans la mine, précédant le concassage réalisé directement sur le carreau, soulève le problème de l'éclairage

qui était fondamental dans les cavités coupées du jour. Il fallait pouvoir disposer d'assez de luminosité sur les fronts de taille pour différencier aisément le minerai et l'encaissant de la gangue. Au Fournel comme à Fangeas-Faravel, les mineurs ont choisi d'utiliser des torches en bois. Les baguettes devaient se consumer rapidement. Il fallait donc en transporter avec soi une quantité suffisante. La lumière produite par ce genre de torche est comparable à la lumière obtenue avec les lampes à acétylène. L'éclairage est pluridirectionnel et puissant (si le bois utilisé est bien sec et suffisamment inflammable). Il procure une bonne lumière d'ambiance. Par contre, il n'est pas directionnel, ce qui peut expliquer la difficulté du tri sur les fronts de taille. La réaction étant exothermique, les torches dégagent de la chaleur. Cela peut être un inconvénient lorsque le mineur travaille à proximité des fronts de taille exploités par le feu.

Dans les zones minéralisées riches en galène, l'étape de tri sur le front de taille était fondamentale puisqu'elle diminuait considérablement la masse de matériaux stériles à évacuer vers la surface, sachant qu'il y avait déjà des quantités importantes de minerai à transporter en priorité. Il n'est pas exclu qu'elle ait été accompagnée d'une première phase de concassage rudimentaire, réalisé en entrechoquant les fragments grossiers entre eux, mais les données sédimentologiques ne l'attestent pas avec sûreté. Jusqu'à présent, aucun percuteur caractéristique n'a pu être retrouvé en souterrain. Malgré tout, cette opération est très probable car elle pouvait encore réduire considérablement la quantité de résidus stériles à évacuer. De cette manière, une grande partie, voire tous les résidus issus de l'extraction sur une zone minéralisée coupée du jour ou profonde, étaient potentiellement stockés à l'intérieur de la mine.

D'un point de vue stratigraphique et sédimentologique, le remblaiement d'un même chantier peut se constituer de tas différents. Ils sont les témoins de différents stades d'amoncellement de déblais liés à des étapes d'avancement des front de taille. Dans le cas du Chantier Double (Saint-Roch), ils indiqueraient plutôt l'emplacement d'aires de travail à vocations distinctes. Plusieurs ouvriers affectés à un type de tâche, abattage, préparation des bûchers, tri des matériaux, pouvaient travailler simultanément dans ces espaces relativement spacieux. Si la plupart des déblais étaient stockés dans la mine, à quoi peuvent bien correspondre les déchets amoncelés dans l'imposante halde qui occupe les glacis de Saint-Roch, de la Rouille et de la Pinée ? Théoriquement, ils peuvent provenir d'au moins quatre sources différentes : l'extraction à ciel ouvert, dont nous ne possédons qu'une image partielle, le percement des ouvrages de recherche et des travers-bancs ouverts depuis les affleurements,

l'extraction dans les chantiers d'exploitation, et la préparation mécanique réalisée à proximité des entrées. Les sondages ont mis en évidence des successions stratigraphiques variées où l'on retrouve l'alternance de faciès salis et rubéfiés avec des faciès clairs et vierges. Une étude sédimentologique comparative de ces résidus est programmée. Dans l'immédiat, nous ne disposons d'aucun élément fiable établissant un lien direct entre la stratigraphie des haldes et celle des remblais souterrains.

Circulation, stockage et évacuation des matériaux

Les mineurs sont parvenus à combler au fur et à mesure les cavités qu'ils étaient en train de creuser tout en économisant au maximum leur effort de déplacement. À Melle, l'utilisation massive de l'abattage par le feu associé à la percussion posée autorise des comparaisons avec le Fournel, même si le contexte rocheux, minéralogique et gîtologique est différent. Les observations stratigraphiques et les données granulométriques et sédimentologiques amènent parfois à des interprétations divergentes pouvant être attribuées au contexte plus qu'à d'importantes variations du mode opératoire.

Les stations de remblaiement qui ont été étudiées au Fournel reflètent un mode de stockage calculé, élaboré et adapté à l'activité d'abattage. Dans les exploitations montantes, les déblais sont soigneusement aménagés de façon à former des estrades de surélévation pour attaquer les fronts de taille en hauteur. Dans ces cas, les résidus situés à la base des amoncellements sont plus anciens que ceux qui ont été stockés dans la partie supérieure. Des sols de circulation intermédiaires ont pu être mis en évidence de façon très nette au sein des remblais (Chantier Reculé des Vieux Travaux) ou à leur surface comme dans la première partie de la coupe nord du Chantier Double : une passerelle de remblais conduit au front de taille supérieur. Ces espaces de travail et de cheminement aménagés dans les remblais ont été reconnus à Banca (Ancel *et al.* 2001, p. 188) et à Melle (Téreygeol 2001, I, pp. 184-186). Toujours à Melle, une coupe stratigraphique dressée dans une zone remblayée a révélé un « compartimentage » de l'espace pour le stockage, réalisé en plusieurs étapes grâce à la construction de murets. Les salles remblayées paraissent réservées à cet usage (Téreygeol 2001, I, p. 193). Cette interprétation suppose que les déblais stockés dans une salle proviennent de l'exploitation d'une autre. Ce mode opératoire entraîne des déplacements des matériaux abattus, depuis le front de taille jusqu'à une salle voisine.

Au Fournel, il existait apparemment un lien presque organique entre le mode de stockage des déblais et l'avancée des fronts de taille, menés de pair et en parfaite cohésion. La gestion des stériles dans la mine n'était donc pas uniquement liée aux problèmes de circulation et au travail laborieux du traînage et du portage, mais aussi à l'organisation de l'espace souterrain pour l'abattage. Elle présentait encore un autre avantage : le *confortement des salles spacieuses. Les remblais étaient parfois entreposés contre les rares piliers de roche ou de minerai laissés volontairement en place par les mineurs.

À l'inverse, dans le cas d'une exploitation descendante, le stockage des déblais dans les cavités ajourées était théoriquement plus périlleux. Au départ de l'exploitation, ils pouvaient en partie être entassés sur les gradins d'abattage renversés et évacués vers l'extérieur. Dans ce cas, ils sont les témoins d'une étape d'approfondissement des chantiers. L'élargissement et le creusement des chantiers verticaux ou subverticaux conduisaient nécessairement à des remaniements des remblais et à la construction de planchers de stockage aériens proches de celui de Faravel-Fangeas. Les amas de remblais peu ou pas stratifiés avec une signature granulométrique hétérogène peuvent provenir en partie de la rupture de ces planchers. Seule la présence de rares encoches de poutre taillées dans la roche atteste leur présence qui demeure discrète, la majeure partie des chantiers étant remblayée.

III.5.4. Impact environnemental et sur la santé des mineurs

Consommation ligneuse et la question du déboisement

En se basant sur nos expérimentations, on peut estimer une consommation de 100 à 200000 stères de bois sec, répartie sur 300 ans, pour excaver un volume total de 22000 m^3 (évaluation du volume excavé au Fournel). Le mélézin qui occupe aujourd'hui en Embrunais une superficie de 10614 ha produit 23550 stères par an (source IFN 1997). Il faudrait donc exploiter la totalité de cette surface pendant cinq à dix ans pour excaver un volume de 22000 m^3. Ou encore, pour produire 333 à 666 stères de bois par an, et finir par excaver 22000 m^3 de roche en 300 ans, il faudrait exploiter chaque année une superficie de futaie de

150 à 300 ha, soit 2,25 à 4,5 % de la superficie totale de la commune actuelle de l'Argentière-La Bessée (6455 ha). En 1869, avant le reboisement, la contenance de la forêt communale (Mélèze, pins et Sapins) de l'Argentière soumise au régime forestier était évaluée à 1438 ha, soit 22 % de la superficie totale de la commune (source : enquête agricole de l'administration des forêts en 1869).

Si on rapporte ces statistiques à la consommation de bois annuelle hypothétique des mineurs de l'Argentière, elle s'avère sans surprise très importante, mais ne dépasse pas les capacités de production ligneuse du territoire de la commune au milieu du XIXe siècle (environ 3000 stères par an) qui étaient *a priori* moindres, ou plutôt différentes de celles de la forêt médiévale. Ces évaluations sont évidemment à considérer avec beaucoup de précautions car nous ne maîtrisons pas de nombreux paramètres, et notamment les rendements de l'exploitation année après année, qui sont sûrement très variables, ni même la superficie des massifs forestiers et leur capacité de production au Moyen Âge, bien que nous puissions nous en faire une idée grâce à l'approche anthracologique.

Dès lors, les mines d'argent ont-elles conduit au déboisement des forêts de la Haute-Durance ? Oui et non. Au Fournel, les données anthracologiques de l'abattage par le feu révèlent une gestion raisonnée des boisements de haute futaie (prés boisés et mélézins sur pré-bois) pendant la durée nécessaire à leur régénération. Dans des quartiers spécialisés situés dans les étages montagnard supérieur et subalpin inférieur, les durées de la révolution étaient probablement plus courtes qu'au XIXe siècle (150 ans) pour satisfaire les besoins en combustible industriel (50 à 100 ans en limite supérieure de la forêt). Cette hypothèse suggère une entente avec les communautés agropastorales, l'élaboration d'un calendrier précis des temps d'exploitations, et un déplacement organisé des zones d'approvisionnement, du haut vers la mi-hauteur des versants et de l'ubac vers l'adret.

L'industrie minière, ou plus particulièrement l'abattage par le feu, ajoute donc une pression supplémentaire sur la forêt, déjà largement ouverte et morcelée au XIe siècle, mais elle n'est pas à l'origine des déboisements qui sont partout patents à cette période dans les Alpes du Sud. Aux XIe-XIIe siècles, leur apogée enregistré dans les diagrammes polliniques de la Haute-Durance et du Haut-Champsaur, coïncide avec la mise en place du paysage agrosylvopastorale. La réduction du couvert forestier va de pair avec l'installation de communautés sédentaires, mais répond aussi à des facteurs environnementaux cléments. Les forêts de plus en plus morcelées, se régénèrent de façon intermittente, permettant au Pin cembro de se maintenir à de hautes altitudes jusqu'au XIIIe siècle à Fangeas-Faravel, et cela

malgré la présence de la mine. Le Mélèze est encore présent à 2200 m d'altitude sous forme de boisements assez denses, mais très morcelés au XVe siècle.

L'exploitation de la forêt pour la mine a donc été adaptée à la dynamique forestière, à son étagement, à sa mouvance dictée par l'agropastoralisme et de façon plus large par les modes de gestion de ressources de la haute montagne par les communautés médiévales. Elle participe au même titre que les autres activités à la mise en valeur des ressources de la montagne, tout en contribuant, à l'échelle du Moyen Âge centrale, à la réduction du couvert forestier. Il faut ajouter à la production de combustible d'abattage, la production de charbon de bois pour la métallurgie. Nous ne disposons pas de données précises à ce sujet pour notre fenêtre d'étude. Les quelques données acquises dans le Bois du Simon de l'Aigle (vallon du Fournel) vont dans le sens de l'hypothèse d'une gestion communautaire de la forêt sous forme de quartiers spécialisés, mais pas spécifiques.

Pollution au plomb

L'exploitation des mines du Fournel et de Freissinières a généré une pollution des sols et de l'eau. Elle est perçue grâce aux rapports isotopiques du plomb qui ont été mesurés dans les sédiments du bas-marais de Fangeas et du lac de la Roche de Rame (Véron *et al.* 2008). L'intoxication en plomb due à l'extraction et aux activités métallurgiques est difficilement mise en évidence par l'anthropologie funéraire[361]. Elle est pressentie à travers la forte mortalité infantile et la récurrence des perturbations du développement chez l'enfant sur le site de Brandes-en-Oisans (Bailly-Maître 2002, p. 168). Les analyses chimiques réalisées sur les os n'ont pas été concluantes car elles sont perturbées par les contaminations *post-mortem* liées aux fortes teneurs en métaux des sols (Bailly-Maître *et al.* 1996 ; Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994, pp. 150-151). Actuellement, dans la Haute Durance, les seuls squelettes datés du Moyen Âge ont été retrouvés lors des fouilles de la chapelle Saint-Jean à l'Argentière et aucune analyse chimique des ossements n'a encore été réalisée (Tzortzis 1999). Les études anthropologiques révèlent une surreprésentation des immatures et des fœtus. Mais elle n'a pas

[361] À l'heure actuelle, les études anthropologiques réalisées sur des squelettes d'une population de mineurs sont extrêmement limitées. Seuls les sites miniers de Brandes en Oisans et de San Silvestro en Toscane ont livré du matériel osseux dont l'analyse fait connaître les enthésopathies et pathologies des mineurs aux XIIe-XIVe siècles (Bailly-Maître 2002, p. 167).

été mise en corrélation avec la pollution au plomb générée par l'exploitation minière. Elle serait plutôt liée à des pratiques funéraires (cimetière des anges).

Mineurs silicosés ?

La silicose est une maladie pulmonaire (pneumoconiose) incurable, provoquée par l'inhalation chronique de poussières minérales renfermant de la silice cristalline libre (dioxyde de silicium). Elle est irréversible et continue à progresser même lorsque l'exposition aux poussières cesse. Elle entraîne des affections comme la fibrose pulmonaire et l'emphysème créant une insuffisance respiratoire pouvant conduire à la mort. La gravité des manifestations de la silicose dépend du type d'exposition aux poussières, de sa régularité, et de son intensité. En cas d'exposition quotidienne et forte, comme dans une mine, la durée de latence est raccourcie et la maladie évolue rapidement[362]. La tuberculose pulmonaire est une des causes fréquentes de décès chez les personnes atteintes de silicose. Généralement, une exposition de 20 à 30 ans est nécessaire avant que la maladie ne devienne évidente, mais elle peut se développer en une dizaine d'année lorsque la personne est intensément exposée aux poussières qui sont extrêmement fines et volatiles.

La silice cristalline est contenue notamment dans le quartz, un composant important des roches métamorphiques granitiques comme les gneiss et les quartzites qui encaissent les filons de Faravel-Fangeas et du Fournel. La poussière nocive est libérée au cours de l'abattage, du broyage ou du concassage de ces roches. Les expériences montrent clairement que la production de poussière est extrêmement importante au moment du nettoyage du front de taille et lors de la purge. Les mineurs étaient donc exposés quotidiennement à ces poussières et de façon importante durant l'abattage, le tri et le concassage, le transport des matériaux, et au moment du broyage, c'est-à-dire à chaque étape majeure de la chaîne opératoire. Les particules retenues par les poumons ont un diamètre compris entre 0,5 et 0,7 micromètres, et les grosses particules se déposent dans les narines et les voies aériennes supérieures. La poussière respirable n'est plus visible lorsqu'elle devient diffuse. Mais elle demeure longtemps suspendue dans l'air et sur de longues distances. Elle peut donc affecter l'ensemble des mineurs travaillant dans la mine et les ateliers. G. Agricola est le premier connu à parler

[362] Données de l'Organisation mondiale de la Santé.

de ce type de problème respiratoire qui atteint les mineurs (tuberculose). D'après lui, dans certaines régions minières des Carpates, le taux de mortalité engendré par cette maladie était tellement élevé qu'il aurait obligé des femmes à épouser jusqu'à sept maris différents.

Comme pour les autres affections respiratoires liées à l'inhalation de vapeurs toxiques, aux pollutions au plomb, il est impossible d'évaluer le degré d'intoxication des mineurs de l'Argentière ou de Faravel, ni même de prouver leur impact sur la mortalité. Mais, il est impossible de nier cette possibilité qu'il fallait suggérer.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L’objectif de ce travail était d’étudier et de caractériser les relations entre la mine et son environnement au sein d’un territoire alpestre et dans deux gradients altitudinaux, montagnard et subalpin. Le postulat de départ était la relation probable entre le démantèlement du couvert forestier, réduit à une peau de chagrin au début de l’époque moderne, et l’industrie minière réputée pour consommer de grandes quantités de bois à toutes les étapes de la chaîne opératoire. Comment les mineurs ont-ils exploité et géré la forêt pour satisfaire leur besoin en combustible et en bois sur plusieurs siècles ? Quel a été leur impact sur l’évolution du paysage et la composition des boisements durant le Moyen central ? Quelles ont été les interactions entre la mine et l’agropastoralisme, l’autre fer de lance de l’économie médiévale montagnarde ?

Pour tenter de répondre à ces questions, il fallait pouvoir pénétrer au cœur des usages miniers et agropastoraux. Les allés et retours sur les textes, l’étude croisée des vestiges matériels et des biofacts, des données expérimentales, constituaient les seuls moyens pour saisir des éléments totalement impalpables, pour tirer un trait d’union entre la mine et le paysage, le mineur et l’environnement.

Quelles informations nous livrent les déchets de l’abattage par le feu, du travail du bois, des foyers, sur la végétation environnante et l’organisation du travail ? Les choix effectués par les mineurs et les agropasteurs dans leur territoire d’approvisionnement ont-ils été volontaires ou contraints ? Dans quelle mesure, ont-ils su – ou non – adapter la sélection des arbres à abattre à leurs besoins en combustible pour l’abattage et le foyer, l’aménagement de l’habitat, du souterrain et du carreau minier ?

Pour un même usage, beaucoup d'espèces pouvant convenir, la compréhension des contextes de dépôts et l'étude des artefacts associés sont inhérentes à l'interprétation. Les ouvrages miniers sont aménagés avec des aires de travail, des espaces de circulation et de stockage, fonctionnels pour un temps avant de devenir une décharge où sont accumulés les stériles et les résidus de combustible. Comment étudier ces dépôts ? Ont-ils une représentativité synthétique ou instantanée ?

Notre recherche s'est articulée en plusieurs étapes. Dans un premier temps, il a fallu mettre en place un protocole d'échantillonnage adapté et mesurer la fiabilité paléoécologique des charbons de bois miniers. Pour interpréter les données recueillies, il a fallu préciser la chronologie des exploitations et le mode opératoire de l'abattage par le feu. Pour cela, plusieurs chantiers de fouilles, soutenus par des programmes de recherches, ont été conduits au Fournel puis à Fangeas-Faravel. L'étude des remblais et des comblements a impliqué la constitution d'une équipe pluridisciplinaire. En haute montagne, l'approche archéologique a été ouverte aux structures d'occupation en connexion géographique et chronologique avec l'activité minière. Elle a été complétée par des enquêtes prospectives diachroniques. Parallèlement, nous avons entrepris une relecture de la documentation écrite et iconographique, non seulement pour préciser le contexte historique, géographique, économique de ces exploitations, mais aussi pour déterminer leur cadre juridique, réglementaire et technique.

Ce travail a grandement contribué à l'élaboration d'une chronologie serrée de l'activité minière en Haute-Durance. Elle constitue un élément majeur pour confronter, interpréter, mettre en corrélation et ancrer les données historiques rassemblées et commentées, l'ensemble des acquis de l'archéologie minière au Fournel comme dans la haute vallée de Freissinières et les données paléoenvironnementales, polliniques, isotopiques, et anthracologiques.

L'activité minière est très ancienne dans les gorges du Fournel et dans la montagne de Faravel. Elle a débuté dans le courant ou à la fin du Xe siècle, à une époque où la terre de Rame est en possession de membres de l'aristocratie foncière locale. Sur le terrain, elle se traduit par des ouvrages de recherche et des travaux peu profonds localisés sur les affleurements (décapages, grattages, tranchées). Elle participe à une phase de conquête du milieu qui se traduit en haute montagne par des déboisements (incendies). Nous pensons que les filons qui s'exprimaient sur les affleurements par des couleurs vives, ont été découverts par les agropasteurs.

Au Fournel comme à Faravel-Fangeas, la plupart des gîtes sont repérés et exploités au début du XIe siècle. Le développement des travaux en souterrain dans le courant du XIe siècle coïncide avec la crise dans la région de Goslar et l'exode de familles de mineurs. En Haute-Durance, cette période connaît des changements politiques et territoriaux avec le rattachement de tout le pays jusqu'au Pertuis-Rostan et le Briançonnais au diocèse d'Embrun. Dans des terres revendiquées par les marquis de Provence et convoitées par les comtes d'Albon au moins depuis le XIe siècle, elle voit l'affirmation du pouvoir archiépiscopal. Par donation allodiale, l'Église d'Embrun acquiert la troisième partie de toutes les terres et de toutes les mines d'argent situées dans le ressort de Rame. Si les prémices de l'entreprise sont à attribuer aux gens du cru, à l'œuvre de la famille de Gérald Mauvoisin, mais cela n'est pas encore clairement établi, son développement en souterrain a impliqué l'intervention de puissants seigneurs capables de mettre à la disposition des mineurs, les moyens matériels, financiers et humains nécessaires.

L'essor de l'activité minière correspond aussi à l'arrivée d'argent nouveau pour la frappe des deniers mauguencs. Malgré leur position géographique excentrée par rapport aux grands filons argentifères d'Europe centrale, les mines de la Haute-Durance font partie des exploitations qui sont à l'origine du renouveau de l'économie monétaire médiévale et qui ont contribué à la reprise économique. Elles mobilisent l'attention de tous. Elles sont au cœur des stratégies politiques et économiques des plus hautes personnalités de la région.

Le temps fort de l'activité est placé entre les XIe et XIIe siècles. Sur plusieurs dizaines de mètres de profondeur, les chantiers souterrains s'étendent sur les panneaux minéralisés recoupés par des failles et explorés par de multiples ouvrages verticaux et horizontaux. Au Fournel, dans les travaux profonds, notamment dans le quartier des Vieux Travaux, un ralentissement de l'activité est perceptible dans le courant du XIIe siècle. Les difficultés sont à mettre en relation avec l'exhaure, l'aérage et l'abattage en roche dure. En effet, l'exploitation s'est organisée en retrait des fronts d'avancement, au fur et à mesure que les chantiers se sont enfoncés dans la montagne, occasionnant ponctuellement des suspensions d'activité pour cause d'enfumage, d'engorgement ou d'ennoiement.

Cette séquence correspond à l'apogée des déboisements et à la mise en place du paysage agrosylvopastoral structuré et entretenu par l'homme. Alors que les courbes des taxons arboréens sont au plus bas, l'économie des vallées alpestres est au comble de son épanouissement. Dans notre fenêtre d'étude, elle s'accompagne de l'expansion du Mélèze, mal cernée dans les diagrammes polliniques et dont la place a longtemps été sous-estimée.

Sur lui repose toute l'organisation des communautés montagnardes médiévales. C'est le bois à tout faire, c'est le bois à chauffer, c'est le bois à construire l'habitat, le château, c'est le bois à charbonner. Aux XIe-XIIIe siècles, les besoins accrus des communautés ont freiné son renouvellement, notamment dans les pelouses subalpines soumises à une pression pastorale de plus en plus importante.

À la fin de la première moitié du XIIe siècle, les grands seigneurs impliqués dans l'activité obtiennent des empereurs et des papes la confirmation de droits régaliens sur les mines. C'est à ce moment que les projecteurs se braquent sur les comtes d'Albon. Implantés dès le XIe siècle en Briançonnais, par le biais de jeux d'alliances avec la noblesse locale, voire avec des familles de mineurs (ou d'affineurs), ils ont très bien pu s'octroyer des droits sur ces mines. Au milieu du XIIe siècle, les mines de Brandes leur procurent déjà des revenus. Ils se sont donc entourés très tôt de mineurs spécialisés, d'origine alpine voire étrangère. En ce sens, ils ont très bien pu contribuer à l'épanouissement de l'activité dans la Haute-Durance en encourageant l'investissement dans des équipements d'intérêt collectif (galeries d'exhaure et d'aérage). Au plus tard, au tout début du XIIIe siècle, l'arrivée de la famille Alleman à l'Argentière n'est certainement pas anodine à cette politique d'infiltration dauphinoise et d'accaparation des ressources minières.

Les stratégies d'exploitation mises en évidence dans les mines du Fournel comme dans celles de Fangeas-Faravel (méthode d'abattage, transport, aérage et exhaure) sont à la pointe des techniques de l'époque. Elles suggèrent leurs liens culturels et techniques avec les mines d'argent de Brandes, des hautes vallées lombardes très dynamiques et déjà profondes au XIIe siècle. Des échanges de savoir-faire et/ou l'arrivée en Haute-Durance au courant des Xe-XIe siècles et au XIIe siècle, de mineurs et de métallurgistes d'origine lombarde ou du Haut-Dauphiné, imprégnés des techniques germaniques, sont à envisager. Les contraintes ont toutes été surmontées entre la deuxième moitié du XIe siècle et la deuxième moitié du XIIe siècle. L'activité a probablement été florissante durant tout le XIe siècle, au XIIe siècle, malgré des ralentissements, et jusque durant la première moitié du XIIIe siècle.

À ce moment, on constate un nouveau ralentissement, voire un arrêt définitif dans certains secteurs (Saint-Roch, Combe Blanche et la Pinée, Fangeas-Faravel). Au Fournel comme à Fangeas-Faravel, un effort de reprise et de recherche durant la seconde moitié du XIIIe siècle est perceptible sur le terrain et dans les sources écrites. Il coïncide avec l'acquisition du mandement de l'Argentière par le dauphin et l'insertion d'un passage réglementaire dans le *Probus* (1250). En rappelant les conditions juridiques de l'exploitation,

le dauphin compte relancer l'activité en stimulant la recherche. En dépit de ces efforts, les mines sont épuisées à la fin du XIIIe siècle. Elles ne rapportent plus rien. Elles ont pu faire l'objet de quelques autres tentatives de reprise par des entrepreneurs locaux ou étrangers au XIVe siècle, mais il faut pouvoir préciser la chronologie des ouvrages les plus reculés.

Dans la mine et autour d'elle, pas de pic, pas de pointerolle. Uniquement du bois et des charbons de bois. Le carreau, qui accueillait une seconde étape de préparation mécanique attestée par des enclumes et des matériaux calibrés (le concassage), était aussi un véritable chantier de charpenterie et de bûcheronnage. La hache est l'outil emblématique du mineur médiéval. Elle sert à la confection des boisages, des équipements, à la préparation et au calibrage du combustible (tronçonnage et refente). Les déchets du travail de bois sont partout présents. Leur étude révèle l'existence de toute une gamme d'outils caractéristiques de la charpenterie grossière, à l'exception de la scie. Elle n'a pas sa place sur le carreau où dominent la force, la rapidité d'exécution et la rusticité. Pour l'abattage en roche, comme pour la confection des principaux équipements de la mine, pour l'abattage des arbres, le tronçonnage et le débit de long, la confection d'assemblage, le mineur de Fangeas applique des techniques de travail ancestrales, attestées dès le Néolithique ou l'âge du Bronze. Elles sont maîtrisées par des paysans polyvalents capables de travailler à la mine ou dans les forêts. À Fangeas, on soupçonne une exploitation de la mine inter-saisonnière adaptée au calendrier des activités agricoles. Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, l'automne et l'hiver étaient probablement consacrés à l'exploitation des mines en haute montagne. Le travail par le feu y était plus facile à gérer, les eaux d'écoulement et d'infiltration étaient très limitées. Par contre, au printemps, les mines devaient être en proie à des problèmes d'exhaure qu'il fallait pouvoir anticiper. Le couvert neigeux ne constituait pas un véritable handicap, pour la mine comme pour le bûcheronnage.

Les mineurs de la Haute-Durance étaient des spécialistes de l'abattage par le feu. Ils préparaient avec soin leur combustible provenant surtout de l'exploitation de bois de futaies matures. L'abattage des arbres pouvait se réaliser en hiver, les stocks de bois étaient préparés, le combustible était stocké pour sécher, les besoins étaient anticipés puisque la mine n'a jamais manqué de bois.

Les mineurs étaient capables d'ouvrir des foncées obliques ou verticales étroites au moyen du feu. Pour le percement des ouvrages d'assistance dans les roches dures, ils ont préféré travailler lentement plutôt que d'avancer deux fois plus vite en élargissant les cavités et en consommant deux à trois fois plus de bois. Ce parti pris peut expliquer *pro parte* le

ralentissement ou la suspension des travaux à certains moments. Dans un souci d'économie des efforts de transport, les matériaux produits lors des abattages subissent des transformations sous terre. La roche tombée pendant un feu est triée avant l'étape de purge. Le plus souvent l'absence d'élément grossier dans une succession stratigraphique indique, avant l'évacuation ou le stockage, une étape de tri et/ou de concassage grossier précédant une dernière étape de tri réalisée en retrait du front de taille ou sur le carreau de la mine. Ce mode opératoire lié à la difficulté de la circulation a engendré des pertes de matériaux enrichis dans les fractions fines mélangées aux cendres et aux charbons de bois.

Une grande partie, voire tous les stériles issus de l'extraction sur une zone minéralisée coupée du jour ou profonde, étaient potentiellement stockés à l'intérieur de la mine. Les tas différents qui constituent le remblaiement d'un même chantier sont les témoins de stades ou de paliers d'amoncellement de déblais reflétant différentes étapes d'avancement des fronts de taille. Les mineurs sont parvenus à combler au fur et à mesure les cavités qu'ils étaient en train de creuser. Le stockage des déblais et l'avancée des fronts sont menés de pair et en parfaite cohésion. La gestion des stériles conditionnait l'organisation de l'espace souterrain pour l'abattage. Dans le cas d'une exploitation descendante, le creusement des chantiers verticaux ou subverticaux conduisait nécessairement à des remaniements des remblais et à la construction de planchers de circulation aériens comme à Faravel-Fangeas, réemployés si besoin pour le stockage des stériles.

Les mineurs et les agropasteurs côtoyaient et géraient en commun les espaces forestiers. Ils ont favorisé la progression du mélézin dans les limites maximales de son extension aux dépens d'essences moins dynamiques et moins intéressantes d'un point de vue agrosylvopastorale. À l'Argentière, l'aire d'approvisionnement en combustible minier était centrée dans les forêts d'ubac et dans la tranche de l'étage montagnard supérieur infiltrée par le mélézin de descente. De façon plus ponctuelle et cyclique, les mineurs se sont approvisionnés dans des stations subalpines d'adret à tendances mésophiles. Les choix étaient dictés par les disponibilités, variables en fonction de la mobilité du couvert forestier. La mine contribuait à la fluctuation du degré d'ouverture ou de fermeture du paysage montagnard et subalpin pour produire du fourrage et du bois de feu. Cette gestion raisonnée des ressources impliquait une périodisation des temps d'exploitation, miniers et agropastoraux, étroitement calée en fonction de l'altitude, des cycles des systèmes agraires, de la révolution des forêts. Les déboisements n'étaient pas réalisés à blanc. La combinaison des individus d'âge

différents prélevés sur un même site coïncide avec l'image d'une forêt ouverte, occupée, pâturée, où se côtoient différents groupements d'âges liés aux aléas de son histoire.

Entre les Xe et XIIe siècles, en haute montagne, les mineurs et les agropasteurs ont côtoyé les mêmes massifs boisés localisés en marge des terroirs agrosylvopastoraux. La mine n'est pas à l'origine de déboisements irréversibles. Le paysage du Xe siècle n'est pas constitué de forêts séculaires, mais d'une mosaïque de formations herbeuses et boisées. La forêt dense s'étire jusqu'à 2100 m d'altitude. Elle est dominée par le Mélèze associé au Pin cembro. Elle est progressivement éliminée sous l'influence multiple des activités anthropiques qui conduit à l'extension du mélézin reconquête, des landes et des prairies. Les pratiques agrosylvopastorales fondées sur l'usage syncopé du feu, donnent naissance à une nouvelle morphologie des boisements et au développement de la biodiversité.

Le XIIIe siècle connaît un tournant dans les transformations paysagères avec la disparition du mélézin aux abords du site de Fangeas et une extension des landes et des formations d'Herbacées de pelouses, des rudéro-steppiques et des Cypéracées. Si le Mélézin est refoulé sous la barre des 1900-2000 m d'altitude, le Pin cembro et les pins de type P. sylvestre se sont maintenus sous forme de bouquets aux altitudes les plus hautes (2300-2400 m d'alt.). En ubac comme en adret, ils ont été exploités par les mineurs. Lorsque les agropasteurs glanent du combustible dans les boisements repliés sous la barre des 2000 m d'altitude, là où se pratique le pacage en forêt, les mineurs arpentent les sommets pour prélever du bois de tronc.

La production de combustible industriel et agropastoral a été adaptée à la dynamique forestière, à son étagement, à sa mouvance, aux modes de gestion de ressources de la haute montagne mis en œuvre par les communautés médiévales. Grâce à une gestion de la forêt sous forme de quartiers spécialisés, mais pas spécifiques, l'exploitation minière a participé, au même titre que les autres activités, à sa mise en valeur économique comme à son démantèlement. La production de la biomasse ligneuse pour la mine s'est maintenue dans la région de l'Argentière pendant environ trois siècles. En altitude, au-delà de 1900-2000 m, l'extension croissante des terres pastorales sur des terrains fragiles l'a, petit à petit, modifiée et anesthésiée.

Le XIIIe siècle est caractérisé par des rendements faibles et l'épuisement des panneaux filoniens. Parallèlement, les conséquences de l'ouverture d'un milieu très sensible à l'érosion, avec ses pentes accusées, ses torrents impétueux, se font ressentir. Il faut ajouter à cela les

transformations économiques, patentes aux XIVe-XVIe siècles. Cette période connaît une volonté de mise en valeur industrielle des boisements par le pouvoir delphinal puis royal. Elle conduit à la déstabilisation progressive des systèmes mis en place dans le courant du Moyen central par les communautés. L'accroissement des réglementations conduit à une ère de reconquête forestière à l'échelle régionale. Au XVIIe siècle et au début du XVIIIe siècle, la forêt est le lieu de pratiques illicites auxquelles il faut remédier. Or, le montagnard est parfaitement conscient des risques naturels et trouve très tôt le moyen de maintenir ses terroirs agrippés aux montagnes grâce à la gestion des formations arbustives incultes, et cela sans avoir attendu les prescriptions des réformateurs.

En plaçant par des éclairages multiples le bois et la forêt au cœur d'une réflexion sur le phénomène minier au Moyen Âge central, cette recherche contribue non seulement à améliorer notre compréhension des techniques et du labeur des hommes, mais aussi elle tend à dédramatiser notre vision d'une industrie perçue aujourd'hui comme immorale agissant aux dépens de l'environnement. Certes, toute activité à un impact, toute activité pollue, mais toute activité doit être envisagée dans un contexte général de mise en valeur des ressources naturelles, commandée par le genre de vie des uns et les ambitions politiques et économiques des autres.

La région de la Haute-Durance n'a pas souffert des déboisements anthropiques plus que les autres régions sud-alpines, preuve patente que dès le Moyen Âge central, des communautés, des seigneurs, peut-être visionnaires, ont été des précurseurs du développement durable si cher à notre société actuelle en proie à un profond déséquilibre entre les capacités et les méthodes de productions et les disponibilités environnementales.

Aujourd'hui, l'ouverture de fenêtres d'étude comparatives s'impose. Nous avions projeté de travailler dans les Alpes-Maritimes au moment de la mise en place de notre projet de thèse (mines d'argent de Vallauria, Caire Faraud et de Tortissa). Cela n'a pas été possible pour deux raisons majeures. Après les enquêtes prospectives des années 1990, les mines n'ont plus fait l'objet d'attention, jusqu'à la reprise des recherches en 2000 par l'équipe de D. Morin (P.C.R.) surtout axée sur l'extraction et la transformation du fer en montagne. Dans ce projet, un axe exploitation de la forêt était prévu, mais il n'a pas été développé. De notre côté, nous ne pouvions entreprendre des travaux parallèles. De plus, nous n'imaginions pas découvrir des ouvrages et des vestiges si intéressants dans la montagne de Faravel. L'étude de ce site, compliquée par les conditions altitudinales, a concentré notre attention. Il faut pouvoir compléter la fouille du Grand Puits. Il faut aussi acquérir de nouveaux éléments de datations

pour les petits ouvrages de recherches qui peuvent être romains, médiévaux ou modernes, et pour le nouveau réseau de la Cascade dont l'approche s'est limitée à l'exploration. Il faut préciser la chronologie pré-médiévale. Les recherches sur les isotopes attestent une phase d'exploitation antique dont nous n'avons pas encore retrouvé (ou daté) les vestiges. Il faut reconnaître et déterminer l'allure des travaux rattachés à cette période.

Ce site exceptionnel doit fournir les éléments manquants pour éclaircir l'articulation des différentes phases de recherches et d'exploitation de filons métalliques et argentifères et cela en rapport avec les autres modes de mise en valeur du milieu. L'activité minière, particulièrement en haute montagne, n'a pas eu lieu en continu. Des phases d'activité semblent intimement liées à des fronts pionniers d'exploitation. Il faudrait pouvoir comparer cette dynamique en ouvrant des fenêtres d'étude comparatives dans d'autres régions alpines, notamment dans les Alpes-Maritimes et en Haute-Lombardie où les mines d'échelonnent depuis le bas des versants jusqu'à des altitudes supérieures à 2000 m.

Alors que l'archéologie n'a cessé de dépasser ses limites altitudinales dans les massifs du Champsaur et des Écrins, il serait maintenant nécessaire d'étudier la tranche montagnarde à proprement parler, l'espace propice aux forêts étendu entre 1000-1300 m et 1700 m d'altitude. Les prospections menées dans le vallon du Fournel et ses abords ont été limitées à quelques campagnes. Elles ont pourtant démontré les potentialités d'une telle enquête dont nous n'avons pu ne donner que quelques éléments dans le cadre de ce mémoire. Une cartographie des sites a été commencée, mais il serait intéressant de poursuivre le travail et de faire le lien avec les travaux réalisés par K. Walsh et Fl. Mocci dans le haut vallon du Fournel, au-delà de 1900 m d'altitude. Comprendre la dynamique d'occupation et d'exploitation de cette tranche altitudinale améliorerait sans aucun doute notre compréhension de l'étage supérieur. À l'échelle d'une vallée, la dynamique d'occupation, en interaction avec les modalités d'exploitation des ressources naturelles, n'est pas encore maîtrisée, ni même pour la vallée de Freissinières qui a pourtant bénéficié d'une enquête approfondie. Les sites situés entre 1000 et 1800 m d'altitude ont été délaissés au profit des sites pastoraux d'altitude.

Nos travaux révèlent que la tranche montagnarde, morcelée par des exploitations agrosylvopastorales mal étudiées, et couronnée par les terroirs d'estive, a abrité, dès avant le Moyen Âge, les massifs forestiers les plus denses et accueilli de nombreuses activités artisanales, dont le charbonnage et la métallurgie comme dans le vallon du Fournel entre le Xe et le début du XIIIe siècle. Ces maillons de la chaîne opératoire minière ont seulement été effleurés. Il faudrait pouvoir reprendre l'enquête dans le bois du Simon de l'Aigle. En effet,

seule une étude anthracologique des vestiges de combustible de ces activités peut compléter notre approche de la forêt industrielle et surtout valider et affiner les scénarios proposés sur les modalités de son exploitation.

Dans les années à venir, nous souhaitons poursuivre nos investigations sur le matériau bois, ses usages et ses techniques. Il reste encore beaucoup à apprendre et à comprendre à ce sujet qui ne peut se dissocier de l'histoire de la forêt. Pour progresser sur ce thème, l'expérimentation s'impose. Elle ne peut s'envisager sans la contribution d'artisans du bois et de forgerons pour la fabrication des outils. Il faut pouvoir comparer les déchets expérimentaux et archéologiques et dresser un catalogue des traces d'outils. L'étude des chutes et des copeaux doit constituer un point de départ. Chaque étape du travail du bois, chaque geste, s'accompagne de déchets particuliers qu'il faut déterminer, caractériser. L'étude des traces d'outils apporte des renseignements sur la variété des tranchants et leurs usures. Elle peut aider à dissocier différentes campagnes d'avancement, à affiner la chronologie des travaux et à éclaircir la question de la saisonnalité qui demeure encore à l'état d'hypothèse. L'étude dendrochronologique des bois de Fangeas qui est en cours doit offrir de nouveaux éléments, non seulement chronologiques, mais aussi sur l'âge des arbres abattus, l'état et la composition des forêts exploitées. Les interprétations et les scénarios proposés dans ce mémoire doivent encore être aiguisés et affinés, et cela grâce à la poursuite de la concertation pluridisciplinaire qui a commandé notre recherche.

INDEX LATIN-FRANÇAIS DES PLANTES ET DES TAXONS MENTIONNÉS DANS CE MÉMOIRE

Abies – Sapin(s)
Abies alba – Sapin pectiné
Acer – Érable(s)
Acer campestre – Érable champêtre
Acer cf. A. pseudoplatanus – Érable *cf.* É. champêtre
Acer opalus – Érable à feuilles d'obier
Acer pseudoplatanus – Érable sycomore
Alchemilla pentaphyllea – Alchémille pentaphylle
Alnus – Aulne(s)
Alnus-Betula – Aulne(s) et/ou Bouleau(x)
Alnus cf. A. viridis – Aulne *cf.* A. vert
Alnus glutinosa – Aulne glutineux
Alnus incana – Aulne blanc
Alnus viridis – Aulne vert
Amelanchier ovalis – Amélanchier
Amelanchier – Amélanchier(s)
Anthoxanthum odoratum – Flouve odorante
Arctostaphylos uva-ursi – Raison d'ours
Armeria alpina – Armérie des Alpes
Berberis vulgaris – Épine-vinette
Betula – Bouleau(x)
Betula pendula (ou Betula verrucosa) – Bouleau verruqueux
Buxus sempervirens – Buis
Callianthemum coriandrifolium – Renoncule à feuilles de Rue
Castanea sativa – Châtaignier
cf. Abies alba – *cf.* Sapin blanc
cf.Frangula alnus – *cf.* Bourdaine
cf. Larix – *cf.* Mélèze d'Europe
cf. Pinus sylvestris – *cf.* Pin sylvestre
cf. Pinus uncinata – *cf.* Pin à crochets
cf. Prunus – *cf.* Prunier(s)
cf. Rosa – *cf.* Rosier(s), Églantier(s)
cf. Rosaceae, Maloideae – *cf.* famille des Rosacées, Maloïdes
Chaerophyllum hirsutum – Chérophylle hérissé
Clematis – Clématite(s)
Clematis vitalba – Clématite vigne blanche
Cornus – Cornouiller(s)
Cornus sanguinea – Cornouiller sanguin
Corylus avellana – Noisetier
Cotoneaster jurana – Cotonéaster du Jura
Crataegus – Aubépine(s)
Crataegus monogyna – Aubépine monogyne
Cupressaceae – famille des Cupressacées
Cytisus – Cytise(s), Genêt(s)

Cytisus alpinus – Cytise des Alpes
Cytisus laburnum – Cytise
Erica carnea – Bruyère des neiges
Fagus sylvatica – Hêtre
Frangula alnus – Bourdaine
Fraxinus – Frêne(s)
Fraxinus excelsior – Frêne commun
Genista cinerea – Genêt cendré
Geranium sylvaticum – Géranium des ruisseaux
Hieracium prenanthoides – Épervière faux prénanthe
Juglans regia – Noyer
Juniperus – Genévrier(s)
Juniperus communis – Genévrier commun
Juniperus nana – Genévrier nain
Juniperus sabina – Genévrier sabine
Juniperus thurifera – Genévrier thurifère
Larix decidua – Mélèze d'Europe
Larix-Picea – Mélèze d'Europe et/ou Épicéa commun
Lavandula – Lavande(s)
Lavandula vera – Lavande commune
Lonicera – Camerisier(s), Chèvrefeuille(s)
Lonicera alpigena – Camerisier des Alpes
Lonicera nigra – Camerisier noir
Lonicera xylosteum – Camerisier à balais
Picea abies – Épicéa commun
Pinaceae – famille des Pinacées
Pinus – Pin(s)
Pinus cembra – Pin cembro
Pinus cf. P. cembra – Pin *cf.* P. cembro
Pinus mugo – Pin mugo
Pinus nigra Arn. subsp. *salzmannii* – Pin noir
Pinus sylvestris – Pin sylvestre
Pinus type *P. sylvestris* – Pin type P. sylvestre
Pinus uncinata – Pin à crochets
Pirus – Poirier(s), Pommiers(s)
Pirus malus – Pommier sauvage
Plantago lanceolata – Plantain lancéolé
Polygonum bistorta – Bistorte
Populus – Peuplier(s)
Populus tremula – Tremble
Prunus – Prunier(s)
Prunus avium – Merisier
Prunus brigantina – Prunier de Briançon
Prunus mahaleb – Bois de Sainte-Lucie
Prunus padus – Cerisier à grappes
Quercus – Chêne(s)
Quercus à feuillage caduc – Chêne à feuillage caduc
Quercus pubescens – Chêne pubescent ou Chêne blanc
Ranunculaceae – famille des Renonculacées
Rhododendron ferrugineum – Rhododendron ferrugineux
Rhododendron-Vaccinium – Rhododendron ferrugineux et/ou Myrtille(s), Airelle(s)
Ribes alpinum – Groseillier des Alpes
Ribes uva-crispa – Groseillier à maquereau
Rosa – Rosier(s), Églantier(s)
Rosaceae, Maloideae – Rosacée, Maloïdée

Rosa pendulina – Rosier des Alpes
Rosa montana – Rosier des montagnes
Rumex – Rumex
Salix – Saule(s)
Salix capraea – Saule marsault
Salix-Populus – Saule(s) et/ou Peuplier(s)
Salix purpurea – Osier rouge
Salix triandra – Osier brun
Salix viminalis – Osier blanc
Sambucus – Sureau(x)
Sorbus – Sorbier(s)
Sorbus aria – Alisier blanc
Sorbus aucuparia – Sorbier des oiseleurs
Sorbus cf. S. aucuparia – Sorbier *cf.* S. des oiseleurs
Ulmus – Orme(s)
Ulmus glabra – Orme de montagne
Vaccinium myrtillus – Myrtille
Vaccinium uliginosum – Airelle des marais
Vaccinium vitis idaea – Airelle rouge
Viburnum lantana – Viorne lantane

GLOSSAIRE

Les mots ou groupes de mots définis ou commentés ci-après sont précédés d'une * dans le corps du texte de synthèse ou dans les annexes lorsqu'ils sont mentionnés pour la première fois. Leur classement respecte un ordre alphabétique. Pour faciliter et harmoniser la lecture tous les mots techniques ou mal connus liés à la mine, à la botanique, à l'écologie ou aux techniques de travail du bois ont été regroupés sous une rubrique unique.

About : extrémité façonnée d'une pièce de bois en charpente, et partie perpendiculaire au sens du fil du bois en menuiserie.

Accrue : terrain abandonné, colonisé par des peuplements clairs et irréguliers (accrus forestiers) (Rameau *et al.* 1993).

Adret : versant d'une montagne exposé au sud (syn. de soulane).

Affleurement : partie d'un terrain visible à la surface de la Terre. Sur les cartes géologiques, les affleurements sont généralement limités par des traits fins qui sont les contours géologiques. Les minéralisations sont parfois visibles à l'affleurement.

Ager : espace régulièrement cultivé (Durand 1998, p. 459).

Albergue : droit du seigneur de se faire héberger. Au XIIIe siècle, il devient un impôt en argent.

Anthropochore : se dit d'une espèce végétale dont la dispersion est assurée involontairement par l'homme.

Apophyte : végétal spontané s'installant sur un terrain venant d'être défriché.

Aubier : bois jeune et tendre situé entre le cambium et le liber, dans lequel circule la sève brute et s'accumulent les matières nutritives. En coupe transversale, à l'œil nu, il apparaît comme un anneau clair contigu à l'écorce. Les cellules de l'aubier contiennent des albuminoïdes, de l'amidon et des sucres. Elles sont plus exposées aux attaques d'organismes vivants.

Autécologie (=autoécologie) : science ayant pour objet l'étude de la réaction des espèces végétales, considérées individuellement, vis-à-vis des facteurs externes (climat, altitude, exposition, nature et composition des sols).

Avoyer : donner de la voie à une scie, c'est-à-dire alterner les dents, l'une à droite, l'autre à gauche, de manière à ce que le trait de sciage soit plus large que le corps de la lame.

Baliveau : tige ou jeune arbre issu de semis jugés par le sylviculteur ou le forestier assez droit et vigoureux pour devenir un arbre de haute futaie ou participant au maintien d'un taillis fureté.

Bas-marais : terrain saturé d'eau, sans écoulement naturel possible, qui correspond au point le plus bas d'un marécage.

Bille : grume découpée. On distingue la bille de pied, obtenue à partir de la zone de la grume présentant le plus fort diamètre, et la sur bille, obtenue après découpage de la bille dans la zone de la grume présentant le plus faible diamètre. La tête de la bille peut être appelée la dernière sur bille.

Blanchis (ou flachis) : espèce d'encoche pratiquée à la serpe, à la hache ou à la hachette du marteau de martelage, jusqu'à l'aubier, dans l'écorce de l'arbre qui doit être coupé, sur laquelle on applique une empreinte au moyen d'un poinçon.

Bocage : terme employé aujourd'hui pour désigner un paysage rural, aménagé par l'homme, constitué de haies de grands arbres entourant des parcelles cultivées ou en prairies.

Boulonnier : outil de travail du bois qui sert à percer. Le fer de cette tarière est constitué d'une vrille terminée par un tire-fond pour mordre et garder la mèche dans le bois. Son usage est réservé pour percer les trous des grosses chevilles.

Cambium : chez les végétaux ligneux, assise génératrice responsable de la croissance en diamètre. Le cambium est composé d'une couche de cellules situées en périphérie de la tige qui se divise activement et donne du bois vers l'intérieur et du liber vers l'extérieur (Chabal *et al.* 1999).

Carbonisation : syn. de pyrolyse.

Carreau : terme emprunté au vocabulaire des mines de charbon désignant l'emplacement aménagé à la sortie de la mine (Benoît 1997, p. 129).

Chablis : arbre déraciné.

Clameaux : pièces de bois (ou de fer) utilisées pour réunir rapidement de grosses pièces de bois.

Confortement : dans le vocabulaire minier, ensemble des dispositifs de charpenterie minière mis en oeuvre pour consolider les travaux et éviter les éboulements.

Contre-dosse : plateau débitée dans une grume directement après la dosse dans le sens longitudinal tangentiel (débit en plot).

Corbeau : élément architectural qui sert à soutenir une poutre en structure intérieure ou une corniche ou tout autre avant-corps en structure extérieure.

Cryoturbation : mouvements de matières dans le sol dus aux cycles du gel et du dégel.

Cuillère : tarière qui se différencie du boulonnier par son absence de tire-fond au départ de la mèche. Elle est utilisée pour l'agrandissement d'un trou.

Culée : partie de l'arbre comprenant la souche et une courte portion de bille de pied.

Débarder : transporter des bois (grumes, billes, bois coupés ou façonnés), des lieux d'abattage jusqu'à leur lieu d'enlèvement.

Descenderie : dans le vocabulaire minier, nom donné à une galerie de mine en pente descendante.

Dosse : première et dernière planches, bombées et comportant de l'écorce, débitées dans une grume dans le sens longitudinal tangentiel (débit en plot).

Douelle : nom donné aux douves de tonneau.

Écobuage : technique agraire qui permet le nettoyage du sol et sa fertilisation pour la mise en culture des friches et des herbages. En été, les gazons sont pelés, séchés et brûlés, puis les cendres étalés (Sigaut 1975).

Endothermique : se dit d'une réaction qui demande un apport de chaleur pour se produire et s'interrompt si elle n'en reçoit plus (par opposition à exothermique) (Chabal *et al.* 1999).

Enfourchement : assemblage dont la forme primitive consiste à déposer une pièce de bois horizontale, comme une panne faîtière, médiane ou sablière, dans la fourche de ramification naturelle d'un montant ou d'un poteau. La charge appliquée sur l'assemblage lui confère la stabilité nécessaire sans l'aide d'accessoire d'assemblage. Une première évolution a consisté dans la réalisation d'un évidemment simple et cylindrique au bout de la pièce verticale sur laquelle on fixe la pièce horizontale, la plupart du temps cylindrique. Mais cet assemblage

plutôt instable nécessite une consolidation par une corde ou d'autres accessoires. L'utilisation de pièce horizontale de section quadrangulaire a conduit à modifier l'entaille. Il s'agit de l'enfourchement à proprement parler (Gerner 1995, p. 137).

Éponte : paroi délimitant une couche ou un filon.

Étage de végétation : ensemble des séries de végétation présentes dans une zone bioclimatique définie par les écologues notamment en fonction de l'altitude en montagne (mais non exclusivement) (Rameau *et al.* 1993).

Étançon : montant vertical mortaisé dans la semelle à l'intérieur de la paroi verticale d'un caisson (Bonnamour 2000).

Exothermique : se dit d'une réaction qui dégage de la chaleur et qui se produit donc spontanément, contrairement à une réaction endothermique (Chabal *et al.* 1999).

Faille : cassure de terrain avec déplacement relatif des parties séparées. En pratique, ce terme désigne le plus souvent des accidents verticaux ou à fort pendage n'impliquant pas de recouvrement important. La longueur des failles peut varier de quelques mètres à plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres. La valeur du déplacement (le rejet) est variable selon les points pour une même faille. Il peut se situer entre le décimètre et plusieurs kilomètres verticalement et entre plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres horizontalement. Les déplacements importants se sont effectués en plusieurs étapes liées à l'histoire tectonique de la zone considérée. Il est souvent difficile d'évaluer l'ampleur des mouvements et plus encore d'en préciser les modalités et les étapes.

Finage : ensemble des terres, aux limites imprécises jusqu'à l'époque moderne, cultivées par les habitants d'un village ou d'un hameau. Le finage se compose de plusieurs terroirs. Il englobe les jardins, les champs, les prés, exploités individuellement, les landes et les bois, utilisés collectivement. Le finage est l'élément d'unité le plus solide de la communauté villageoise, qui peut être, par ailleurs morcelée entre plusieurs juridictions laïques ou religieuses.

Flambement : phénomène affectant les pièces longues. Il se caractérise par une déformation à simple ou double courbure qui résulte d'un effort composé de compression et de flexion.

Foncée : dans le vocabulaire minier, nom donné à un passage vertical étroit, qui n'est pas un puits. Il permet d'explorer l'espace souterrain dans un plan vertical. Lorsque le filon est atteint, la foncée peut servir d'axe de circulation vertical ou de conduit d'aérage.

Forêt postpionnière : forêt qui se développe dans l'étage montagnard, sur des terrains perturbés. Elle est constituée d'espèces pionnières et photophiles, capables de se maintenir sur les espaces conquis, du moins à l'échelle d'une vie humaine. L'un des exemples alpins les plus connus est le mélézin pastoral qui s'installe le plus souvent en contrebas du mélézin subalpin (Salomez 2006).

Formation boisée de production : formation végétale, constituée d'arbres et d'arbustes devant présenter des tiges recensables (24,5 cm de diamètre minimum) dont le couvert apparent est d'au moins 10 % de la surface du sol ou une densité à l'hectare d'au moins 500 jeunes tiges non recensables, vigoureuses, bien conformées et bien réparties. Elle doit également recouvrir une surface d'au moins 5 ares et ne pas avoir une fonction de protection ou d'agrément. Les forestiers distinguent dans les formations boisées de production : les forêts (massif boisé d'au moins 4 ha), les boqueteaux (superficie comprise entre 5 ares et 50 ares) et les bosquets (superficie comprise entre 5 et 50 ares) (IFN 1999).

Friche : formation végétale qui s'installe sur les terrains agricoles ou les pâturages après plusieurs années d'abandon.

Friches en gouttelettes : friches qui se développent au bout d'une vingtaine années dans les prairies en déprise, situées au cœur de l'étage montagnard, à l'adret. Elle se compose essentiellement d'Épines-vinettes, de Genévriers communs et d'Églantiers qui forment des tâches ou des « gouttelettes » épineuses séparées par des couloirs herbeux où peuvent pâturer des petits troupeaux de capridés. Si le terrain n'est plus pâturé (ou ponctuellement) et reste à l'état d'abandon encore 20 à 30 ans, la forêt sera de retour (Salomez 2006).

Friches en manteau : friches qui se développent rapidement sur d'anciennes terres agricoles collinéennes, irriguées ou arrosées. Elles prennent l'apparence d'épais et touffus manteaux constitués d'espèces ligneuses à forte vitalité comme le Prunellier ou les Ronces. Le développement de ces friches en manteau est un facteur décisif pour la déstructuration des bocages (Salomez 2006).

Friches supraméditerranéennes : friches qui se développent sur des pâturages d'intersaison situés dans des zones de collines chaudes et sèches. Soumises à la menace permanente de l'embroussaillement (Genêts, Églantiers, Ronces, Lavande), elles étaient régulièrement incendiées par les éleveurs avant de faire l'objet d'une réglementation du « brûlage dirigé » (Salomez 2006).

Frutescent : se dit d'un stade de végétation ou d'une formation végétale arbustive et/ou composée d'arbrisseaux.

Fruticée : formation végétale constituée d'arbrisseaux et d'arbustes.

Galerie : terme minier désignant des ouvrages qui explorent, en se ramifiant, l'espace souterrain dans un plan horizontal. Lorsqu'un filon est atteint ou exploité, certaines d'entre elles deviennent des voies de circulation privilégiées. Elles peuvent aussi remplir de multiples fonctions comme l'aérage, l'exhaure ou le roulage (Ancel, Fluck 1990, p. 273).

Garnissage : structure en bois constituée pour l'essentiel de planches ou de dosses installées sur la périphérie externe des cadres de manière à « blinder » ou renforcer l'intérieur d'une galerie.

Gîte minéral : amas, lentilles, strates ou filons minéralisés qui semblent rentables à exploiter au premier abord, mais dont il faut vérifier les caractéristiques de façon plus approfondie. Le terme met davantage l'accent sur l'aspect géologique que sur l'aspect minier.

Goujon : accessoire d'assemblage en bois qui sert à la fabrication d'assemblages de portée et à consolider d'autres assemblages comme immobiliser les entures. Dans les constructions médiévales, les goujons étaient utilisés pour remplir de multiples fonctions. Ils servaient à la première fixation et à l'élévation des structures comme les ossatures à colombages, à rapprocher des structures en les insérant à l'oblique, à immobiliser des assemblages contre tout mouvement vers le haut ou pour transmettre de faibles efforts de compression, de traction ou de cisaillement (Gerner 1995, p. 40).

Grume : arbre abattu, ébranché et encore couvert d'écorce.

Halde : mot dérivé de l'allemand, passé dans le vocabulaire usuel des archéologues miniers, désignant les amas de stériles rejetés après l'extraction du minerai ou son traitement minéralurgique (Bailly-Maître 2002, p. 199).

Héliophile : se dit d'une espèce, d'une formation ou d'une communauté végétale qui ne se développe qu'en pleine lumière.

Humus : matière organique du sol provenant de la décomposition partielle des matières animales et végétales.

Hygrophile : se dit d'une espèce, d'une formation ou d'une communauté végétale croissant sur des sols engorgés toute l'année dont la baisse du niveau de la nappe en été n'est jamais importante (Rameau *et al.* 1993).

Jable : rainure incisée dans les douelles (ou douves) d'un tonneau ou d'un cuveau pour arrêter les pièces de fond, et assurer la solidité et l'étanchéité de l'ensemble du contenant.

Jambage : système de renforcement d'une charpente visant à soulager les articulations se trouvant à l'aplomb des appuis par une poutre oblique.

Kletterbaum : terme minier allemand désignant un arbre ou tronc à grimper.

Laceret : outil de travail du bois pour le perçage. Tarière qui remplit les mêmes fonctions que le boulonnier, mais sa taille est plus petite. Elle est réservée au perçage des petites chevilles.

Lande : formation végétale dominée par des ligneux bas.

Landine : lande très basse, composée de sous-arbrisseaux et de lichens, qui se développe à haute altitude.

Longrine : syn. poussard.

Manteau : caractérise une végétation essentiellement arbustive, située linéairement en lisière forestière.

Mégaphorbiaie : formation végétale composée de hautes herbes qui se développent sur des sols riches et humides (Rameau *et al.* 1993).

Mélézin : formation végétale dominée par le Mélèze d'Europe.

Méso : moyen.

Mésophile : caractérise des conditions moyennes dans un gradient sécheresse-humidité (Rameau *et al.* 1993).

Minerai : ensemble rocheux contenant des substances utiles en pourcentage suffisant pour justifier une exploitation. En pratique, le terme désigne essentiellement les substances métalliques, excluant en particulier les matériaux de construction et les matériaux combustibles.

Minéralurgie : ensemble des opérations de préparation du minerai avant la fusion.

Nitrophile : se dit d'une plante croissant sur des sols riches en nitrates (Rameau *et al.* 1993).

Phytosociologie : science qui étudie les associations végétales, c'est-à-dire les tendances naturelles des populations d'espèces différentes à cohabiter dans une communauté végétale ou à s'exclure (Rameau *et al.* 1993).

Pionnier : se dit d'une espèce, d'une formation ou d'une communauté végétale qui colonise les terrains nus ou perturbés puis qui disparaît face à la concurrence d'espèces, de formation ou de communauté végétales plus sédentaires.

Plane : outil pour le travail du bois composé d'une lame semblable à celle d'un couteau munie de deux poignées, à chaque extrémité de la lame. On manie la plane en la tirant vers soi.

Platelage : plancher de charpente.

Plèche ou plèchon : mot employé pour désigner les pièces de bois fines et souples qui lient les douves ou les douelles d'un cuveau ou d'un tonneau (cercle de cuveau ou de tonneau).

Poacées (ou Graminées) : plantes herbacées annuelles ou vivaces. La famille des Poacées regroupe un grand nombre d'espèces notamment les Fétuques qui se développent dans les prairies, les pelouses, les landes mais également en sous-bois, dans les forêts plus ou moins ouvertes, dégradées et dans les coupes forestières.

Pointerolle : sorte de burin en fer, muni d'une douille où s'insère un manche interchangeable, terminé par une pointe en acier (aiguille) à une extrémité et par un talon de l'autre. Elle est maintenue d'une main par le mineur qui frappe de l'autre sur le talon à l'aide d'un marteau, d'une masse ou d'une massette.

Porche : entrée d'une galerie horizontale de la mine (Benoît 1997, p. 130).

Poussards : étais placés en travers des ouvrages à l'horizontale ou en diagonale ; en général de jeunes arbres (entre 15 et 20 ans) au tronc bien droit (Cauuet 2000, p. 136).

Puits : dans le vocabulaire minier, terme désignant des traits d'union entre différents niveaux de galeries et permettant la circulation verticale des hommes et des matériaux. Ils relient les hauteurs et les profondeurs de la mine à partir de la galerie principale qui s'ouvre au jour. Les pingen désignent des puits au jour (filons attaqués depuis la surface) (Ancel, Fluck 1990, p. 273).

Pré-bois : formation végétale constituée d'une mosaïque de groupements forestiers, prairiaux, de manteaux et d'ourlets (Rameau *et al.* 1993).

Rhodoraie : lande buissonneuse à Rhododendron.

Ripicole : se dit d'une plante, d'une formation ou d'une communauté végétale (pas spécialement composée de hauts arbres) localisée au bord des cours d'eau.

Ripisilve (=ripisylve) : se dit d'une forêt, constituée essentiellement d'espèces pionnières, installée au bord d'un cours d'eau (« les pieds dans l'eau ») sur un terrain humide.

Rudérale : se dit d'une plante, d'une formation ou d'une communauté végétale qui se développe dans des sites transformés par l'homme (terrains vagues, décombres).

Rupicole : se dit d'une plante, d'une formation ou d'une communauté végétale qui pousse sur des rochers.

Sapie : crochet de traînage en fer enfoncé en bout d'une grume. Ce terme est aussi employé dans certaines régions pour désigner un pic monté en bout d'un manche de forte section, utilisé en traction comme levier pour déplacer les grumes (syn. picon).

Sciaphile : se dit d'une plante qui tolère un ombrage important (antonyme d'héliophile). Méso-sciaphile se dit d'une espèce qui tolère un ombrage moyen.

Sclérophylle : caractérise une plante à feuilles persistantes et coriaces (ou formation végétale dominée par de telles espèces).

Série de végétation : elle réunit des territoires caractérisés par des conditions de milieu (géographie physique, géologie, pédologie) assez proches et dont la végétation actuelle évolue vers le même climax. Elle porte le nom d'une ou deux espèces caractéristiques du climax ainsi que celui de l'étage dans lequel elle se développe (Debelmas *et al*. 1999, pp. 86-87).

Sole : nom utilisé par certaines équipes en archéologie minière pour désigner le sol rocheux d'une galerie ouverte par le feu.

Spéléothèmes : leur formation reflète des changements saisonniers de la chimie des eaux d'infiltration et de la teneur en dioxyde de carbone dans l'air de la cavité souterraine et donc la précipitation du carbonate. Ils présentent des lamines de croissance ; archives à haute résolution de paramètres climatiques lorsqu'elles sont annuelles. L'épaisseur des lamines est corrélée aux précipitations annuelles et à la température de l'air en surface.

Stère : un stère de bois est un tas de rondins empilés mesurant 1 mètre en tous sens, en général comprenant 6 à 700 l de bois. Lorsqu'on parle en mètres cubes, il s'agit de volumes réels de bois, par exemple de fûts et de bois d'œuvre (Chabal 1997, p. 175).

Suie : matière noirâtre d'odeur âcre provenant d'une combustion incomplète, déposée par la fumée dans les conduits où elle passe ou sur la surface des corps avec lesquels elle est en contact (dictionnaire du CNRTL 2006).

Système de référence : en dendrochronologie, il est obtenu en étudiant des arbres de plus en plus vieux sur un secteur donné. Son point de départ est le cerne de l'année courante, obtenu sur des arbres qu'on vient d'abattre ou de « carotter » sur pied. Le dendrochronologue essaie de remonter progressivement dans le temps, en trouvant des rythmes de croissance identiques sur des bois de plus en plus vieux (Lambert 1998, p. 41).

Thermophile : caractérise une plante, une formation ou une communauté végétales qui se développe de préférence dans des sites chauds et ensoleillés.

Tille : nom vulgaire donné à l'écorce de la tige du chanvre qui fournit une fibre textile.

ToF-SIMS : Spectrométrie de Masse d'Ions Secondaires à Temps de Vol. Méthode d'analyse élémentaire et moléculaire à très haute sensibilité de traces en extrême surface (< 0,5 nm) de tous types de matériaux compatibles avec l'ultravide (métaux, alliages, polymères, vernis, peintures, céramiques, verre, bois etc.) sans exiger de préparation particulière.

Tourbière : étendue marécageuse généralement située au creux d'un vallon, dont le cœur se manifeste par un léger bombement. Elle est constituée de matière organique végétale en cours de décomposition. En surface, la tourbière est souvent peuplée de sous-arbrisseaux de la famille des Éricacées (Rameau *et al.* 1993).

Travers-bancs : galerie de circulation percée hors du filon pour relier les chantiers souterrains avec l'extérieur (Benoît 1997, p. 130). On peut trouver dans la littérature minière : « galerie à travers banc ».

Ubac : versant d'une montagne exposé au nord (synonyme d'ombrée).

Volis : partie brisée d'un arbre tombé à terre lors d'intempéries.

Xérophile : se dit d'une plante pouvant s'accommoder de milieux secs (Rameau *et al.* 1993).

Xérothermophile : se dit d'une plante qui se développe dans les sites chauds, ensoleillés et secs.

SOURCES, OUTILS ET BIBLIOGRAPHIE

I. SOURCES

I.1. Sources manuscrites

Archives Départementales des Alpes de Haute-Provence : A.D.A.H.P.

A.D.A.H.P., C 31, cité *in* Sclafert 1933, p. 273.

A.D.A.H.P., Auzet FF, 1748, cité *in* Sclafert 1933, p. 354, n. 5.

Archives Départementales des Bouches-du-Rhône : A.D.B.R.

J.-H. Albanès : Recueil des actes des comtes de Forcalquier : 26 F 41 : pp. 413-460.

(Transcription in-extenso dans l'ordre chronologique, début XIIe siècle à 1258).

J.-H. Albanès : Recueil des actes des comtes de Provence : 26 F 40 et 26 F 41.

(Transcription *in-extenso* de tous les actes des comtes de Provence dans l'ordre chronologique : années 977-1260).

A.D.B.R., 56 H 1813, plan des possessions de l'Ordre de Malte en 1751.

A.D.B.R., 56 H 4 429 (original), transcription et édition par P. Guillaume, GUILLAUME (P.), Documents inédits relatifs à l'Argentière, XIIIe et XVIIIe siècles, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, Gap, 1884, pp. 196-197.

A.D.B.R., 277 (copie contemporaine), B 143, fol. 29 v° et 70 (cartulaire de Jean de Burlats), B 2, fol. 19 v° et 46 (*Pergamenorum*).

A.D.B.R., B 295 (1195).

A.D.B.R., B 237 (copie de la fin du XIIIe siècle).

A.D.B.R., B 288 (originaux transactions 1177).

A.D.B.R., Saint-Victor, 1 H 10/37 (acte de 1020).

A.D.B.R., B 1373, f°42 (copie du XIVe siècle, faux).

A.D.B.R., B 269, 2mi839, cité *in* Benoît 1962

Archives Départementales du Doubs : A.D.D.

A.D.D., B 2368, 13 février 1573, transcription A. Wéber inédite, communication F. Pierre.

Archives Départementales des Hautes-Alpes : A.D.H.A.

A.D.H.A., Fonds du Puy-Saint-André, E 649, f°14, source citée dans GUILLAUME (P.), Notice historique…, *op. cit.*, p. 295.

A.D.H.A., Série C, Intendance du Dauphiné, C2 (voir C5), *Réformation générale des bois de la province de Dauphiné, Tome 1er, Gapençais, Élection de Gap, Communauté de l'Argentière* (1724-1728).

A.D.H.A., Freissinières, HH 2210, Arrêt du conseil d'état : Établissement des fabriques de tuiles et exploitation des carrières d'ardoises (1784).

A.D.H.A., série P, 5 P 3 (1836-1865).

A.D.H.A., A.C. Gap, BB 2, ff 38 r°-40 r°, 1er novembre, 27 novembre et 3 décembre 1407, cité *in* Nicolas 2005, p. 172, n. 68.

A.D.H.A., A.C. Briançon DD 4, 20 mars 1492.

A.D.H.A. 8S 3017, *Lettre adressée au Conseil des mines par l'ingénieur Héricart de Thury*, 7 floréal an XII, 27 avril 1804.

A.D.H.A. 8S 3017 2.3, *Rapport adressé au préfet des Hautes-Alpes par Héricart de Thury*, 4 brumaire an XIV, 26 octobre 1805.

A.D.H.A. F 21184 (original), 1290.

A.D.H.A., F 2824 (1247).

A.D.H.A., AA 27 (copie de 1669 de l'acte de 1147).

A.D.H.A., A. C. Châteauroux, n°20, f° 44 v°-45 v° et n° 29, f° 45 (copies bulles 1150).

Archives Départementale du Haut-Rhin : A.D.H.R.

A.D.H.R., Archives de Sainte-Marie-aux-Mines, D 3497 (2), *Règlement minier du Leberthal* (1527).

A.D.H.R., E 1979, *Rapport sur les mines du côté d'Alsace : am Neuenberg*, traduction de P. Fulck *in* : *Pierres et Terre*, 30, 1988, pp. 34-52.

Archives Départementales de l'Isère : A.D.I.

A.D.I., B 2746, f° 89-112, cité *in* Sclafert 1926a, p. 180, n. 1.

A.D.I. B 3001 (1202).

A.D.I., B 3011 (dossier complet des querelles entre l'archevêque d'Embrun et le dauphin, copie acte 1151).

A.D.I., B 3013 (copie).

A.D.I., B 2736, f°588 (1433), extrait transcrit et cité *in* Sclafert 1926a, p. 180, n. 2.

A.D.I. B 2662, f° 469 r°-472 r° (*probus*, enquête de l'Argentière).

A.D.I. B 3162 (13 janvier 1155 et 7 juillet 1155) (originaux).

A.D.I., B 3710 (un « adret » dans la haute vallée de la Varaita).

A.D.I., B 4496 (un « ubac » de la même vallée).

A.D.I., B 2742, f° 466, cité *in* Sclafert 1926a, p. 198.

A.D.I., B 3010, f° 539, cité *in* Sclafert 1926a, p. 604, n. 4.

A.D.I., B 2960, f° 673, cité *in* Sclafert 1926a, p. 605, n. 1.

A.D.I., B 2616.

A.D.I., B 4392, cité *in* Sclafert 1926a, p. 340.

A.D.I. B 3336 (1358), cité *in* Sclafert 1926b, p. 532.

A.D.I., B 3336 (1360), cité *in* Sclafert 1926b, p. 533.

A.D.I. B 3918, extraits transcrits *in* Sclafert 1926b.

A.D.I., B 2821, f° 85 (1484), cité *in* Sclafert 1926a, p. 607, n. 1.

A.D.I., II, 429, cité *in* Sclafert 1926b, pp. 314-315.

A.D.I., H 802 (1289), cité et extrait transcrit *in* Sclafert 1926a, p. 434, n. 2.

A.D.I., 8 B 24, f°80 r°, cité *in* Bernardi, Nicolas 2003, p. 291, n. 19.

A.D.I., 8 B 671, f° 143 r°/v°, 9 juillet 1397 et f° 143 v°-146 v°, 21 mai 1398, et f° 145 v°-146 r°, 21 mai 1398, Château-Queyras, cité et extraits transcrits *in* Nicolas 2002, p. 373.

A.D.I. B 3699 (original seconde enquête delphinal 1260).

A.D.I., B 3700 (original troisième enquête delphinale, 1265).

A.D.I., B 2623 (1371).

A.D.I., B. 2613 (1316).

A.D.I., B 3339 et B 2945, f°785r°-790r° (le dauphin récupère la vallée de Livet).

A.D.I., B 3245, f°107 à 110 v° (copie XVe s.), transcrit *in* Allix 1929b, pp. 181-184.

A.D.I., Marcellier, Inv. VI, f° 62v°, f° 171v° à 177v°.

A.D.I. B3120, source mentionnée *in* Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994, p. 43.

A.D.I., B 2992, f°272 (fin XVe s.).

Archives de la D.R.I.R.E. : A. D.R.I.R.E.

A. D.R.I.R.E., DUFOUR, Freissinières : filons du Fangeas et de Faravel, *Rapport B.R.G.M. D.R.M.M. 12/08/1962*, 21 p.

A. D.R.I.R.E., Gap, dos. 52/59 et 52/68, BAUDINOT (L.), *Rapport annuel sur la concession de la mine de plomb du Grand Clot*, 1867 (transcription B. Ancel inédite).

A. D.R.I.R.E., Arg. 7, *Rapport sur la mine de l'Argentière par l'ingénieur J. Scipion Gras*, 18 décembre 1836.

Archives Départementales de Savoie : A.D.S.

A.D.S., SA, Archives comm. de Saint-Michel-de-Maurienne, 1475-1481, DDI, f°219 v°, source citée *in* Bailly-Maître, Dhénin 2004, p. 51.

Archives d'Innsbruck :

Innsbruck Pestarchiv, XIV 826, EMPL (H.), *Rapport sur les mines du Leberthal : Am Neuen perg zu Eckerich*, traduction inédite P. Fluck.

Innsbruck Pestarchiv XIV 697, HIPP (H.), *Rapport sur les mines de Newenberg zu Eckerich,* traduction de P. Fluck *in* : *Pierres et Terre*, 18, 1979, pp. 45-53.

Archives Municipales de l'Argentière-la Bessée : A. M. l'Argentière-la Bessée

A. M. l'Argentière-la Bessée, Registre paroissial de l'Argentière (1825-1910).

A.M. l'Argentière-la Bessée, terriers de 1650 et 1780 et rôles du XVIIIe siècle.

Archives Municipales de Grenoble : A.M.G.

J.-H. Albanès : volume de préparation de la *Gallia christiana novissima,* Bibl. mun. Grenoble : ms R 9058(7).

Archives Nationales : A. N.

A.N., F. 14 8050 19/3, *Mémoire par Schlagberg adressé à l'Intendant Général*, 25 avril 1789.

A.N., F14 8050 19/2, *Rapport sur la mine de l'Argentière par l'ingénieur Muthuon*, 8 pluviose An IV, 28 janvier 1796.

A.N., KK 329 (Registre des comptes de Pierre Granier, février 1455-février 1456).

A.N., F 14 8131, *Etat des mines connues dans la Généralité de Dauphiné (*vers 1783), extraits transcrit *in* Ancel 2006a, p. 13.

A.N., H1.1588.19.

A.N. K. 1156 (copie de l'acte de 1210).

Bibliothèque Nationale : B.N.

B.N., ms. lat. 17558 (*Peiresc miscellanea*), f°34 et f°35-36 (copies du XVIIe).

B.N., ms lat. 10.954, f° 394 (copie du contrat de mariage de 1202).

BN, ms lat. 10951, f°473 (copie de l'acte de 1222) et f°477 (copie).

B. N., ms lat. 13916, f° 126 v° (copie de l'acte de 1119).

B.N., ms fr. 8479, f°1, cité *in* GUILLAUME (P.), Notice historique…, *op. cit.*, p. 276, n. 2.

École des Mines de Paris : E.M.P.

E.M.P., Mémoire de voyage, n°436, LAN (Ch.-R.), *Mémoire sur l'exploitation par le feu de la mine du Rammelsberg*, 1850.

E.M.P., Mémoire de voyage, M 865, SILHOL (A.-A.), *De l'exploitation et du traitement métallurgique du minerai au Rammelsberg*, 1867.

E.M.P., Mémoire de voyage, M 831, NIVOIT (E.), *Mémoire sur les mines d'argent de Konsberg en Norvège*, 1864.

E.M.P., Mémoire de voyage n°233, GALISSARD DE MARIGNAC (J.-C.), *Notice sur les mines de Kongsberg en Norvège*, 1839.

I.2. Sources anciennes éditées

AMMIEN MARCELLIN, *Histoire de Rome*, Livre XV, texte établi et traduit par GALLETIER (É), Paris, Les Belles Lettres, 1968.

AMMIEN MARCELLIN, *Histoire de Rome*, Livre XV, *in* : NISARD (M.) (dir.), *Ammien Marcellin, Jornandès, Frontin (les Stratagèmes)…*, Collection des Auteurs latins, Paris, Firmin Didot, 1860.

APOLLODORE DE DAMAS, *Les Poliorcétiques, in* : *Poliorcétiques des Grecs. Traités théoriques. Récits historiques…*, trad. française de WESCHER (C), Paris, Imprimerie impériale, 1867.

APPIEN, *Histoire romaine*, T. III, Livre VII, IV, Le livre d'Annibal, texte établi et traduit par GAILLARD (D.), Paris, Les Belles Lettres, 1998.

AULU-GELLE, *Nuits d'Attique*, Livre XVII, 8, *in* : *Œuvres complètes d'Aulu-Gelle…*, traduit du latin par CHAUMONT (E.), FLAMBART (F.) et BUISSON (E.), nouvelle édition revue et augmentée par CHARPENTIER (J.-P.) et BLANCHET (F.), Paris, Garnier frères, 1919.

Bibl*e*, Ancien Testament, traduction CHOURAQUI (A.), Paris, Desclée De Brouwer, 1977.

Code Théodosien, Livre 10, *De metallis et metallariis*, 10.19.10 et 10.19.14

Corpus Iuris Civilis Iustinianei *: cum commentariis accursi, scholiis contii, et Dionysii Gotthofredi…, Tomus primus continens digestum vetus, Lugduni, Sumptibus Petri Landry*, 1612.

DÉMOSTHÈNE, *Plaidoyers civils*, T. I, Discours XXVII-XXXVIII, texte établi et traduit par GERNET (L.), Collection des Universités de France, Paris, Les Belles Lettres, 1954.

DÉMOSTHÈNE, *Discours judiciaires*, Discours XXI : Contre Midias, traduction entièrement nouvelle, avec arguments et notes par POYARD (C.), Paris, Garnier Frères, 1905.

DIODORE DE SICILE, *Bibliothèque historique*, texte établi et traduit par BOMMELAER (B.), Paris, Les Belles Lettres, 1989.

DION CASSIUS, *Roman history*, Book XXXVI, with an english translation by CARY (E.), London, 1961.

DION CASSIUS, *Histoire romaine*, Livre XXXVI, traduit en français par GROS (E.), Paris, Firmin Didot, 1850.

FORTIA D'URBAN (éd.), *Recueil des itinéraires anciens : comprenant l'itinéraire d'Antonin, la table de Peutinger et un choix de périples grecs*, Paris, Imprimerie royale, 1845, XIX-558 p.

GALIEN, *Claudii Galeni opera omnia*, T. XI, traduction latine, KÜHN (C. G.) éd., Leipzig, C. Cnoblochii, 1821-1833.

JUVENAL, *Juvenal and Persius*, with an english translation by RAMSAY (G. G.), London, 1961.

La Bible de Jérusalem, trad. Française sous la dir. de l'École biblique de Jérusalem, nouvelle éd. revue et corrigée, Paris, Les Éditions du Cerf, 2003.

LUCRÈCE, *De la nature des choses*, traduction nouvelle, introduction et notes de CLOUARD (H.), deuxième édition revue et corrigée, Paris, Garnier Frères, 1939.

MACROBE, *Les saturnales*, Livre VII, *in* : NISARD (M.) dir., *Macrobe, Varron, Pomponius Méla, oeuvres completes,* Collection des Auteurs latins, Paris, Didot, 1854.

MANILIUS, *Les Astronomiques*, *in* : NISARD (M.) dir., *Stace, Martial, Manilius, Luci* : *oeuvres complètes avec la traduction en français,* Collection des auteurs latins avec la traduction en français, Paris, Firmin-Didot, 1878.

PHOTIUS, *Bibliothèque*, Tome VII ("Codices" 246-256), 250, Agatharchide, texte établi et traduit par HENRY (R.), Paris, Les Belles Lettres, 1974.

PLINE L'ANCIEN, *Histoire Naturelle*, Livre XXIII, texte établi, traduit et commenté par ANDRÉ (J.), Paris, Les Belles Lettres,1971.

PLINE L'ANCIEN, *Histoire Naturelle*, Livre XXXIII, texte établi, traduit et commenté par H. ZEHNACKER, Paris, Les Belles Lettres, 1983.

PLUTARQUE, *Œuvres morales*, Propos de table, *in* : *Œuvres complètes de Plutarque – Œuvres morales*, traduites en français par BÉTOLAUD (V.), t. III, Paris, Hachette, 1870.

POLYBE, *Histoire*, texte traduit présenté et annoté par ROUSSEL (D.), Bibliothèque de la Pléiade, Paris, Gallimard, 1970.

PTOLÉMÉE, *Géographie*, L. III, c. 1, *in* : traduction en français de HALMA (N. B.), *Traité de géographie*, Bordeaux, 1989 (1ère éd. 1828).

SILIUS ITALICUS, *Les guerres puniques*, *in* : NISARD (M.) (dir.) : *Lucain, Silius Italicus, Claudien, œuvres complètes avec la traduction en français*, Paris : Firmin-Didot, 1871.

THÉOPHRASTE, *De igne. A post-aristotelian view of the nature of fire*, edited with introduction, translation and commentary by COUTANT (V.), Assen, Koninklijke Van Gorcum & Comp., 1971.

THUCYDIDE, *Histoire de la guerre du Péloponnèse*, traduction nouvelle et introduction par VOILQUIN (J.), Paris, Garnier frères, 1948.

TITE-LIVE, *Histoire romaine*, texte établi et traduit par JAL (P.), Paris, Les Belles Lettres, 1988.

TITE-LIVE, *Histoire romaine*, traduction française de la collection Panckoucke, t. III, Paris, Garnier, 1909, repris par FLOBERT (A.), Paris, Garnier-Flammarion, 1993.

VITRUVE, *De l'architecture*, texte établi, traduit et commenté par CALLEBAT (L.), Paris, Les Belles Lettres, 1973.

WALCKENAER (C.-A.) (éd.), *Géographie ancienne historique et comparée des Gaules cisalpine et transalpine ; suivie de l'Analyse géographique des itinéraires anciens, ….* Paris, P. Dufart, 1839, 3 t.

I.3. Sources médiévales éditées

***Acta sanctorum Junii** : ex latinis et graecis…*, V, reproduction en fac-sim. de l'éd. de 1709, Bruxelles, Culture et civilisation, 1969.

***Acta sanctorum Junii** : ex latinis et graecis…*, VII, reproduction en fac-sim. de l'éd. de 1867, Bruxelles, Culture et civilisation, 1969.

ALBANÈS (J.-H.) et CHEVALIER (U.) (dir. et éd.), *Gallia Christiana Novissima*, Histoire des archevêchés, évêchés et abbayes de France…,Tome premier : Aix, Apt, Fréjus, Gap, Riez et Sisteron, Montbéliard : Société anonyme d'imprimerie montbéliardaise, 1899, 615 p.

APPELT (H.) (dir. et éd.), Die Urkunden Friedrichs I. 1152-1158, *M.G.H., Diplomata regum et imperatorum Germaniae*, X-1, Hanovre, Hahnsche Buchhandlung, 1975.

BARACHETTI (G.) (éd.), Possidimenti del vescovo di Bergamo nella valle di Ardesio, Documenti dei secc. XI-XV, *Bergomum*, (fasc. I-III), anno LXXIII, Bergame, 1980, V-LIII, pp. 2-208.

BAUDI DI VESME (C.), MARCHESE (E.) (éd.), *Codex Diplomaticus Ecclesiensis, Historiae Patriae Monumentae*, 17, *Augustae Taurinorum, Fratres Bocca bibliopolas regis*, 1877.

BELDICEANU (N.) (éd.), *Les actes des premiers sultans conservés dans les manuscrits turcs de la bibliothèque nationale à Paris. II Règlements miniers 1390-1512*, Paris, Mouton & Co, 1964, 307 p. et cartes.

BENOÎT (F.) (éd.), *Recueil des actes des comtes de Provence appartenant à la maison de Barcelone. Alphonse II et Raimond Bérenger V (1196-1245)*, « Collection de textes pour servir à l'histoire de Provence », Monaco, Paris, A. Picard, 1925, 2 vol.

BONAINI (F.) (éd.), *Ordinamenta super arte fossarum rameariae et argenteriae civitatis Massae*, Statuto delle miniere d'argento e di rame della città di Massa, *Archivio Storico Italiano*, série 1, appendice VIII, 1850, appendice all'archivio storico italiano n° 27, pp. 631-699.

BRUNEL (C.) (éd.), *Les plus anciennes chartes en langue provençale. Recueil des pièces originale antérieures au XIIIe siècle*, Paris, A. Picard, 1926, LXIII-497 p.

CHOMEL (V.) (éd.), Un censier dauphinois inédit. Méthode et portée de l'édition du Probus, *Bulletin philologique et historique du Comité des travaux historiques et scientifiques*, Actes du 89e Congrès national des Sociétés savantes tenu à Lyon, 1964, Paris, 1967, pp. 319-407.

CIPOLLA (C.) (dir. et éd.), *Monumenta Novaliciensia Vetustiora*, vol. 1, Istituto Storico Italiano, *Fonti Storia d'Italia*, XXXI, Roma, 1898, 448 p.

CLOUZOT (E.) (éd.), *Pouillés des provinces d'Aix, d'Arles et d'Embrun*, Collection « Recueil des historiens de la France », Pouillés publiés sous la dir. de M. PROU, Paris, 1923.

COLLINO (G.) (éd.), *Le carte della prevostura d'Oulx raccolte e riordinate cronologicamente fino al 1300*, Biblioteca della società storica subalpina, *Corpus Chart. Italiae*, XXXIII, 1908, 411 p.

COSSART (G.) (éd.), *Sacrosancta Concilia ad regiam editionem exacta*…, 17 t. en 18 vol. *Lutetiae Parisiorum*, 1672.

CRESCENZI (P. de), *Ruralia commodora*, Das Wissen des vollkommenen Landwirts um 1300, texte latin établi par W. Richter, Heidelberg, Universitätsverlag C. Winter, Editiones Heidelbergenses, vol. XXV, 1995, 193 p, XXVI, 1996, 313 p., XXVII, 1998, 261 p.

FOUCARD (éd.), *Notizie sull'industria mineraria nella Venezia sotto il dominio della Repubblica, Appendice alla Rivista del Servizio minerario nel 1913*, Rome, 1915, 82 p.

GEARY (P. J.) (éd.), *Aristocracy in Provence. The Rhône basin at the dawn of the carolingian age*, Monographien zur geschichte des mittelalters, Band 31, Stuttgart, Anton Hiersemann, 1985, 180 p.

GRÉGOIRE DE TOURS, *Histoire des Francs*, M. GUIZOT éd., « Collection des mémoires relatifs à l'histoire de France », Paris, 1823.

GUÉRARD (B.) (éd.), *Cartulaire de l'abbaye de Saint-Victor de Marseille*, Cartulaires de France (coll.), t. VIII & IX, Paris, Typographie de Ch. Lahure, 1857, I, 651 p. & II, 944 p.

Gallia christiania : *Tomus tertius* (t. 3) : *Ecclesia Cameracensis, Tornacensis, Atrebatensis, Audomarensis, Coloniensis, Leodiensis, Ebredunensis, …*, Paris, *Ex typographia Regia*, 1725.

GUICHENON (S.) (éd.), *Bibliotheca Sebusiana, sive variarum chartarum, diplomatum, fundationum… nusquam antea editarum, miscellae centuriae II, quibus duabus centuriis adjecta est tertia… Ex archivis regiis… ad historiae lucem collegit et…, Lugduni*, G. Barbier, 1666.

GUILLAUME (P.) (abbé) (éd.), Bulle inédite du pape Eugène III en faveur de l'église d'Embrun, 1150, *Annales des Alpes*, Gap, 1910, pp. 189-193.

GUILLAUME (P.) (abbé) (éd.), *Chartes de Durbon, quatrième maison de l'ordre des Chartreux, Diocèse de Gap*, Paris, Montreuil-sur-Mer, 1893, 904 p.

GUILLAUME (P.) (abbé) (éd.), Inventaire des archives seigneuriales de l'Argentière en 1481, *Bulletin de la Société d'Étude des Hautes-Alpes*, septième année, supplément, Gap, 1888, 67 p.

GUILLAUME (P.) (abbé) (éd.), Documents inédits relatifs à l'Argentière, XIIIe et XVIIIe siècles, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, Gap, 1884, pp. 192-221.

HÄGERMANN (D.), LUDWIG (K.-H.) (éd.) *Europäisches montanwesen im hochmittelalter. Das Trienter Bergrecht 1185-1214*, Köln, Wien, Böhlau, 1986, 80 p.

ISAMBERT (F.-A.) (éd.), *Receuil général des anciennes lois françaises*, v. X, Paris, Belin-Leprieur, 1833.

JAFFÉ (Ph.) (éd.) *Regesta pontificum romanorum*, Berolini, Veit, 1851.

KINK (R.) (éd.) *Codex Wangianus, Urkundenbuch des Hochstiftes Trient, Fontes Rerum Austriacarum, Diplomataria et Acta 5*, Wien, 1852.

LEON (P.) (éd.), Un document médiéval : le règlement minier d'Allevard 29 mars 1395, *Revue d'Histoire de la Sidérurgie*, Nancy, 1962, pp. 229-240.

LÉONARD (É.-G.) (éd.), *Catalogue des actes des comtes de Toulouse, t. 3 : Raymond V (1149-1194)*, Paris, A. Picard, 1935, LXXXIX-167 p.

LEROY (B.) (éd.), Théorie monétaire et extraction minière en Navarre vers 1340, *Revue de Numismatique*, 1972, pp. 115-116.

LU JUNG, *Shu Yuan Tsa Chi*, 1475, ch. 14, p. 9a, *in* : GOLAS (P.), NEEDHAM (J.), *Science and civilisation in China*, 5, Cambdrige University Press, 1999, part. 13, p. 303 (traduction du texte chinois en anglais).

MARION (J.) (éd.), *Cartulaires de l'église cathédrale de Grenoble dits cartulaires de Saint-Hugues*, collection de documents inédits sur l'histoire de la France, Première série, Histoire politique, Paris, Imp. Impériale, 1869, XCI-586 p.

MIGNE (J.-P.) (éd.), *Patrologia Latina*, Paris, Brepols, 1853 et 1864.

NOGARA (B.), CESSI (R.), BONELLI (G.) (dir. et éd.), *Statuti Rurali Bresciani del secolo XIV (Bovegno, Cimmo e Orzinuovi, Corpus Statutorum Italicorum*, n°10, Milano, Ulrico Hoepli, 1927.

PIERRE LE VÉNÉRABLE, *Petri Cluniacensis abbatis De miraculis, libri duo*, Turnhout, Brepols, collection « *Corpus christianorum. Continuatio mediaevalis* », 1988, 187 p.

PERTZ (G. H.) (éd.), *Monumenta Germaniae Historica, Leges*, I, II, Hanovre, 1835-1837.

RIBOIS (M. de) (éd.), *La grande charte des libertés briançonnaises, 29 mai 1343*, traduite et résumée par M. de Ribois, Éditions Ophrys, 1962, p. 10.

RIVAUTELLA (A.), BERTA (F.) (éd.), *Ulciensis ecclesiae chartarium, animadversionibus illustratum, Augustae* Taurinorum, typis *regis*, 1753, 8-LVII, 220 p.

ROMAN (J.) (éd.), *Les Chartes de l'ordre de Chalais 1101-1400*, 3 t., Paris, Ligugé, 1923, I, p. 135 p. ; II, 190 p.

ROMAN (J.) (éd.), Deux chartes inédites du XIe siècle, extrait du *Bulletin de l'Académie Delphinale*, 3ème Série, t. XX, Grenoble, F. Allier Père et Fils, 1886, 20 p.

TEULET (A.) (éd.), *Layettes du Trésor des chartes*, t. 1 et t. 4, Paris, Plon, 1863 et 1902.

TOMASCHEK (J.-A.) (éd.), *Das alte Bergrecht von Iglau und seine bergrechtlichen Schöffensprüche*, Innsbruck, 1897.

WORMS (S.) (éd.), *Schwazer Bergbau im 15, Jahrhundert*, Vienne, 1904.

ZAHN (J.) (éd.), *Urkundenbuch des Herzogthums Steiermark*, I-II, Graz, 1875-1879.

ZYCHA (A.) (éd.), *Das böhmische Bergrecht des Mittelalters auf Grundlage des Bergrechtes von Iglau*, Berlin, F. Valhen, 1900, 516 p.

I.4. Sources de la Renaissance et modernes éditées

BONNIN (B.), FAVIER (R.) dir., *L'Intendance de Dauphiné en 1698*, éd. critique du mémoire rédigé par l'intendant É.-J. BOUCHU « pour l'instruction du duc de Bourgogne », éd. du C.T.H.S., « Collection de documents inédits sur l'histoire de France », n°35, Paris, 2005.

DAUVET (J.), *Les affaires de Jacques Cœur : journal du procureur Dauvet, procès-verbaux de séquestre et d'adjudication*, tome 1, Paris, A. Colin, 1952, XXIII-387 p.

FORNIER (M.), *Histoire générale des Alpes Maritimes ou Cottiènes et particulière de leur métropolitaine Ambrun, chronographique et meslée de la séculière avec l'ecclésiastique…*, 3 vol., Paris, H. Champion, 1890-1892.

GROSS (H.), *La Rouge Myne de Sainct Nicolas*, 1530, *in* : BRUGEROLLES (E.), BARI (H.), BENOÎT (P.), FLUCK (P.) et SCHOEN (H.) : *La mine mode d'emploi. La rouge myne de Sainct-Nicolas de la Croix dessinée par Heinrich Groff*, Paris, Gallimard, 1992.

HIPP (H.), Rapport sur les mines du Newenberg zu Eckerich, 1586, Innsbruck Pestarchiv XIV 697, traduction P. Fluck *in* : *Pierres et terre*, 18, Strasbourg, 1979, pp. 45-53.

PRECHTER (W.), Rapport sur l'activité du Val de Lièpvre, 1 octobre 1602, Archives du Haut-Rhin E 1979, traduction P. Fluck *in* : *Bulletin de la Société Historique du Val de Lièpvre*, IX, 1974, pp. 15-61.

Schwazerbergbuch, 1556, *in* : EGG (E.) éd. : *Schwazerbergbuch, Codex Vindobonensis* 10.852, Essen, Verlag Glückauf, 1988.

II. CATALOGUES ET INVENTAIRES

ARTHAUD (L.), *Archives départementales des Hautes-Alpes. Répertoire numérique de la série F (dons divers)*, Gap, Ribaud frères, 1938, XII-272 p.

BAUTIER (R.-H.), SORNAY (J.), *Les sources de l'histoire économique et sociale du Moyen-Âge*, I, Provence, Comtat Venaissin, Dauphiné, États de la Maison de Savoie, Paris, CNRS, 1968, CVI-682 p.

CHEVALIER (C.-U.-J.), *Regeste dauphinois, ou Répertoire chronologique & analytique des documents imprimés et manuscrits relatifs à l'histoire du Dauphiné, des origines chrétiennes à l'année 1349*, Valence, Impr. valentinoise, 1913-1926, 7 vol.

CHEVALIER (C.-U.-J.), *Inventaire des Archives des Dauphins de Viennois à Saint-André de Grenoble en 1346*, Lyon, A. Brun, 1871, XXIV-380 p.

CHEVALIER (C.-U.-J.), *Inventaire des archives des dauphins à Saint-André de Grenoble en 1277*, collection « Documents historiques inédits sur le Dauphiné », Paris, A. Franck, 1869, 48 p.

GUILLAUME (P.) (abbé), *Inventaire sommaire des archives départementales antérieures à 1790*, Hautes-Alpes, Série H, Clergé régulier, t. 1er (premier fascicule), Archives de l'abbaye de Boscodon, Gap, Imp. Alpine, 1913, 67 p.

GUILLAUME (P.) (abbé), *Inventaire sommaire des archives communales antérieures à 1790*, Hautes-Alpes, Archives communales de Guillestre, Gap : Imp. L. Jean & Peyrot, 1906, 509 p.

GUILLAUME (P.) (abbé), *Inventaire des archives du chapitre métropolitaine d'Embrun en 1790-1791*, supplément au *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, n°3, Gap, Jouglard, 1892.

GUILLAUME (P.) (abbé), *Inventaire sommaire des Archives départementales…*, Hautes-Alpes, Archives ecclésiastiques, Série G., Clergé séculier, t. 2 (deuxième fascicule), Archidiocèse d'Embrun, Gap, 1891.

POLY (J.-P.), *Catalogue des actes des comtes de Provence 945-1166*, volume dactylographié annexe, thèse de droit, Université Paris II, 1972, 174 p.

PLAYOUST (A.), *Catalogue des chartes antérieures au XIIe siècle (687-1112)*, Marseille, A.D.B.R., 1998, 139 p.

VÉRITÉ (I.) (dir.), *Répertoire des cartulaires français. Provinces ecclésiastiques d'Aix, Arles, Embrun, Vienne, Diocèse de Tarentaise*, Paris, CNRS, 2003, 401 p.

WIEDERHOLD (W.), *Papsturkunden in Frankreich, Fasc. III. Dauphiné, Savoyen, Lyonnais und Vivarais*, Aus den Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Philologisch – historische Klasse, Beiheft, 1907, 37 p.

III. BIBLIOGRAPHIE ANCIENNE

Ouvrages et articles édités avant 1900 (1910) mentionnés comme les sources dans le corps du texte de synthèse et dans les annexes.

ABIGNENTE (G.), La proprietà del sottosuolo, Studio storico giuridico, Estratto dagli *Annali di Agricoltura*, n°136, Roma, Tipografia Eredi Botta, 1888, 277 p.

AGRICOLA (G.), *De Re Metallica*, translated from the first latin edition of 1556 with Biographical Introduction, Annotations and Appendices upon the Development of Mining…, by HOOVER (H. C.) et HOOVER (L. H.), New-York, Dover Publications, 1950.

AGRICOLA (G.), *De Re Metallica*, traduit de l'édition originale latine de 1556 par FRANCE-LANORD (A.), Thionville, Gérard Klopp, 1987.

AGUILLON (L. C. M.), *Législation des mines française et étrangère*, collection « Encyclopédie des travaux publics », Paris, Baudry, 1886, 3 vol.

ALBERT (A.) (curé), *Histoire géographique, naturelle, ecclésiastique et civile du diocèse d'Embrun : Briançonnais, Haut Embrunais, Queyras, Vallouise*, 1783, 2 vol.

ALBERT (A.), *Le canton de l'Argentière*, Fac-sim de l'éd. de 1887, Nîmes, C. Lacour, 2003, 320 p.

AMEILHON, Premier mémoire sur la métallurgie des anciens. Exploitation des mines d'or, *Mémoires de Littérature*, tirés des registres de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, t. 46, Paris, 1793, pp. 490-493.

AMPERE (J. J.), *Promenade en Amérique. Etats-Unis-Cuba-Mexique*, t. I, Paris, Michel Lévy frères, 1855, 2 vol.

ANONYME, Lettres écrites de Lausanne, *Revue Suisse et Chronique Littéraire*, t. 12, Neuchâtel, 1849, p. 528.

ANONYME, Méthode pour fendre les rochers par l'action du feu, par le Dr. John Mac-Culloch, *Bulletin des Sciences Technologiques*, t. III, 1825, pp. 166-167.

ARDAILLON (É), *Les mines du Laurion*, Bibliothèque des Écoles françaises d'Athènes et de Rome, 77, Paris, A. Fontemoing, 1897, 216 p.

ASTRUC (J.), Mine de plomb près de Durfort, 1737, *in* : GOBET (N.), *Les anciens minéralogistes du Royaume de France*, II, Paris, Ruault, 1779, pp. 505 et suiv.

ATHENAS, *Du passage des Alpes par Annibal et de l'emploi du vinaigre pour rompre les pierres*, Le Lycée Armoricain, Nantes, vol. X, 1827, p. 217.

BADOUREAU (A.), GRANGIER (P.), *Les mines, les minières et les carrières*, Bibliothèque des sciences et de l'industrie, Ancienne maison Quantin, 1892, 330 p.

BAUDI DI VESME (C.), *Dell'industria delle miniere nel territorio di Villa di Chiesa (Iglesias) in Sardigna nei primi tempi della dominazione aragonese*, Torino, Stamperia Reale, 1870, 239 p.

BAUDINOT (M.), *Bulletin de la Société géologique*, 2ème série, t. XVII, 1861.

BERNARD (C.), *Essai historique sur la ville de Forcalquier*, Le Livre d'histoire, collection « Monographies des villes et villages de France », réédition de l'édition de 1905, 2006, 374 p.

BERTEREAU (M. de), baronne de Beau-Soleil, *La Restitution de Pluton à Monseigneur l'Eminentissime Cardinal de Richelieu des mines et minières de France*, Paris, H. du Mesnil, 1640.

BERTHELOT (M.), *Histoire des sciences. La chimie au Moyen Age*, …, 3 vol., Paris, 1893.

BERTHELOT (M.), De l'emploi du vinaigre dans le passage des Alpes par Annibal, ainsi que dans la guerre et les travaux de mines chez les anciens, *Journal des savants*, avril 1889, Paris, 1889, pp. 244-248.

BESSON (J.-A.) (abbé), *Mémoires pour l'histoire ecclésiastique des diocèses de Genève, Tarantaise, Aoste et Maurienne et du décanat de Savoye*, Nancy, Sébastien Hénault, 1759, VIII-506 p.

BILLECARD (L.), Notice sur le dixième arrondissement forestier Hautes-Alpes, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, Gap, 1890, pp. 60-83.

BIRINGUCCIO (V.), *De la Pirotechnia*, reprod. de l'éd. française de 1556 (Paris, Cl. Fremy).

BLANCARD (L.), *Note sur l'origine des Comtes de Provence*, extrait C. R. Trav. Congr. Scient. de France tenu à Aix, décembre 1866, 33e session, Aix, Remondet-Aubin, 1868, 8 p.

BLONDEL (G.), Étude sur les droits régaliens et la constitution de Roncaglia, extrait des *Mélanges Paul Fabre*, Paris, A. Picard, 1902, pp. 236-257.

BLÜMNER (H.), *Technologie und terminologie der gewerbe und künste bei griechen und römern.* IV, Leipzig, Teubner, reprod. de l'éd. de 1887, 1969, 629 p.

BORN (von I. E.), *Voyage minéralogique fait en Hongrie et en Transilvanie*, 1770, trad. de l'allemand avec quelques notes par A. G. Monnet, Paris, 1780.

BRARD (C.-P.), *Éléments pratiques d'exploitation des mines*, Paris, F.-G. Levrault, 1829, pp. 120-122.

BRUN-DURAND (J.), Le Dauphiné en 1698, suivant la mémoire de l'intendant Bouchu sur la généralité de Grenoble, *Bulletin de la Société Archéologique de la Drôme*, 5ème livre, 1874.

BUFFAULT (P.), Les forêts et pâturages du mandement de Guillestre, *extrait du bulletin de géographie historique et descriptive*, n° 1-2, Paris, 1910, 31 p.

Bulletin d'histoire ecclésiastique et d'archéologie religieuse des diocèse de Valence, Gap, Grenoble et Viviers, II, Romans, 1881-1882, p. 259.

BURAT (A.), *Géologie appliquée, ou Traité de la recherche et de l'exploitation des minéraux utiles*, Paris, Langlois et Leclercq, 1843, II-504 p.

BURAT (J.), Les mines du Harz, *Annuaire de l'économie politique pour 1846*, 3ème année, Paris, 1846, pp. 305-314.

BURTON (R. F.), *Wanderings in West Africa from Liverpool to Fernando Po*, vol. I, London, 1863, pp. 226-227.

CAILLAUX (A.), *Tableau général et description des mines métalliques et des combustibles minéraux de la France*, Paris, J. Baudry, 1875.

CALLON (P. J.), *Cours professés à l'École des Mines de Paris, 2e partie, « Cours d'exploitation des mines »*, I, Paris, Dunod, 1874, p. 243.

CAMBRESY (A.), *Dictionnaire minier et métallurgique allemand-français*, Paris, Dunod, 1868, 203 p.

CAPACCI (C.), Studio sulle miniere di Monteponi, Montevecchio e Malfidano in Sardegna, *Bollettino della Società Geologica Italiana*, vol. XV, 1896, pp. 599-628.

CENAC-MONCAUT (J. E. M.), *Histoire des Pyrénées et des rapports internationaux de la France avec l'Espagne depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours*, t. II, 1853, pp. 5-6.

CHABRAND (E.), Coup d'œil général sur la géographie minière des Alpes dauphinoise, *La société des touristes du Dauphiné*, n°39, Grenoble, 1913, pp. 13-244.

CHABRAND (E.), *Les anciennes fonderies des Alpes Delphino-savoisienne*, congrès de Grenoble, 1904, 18 p.

CHABRAND (E.), *Histoire de la métallurgie du fer et de l'acier en Dauphiné et en Savoie*, collection « Bibliothèque scientifique du Dauphiné »., Grenoble, X. Drevet, 1898, 96 p.

CHABRAND (E.), *Essai historique sur les origines de l'exploitation des mines métalliques et de la métallurgie dans les Alpes du Dauphiné*, Grenoble, X. Drevet, 1892, 23 p.

CHABRAND (J.-A.), *Vaudois et Protestants des Alpes*, Grenoble, 1886, 237 p.

CHAIX (B.), *Préoccupations statistiques, géographiques, pittoresques et synoptiques du département des Hautes-Alpes*, Grenoble, Allier, 1845, 336 p.

CHAMBON (J.), *Des mines d'or de Tain en Dauphiné, & du Rhône*, 1714, *in* : GOBET (N.), *Les anciens minéralogistes du Royaume de France*, II, Paris, Ruault, 1779.

CHARPENTIER (J.-F.-W.), *Mineralogische Geographie der Chursächsischen Lande*, Leipzig, 1778.

CHATEAUBRIAND (F.-R. de) , Études historiques, troisième discours sur la chute de l'empire romain, la naissance et les progrès du christianisme et l'invasion des Barbares, *Œuvres complètes*, t. II, 1836.

CHERESEDDIN (A.), *Histoire de Timur-Bec, connu sous le nom de grand Tamerlan, empereur des Mogols & Tartares*, (trad. Pétis de La Croix), t. 3, Paris, 1722, 4 vol.

CHIESA (L. della), *Dell'historia di Piemonte del Sign. Ludovico della Chiesa.…*, Torino, A. Disserolio, 1608, 342 p.

CHORIER (N.), *Histoire générale du Dauphiné*, Grenoble, P. Charvys (Lyon, J. Thioly), 1661-1672, 2 vol., I, 705 p. & II, 782 p. (+ 87 p.).

CHORIER (N.), *L'Estat politique de la province de Dauphiné*, Grenoble, R. Philippes, 1671, 2 vol., I, 357 p. et tables & II, 397 p. et tables.

COLLINS (A. L.), Fire-sitting : the art of mining by fire, *Journal of Federate Institute of mining engineers*, V, 1893, pp. 82-88 et commentaires de C. Le Neve Foster, pp. 88-92.

COMBES (Ch. P. M.), *Traité de l'exploitation des mines*, Paris, Carillan-Goeury et V. Dalmont, 1844-1845, 3 vol.

COQUEBERT DE MONTBRET (C. E.), Tableau des mines et usines du département des Alpes (hautes), *Journal des mines*, t. VI, 34, 1797.

DAUBRÉE (A.), Aperçu historique sur l'exploitation des mines métalliques dans la Gaule, notice supplémentaire, *Revue archéologique*, Nouvelle série, Janvier à juin 1881, n°41, Paris, 1881.

DAUBRÉE (A.), Aperçu historique sur l'exploitation des mines métalliques dans la Gaule, *Revue archéologique*, Nouvelle série, Janvier à juin 1868, n°17, Paris, 1868, pp. 298-313.

DAUBRÉE (A.), Emploi de la chaleur et de la décrépitation qu'elle peut produire pour le percement de certaines roches très dures, et notamment des quartzites, *Annales des Mines*, 5ème série, XIX, Mémoires, pp. 23-25.

DE HAMMERT (J.), *Histoire de l'Empire Ottoman*, t. 9, Paris, 1837, p. 224 (insurrection en Syrie).

DE LAUNAY (L.), Histoire de l'industrie minière en Sardaigne, *Annales des Mines*, t. I, 1892, pp. 511-538.

DELIUS (Ch.-F.), *Anleitung zu der Bergbaukunst / Traité sur la Science de l'Exploitation des mines*, 1773, trad. de l'allemand par J. G. Schreiber, Paris, 1778, 2 vol.

DEPERY (J.-I.) (Mgr.), *Histoire hagiologique du diocèse de Gap*, Gap, 1852, 590 p.

RENIER (L.), DESVERGERS (N.), CARTERON (E.), *Encyclopédie moderne : Dictionnaire abrégé des sciences, des lettres, des arts, de l'industrie…*, t. XXI, Firmin Didot frères, 1860.

DORION (C. J.), *Exploitation des mines : cours de l'École centrale des arts et manufactures*, Librairie polytechnique, 1893, 667 p.

DRINKER (H. S.), *Tunneling explosive compounds, and rock drills… with a history of thunneling from the reign of Rameses II to the present time*, New-York, J. Wiley, 1878.

DURANDI (J.), *Notizia dell'antico Piemonte traspadano di Jacopo Durandi parte prima o sia la Marca di Torino altramenti detta d'Italia*, Torino, Fontana, Saverio, anno 11, 1803.

DUROCHER (J.), Notes sur l'exploitation des mines et des usines dans le nord de l'Europe, *Annales des Mines*, 5ème série, t. VIII, 1855, pp. 213-303.

DUTENS (L.), *Mémoires d'un voyageur qui se repose*, t. III, Paris, 1805.

FAREY (J.), *General view of the agriculture and minerals of Derbyshire.…*, London, 1811.

FOURNIER (P.), *Le royaume d'Arles et de Vienne (1138-1378). Étude sur la formation territoriale de la France dans l'Est et le Sud-Est*, Paris, A. Picard, 1891, 554 p.

GAILLAUD (M.-E.), *Les Hautes-Alpes*, Collection « Éphémérides pour servir à l'histoire du département, Monographies des villes et villages de France », dirigée par M.-G. MICBERTH, réédition de l'édition de 1874, Paris, Res Universis, 1993, 617 p.

GÄTZCHMANN (M. F.), *Vollstandige Anleitung zur Bergbaukunst – Die Gewinnungslehre*, Freiberg, 1846.

GAUTIER (H.), *Traité de la construction des chemins*, Paris, 1721.

GARRAULT (F.), Des mines d'argent trouvées en France, 1579, *in* : GOBET (N.), *Les anciens minéralogistes du Royaume de France*, I, Paris, Ruault, 1779, pp. 1 et suiv.

GOBET (N.), *Les anciens minéralogistes du royaume de France*, Paris, Ruault, 1779, 2 vol.

GRAFF (M.), *Note sur les anciennes exploitation des mines de galène argentifère de l'Argentière*, Société des sciences industrielles de Lyon, 1869, 6 p.

GRAFF (M.), Note sur les anciennes exploitation des mines de galène argentifère de l'Argentière, *Bulletin de la Société de Statistique du Département de l'Isère*, 2e série, t. VI, Grenoble, 1861, pp. 317-327.

GRATEAU (E.), Exploitation par le feu, *Revue Universelle des Mines*, 1ère série, t. XVI, 1864, pp. 197-198.

GUETTARD (J.-É.), *Mémoires sur la minéralogie du Dauphiné*, 2 vol., Paris, Imp. de Clousler, 1779.

GUEYMARD (E.), *Sur la minéralogie et la géologie du département des Hautes-Alpes*, 1830.

GUEYMARD (É.), Exploitation du filon de plomb du Grand-Clot au moyen du feu, *Bulletin de la Société Scientifique de l'Isère*, 3ème série, 1867, I, pp. 293-295.

GUICHARD (F.), *Essai historique sur le Cominalat de Digne*, t. II, 1840.

GUILLAUME (P.), *Guillestre et ses environs*, collection « Monographies des villes et villages de France » coll., réédition de l'éd. de 1906, Paris, Res Universis, 1991, 312 p.

GUILLAUME (P.), Les forêts des Hautes-Alpes en 1727-1728 et la question des déboisements d'après des documents officiels inédits, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 6ème année, Gap, Jouglard, 1887, pp. 81-113.

GUILLAUME (P.), Les forêts de la communauté de Vars en 1727-1732, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, Gap, Jouglard, 1887, pp. 326-334.

GUILLAUME (P.), L'industrie métallurgique dans les Hautes-Alpes avant 1790, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 5ème année, Gap, Jouglard, 1886, pp. 486-489.

GUILLAUME (P.), Fabrique de fer de la gorge du Queyras, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 5ème année, Gap, Jouglard, 1886, pp. 490-503.

GUILLAUME (P.), Notes sur l'institution des Patrices dans les Alpes françaises, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 3ème année, Gap, Jouglard, 1884, pp. 418-443.

GUILLAUME (P.), Notice historique sur l'Argentière, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 2ème année, Gap, Jouglard, 1883, pp. 264-296.

GUILLAUME (P.), *Recherches historiques sur les Hautes-Alpes*, Gap, Jouglard, 1881.

HABETS (A.), *Cours d'exploitation des mines*, Liège, Bureaux de la Revue universelle des mines, 1906, 2 vol.

HARDY (W.), *Miners Guide or Compleat Miner*, Birmingham, 1762.

HATON de la GOUPILLIÈRE (J. N.), *Cours d'exploitation des mines*, t. I, Paris, 1883.

HATON de la GOUPILLIÈRE (J. N.), *Cours d'exploitation des mines*, Paris, 1907.

HELLOT (J.), *Etat des mines du Royaume de France, in* : *De la fonte des mines, des Fonderies etc.*, trad. de l'allemand de Ch. A. SCHLUTTER, Paris, J.-T. Hérissant, 1764.

HENRY (D. M. J.), *L'Égypte pharaonique, ou Histoire des institutions des Égyptiens sous leurs rois nationaux*, t. II, Paris, 1846, p. 250.

HERBELOT (B.) *et al.*, *Bibliothèque orientale ou dictionnaire universel contenant tout ce qui fait connaître les Peuples de l'Orient.…*, tome IV, Paris, 1769, p. 306.

HÉRICART DE THURY (L.-E.-F.), *Aperçu sur le règne minéral du département des Hautes-Alpes*, 1805.

HÉRON DE VILLEFOSSE (A. M.), *De la richesse minérale. Considérations sur les mines, usines et salines des différens états, et particulièrement du royaume de Westphalie, pris pour terme de comparaison.…*, Paris, Levrault imp., 1810-1819, 3 vol.

HOLBACH (J. H. Baron de), DIDEROT (D.), *L'encyclopédie – L'Art des Mines*, Paris, 1751-1772, vol. X, p. 525 et pl. II, « filons et travaux des mines ».

HOOSON (W.), *The Miners Dictionary*, Wrexham, 1747.

HOUGHTON (Th.), *Rara avis in terris, or the Compleat miner in two books* ; *… with an explanation of the miners terms of the art used in this book*, London, W. Cooper, 1681, VIII-121 p.

HUNT (R.), *British mining a treatrise on the history, dicovery, practical development and future prospects of metalliferous mines in the United Kingdom*, Ludgate Hill, Crosby Lockwood and Co, 1884, 944 p.

JARS (A. G.), *Voyages Métallurgiques*, 3 vol, Lyon, G. Regnault, 1774-1781.

KNAB (L.), *Les minéraux utiles et l'exploitation des mines*, Paris, J.-B. Baillière, 1894, 389 p.

JOANNE (A.), *Géographie du département des Hautes-Alpes*, Paris, Hachette, 1879.

LADOUCETTE (J.-C.-F.), *Histoire, Topographie, Antiquités, Usages, Dialectes des Hautes-Alpes avec un atlas et des notes*, réimpression de l'éd. de Paris, Gide et Cie (troisième édition revue et augmentée), 1848, Marseille, Laffitte reprints, 1998, 806 p.

LABAT (J.-B.), *Relation historique de l'Éthiopie occidentale*, t. 4, Paris, 1732.

LAHARPE (J.-F.), *Abrégé de l'Histoire Générale des voyages*, t. VIII, Paris, 1820, livre V, p. 428 (exploitation du Jaspe en Petite Boukharie).

LAMI (E.-O.), *Dictionnaire encyclopédique et biographique de l'industrie et des arts industriels*, 1884.

LAPLANE (M. Éd. de), *Histoire de Sisteron tirée de ses archives*, Digne, A. Guichard, 1843, I, 578 p.

LE CLERC, *Histoire physique, morale, civile et politique de la Russie ancienne*, t. II, livre cinquième, Précis historique des Tatars, Paris, 1783, section XVI, p. 18.

LÉGER (A.), *Les travaux publics, les mines et la métallurgie aux temps des romains*, Paris, Dejey, 1875.

LEHMANN (J. G.), *Traité de physique, d'histoire naturelle, de minéralogie et de métallurgie*, trad. Fraçaise par le Baron P. H. D. HOLBACH, Paris, J.-T. Hérissant, 1759.

LEUCHS (J. CH.), PÉCLET (M. E.), *Traité complet des propriétés, de la préparation et de l'emploi des matières tinctoriales et des couleurs*, Paris, De Malher, 1829, 600 p.

LE NEVE FOSTER (C.), L'exploitation des carrières, *Revue Universelle des Mines*, 3ème série, t. XXXV, p. 281.

LORY (Ch.), *Description géologique du Dauphiné (Isère, Drôme, Hautes-Alpes)…*, Paris, F. Savy, 1860-1864, 748 p.

MAGNUS (O.), *Histoire des pays septentrionaux : en laquelle sont brièvement déduites toutes les choses rares ou étranges qui se trouvent entre les nations septentrionales*, Paris, Martin le Jeune, 1561.

MANES (G.), Mémoire sur les mines d'étain d'Altemberg, *Annales des Mines*, VIII, 1822, pp. 536-546.

MANES (G.), Mémoire sur les mines d'étain de Geyer, *Annales des Mines*, IX, 1823, pp. 288 et suiv.

MANTEYER (G. de), *La Provence du premier au douzième siècle. Études d'histoire et de géographie politique*, Paris, Picard et Fils, 1908-1926, I, 531 p. & II, tables, pp. 529-985.

MANTEYER (G. de), Les origines de la Maison de Savoie en Bourgogne, *Mélanges d'Archéologie et d'Histoire*, 1899.

MARCHESE (E.), Nota sopra alcuni vocaboli contenuti nel Breve di Villa di Chiesa, *Monumenta Historiae Patriae*, t. XVII, *Codex Diplomaticus Ecclesiensis*, *Augustae Taurinorum*, 1877.

MARGAT DE TILLY (J.-B.), *Histoire de Tamerlan, empereur des Mogols et conquérant de l'Asie*, t. 2, Paris, 1739, pp. 317-319

MARMIER (X.), *Voyages de la Commission scientifique du Nord en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux Feroë pendant les années 1838, 1839 et 1840…*, Paris, A. Bertrand, 2 tomes, 1844-1847.

MAXIME (V.), *Les galeries souterraines*, Paris, Hachette, 1876, 352 p.

MEYER (M.), Manuel Historique de la technologie des armes à feu, *Journal des Sciences Militaires*, tome XI, 2ème série, 1835, pp. 31-83.

MONASTIER (A.), *Histoire de l'église vaudoise depuis son origine et des vaudois du Piémont…*, I, Lausanne, Georges Bridel, 1847.

MONNET (A. G.), *Traité de l'exploitation des Mines*, Paris, 1773.

MONTESQUIEU (Ch.-L. de S.), *Voyages de Montesquieu, mémoire sur les mines (vers 1730)*, Bordeaux, 1896.

MÜNSTER (S.), *La cosmographie universelle de tout le monde…*, traduction de F. de Belleforest, Paris, Michel Sonnius, 1575.

NOSTRADAMUS (C.), *L'histoire et chronique de Provence de Caesar de Nostradamus, …*, Lyon, S. Rigaud, 1614, 1092 p. (Reproduction en fac-similé de l'éd. de 1614, Marseille : Laffitte, 1971).

OUTHIER (R.), *La Terre mandarine : journal d'un voyage au nord pour déterminer la figure de la Terre*, reprint de l'édition de 1744, Paris, Seuil, 1994, 284 p.

PAPON (J.-P.), *Histoire générale de Provence*, 2 tomes, Paris, 1776-1786.

PAYEN (A.), Flambage des bois et des roches, *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, 1ère série, t. VI, 1865-1866, pp. 156-161.

PERDONNET (A.), *Dictionnaire de l'Industrie Manufacturière, Commerciale et Agricole*, 1833, p. 670.

PREVOST (F.), *Mémoire sur les anciennes constructions militaires connues sous le nom de forts vitrifiés*, Saumur, Paul Godet, 1863, 47 p.

RECLUS (É.), *Nouvelle Géographie Universelle*, XII, Paris,1887.

ROLLIN (C.), *Histoire ancienne des Egyptien, des Carthaginois, des Assyriens, des Babyloniens, des Mèdes et des Perses, des Macédoniens, des Grecs*, vol. V, Paris, 1740.

ROMAN (J.), Legs faits par Abbon dans son testament dans les *pagi* de Briançon, Embrun, Chorges et Gap, *Bulletin de la Société de Statistique*, 4ème série, t. VI, Grenoble, 1902, pp. 23-46.

ROMAN (J.), Le Briançonnais sa formation et son rattachement à l'archevêché d'Embrun, *Mémoires de la Société des Antiquaires de France*, t. 57 (1896), Paris, 1898, pp. 197-228.

ROMAN (J.), L'archevêque et le chapitre d'Embrun ont-ils eu des droits sur la mine de l'Argentière ?, *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, Gap, 1895, pp. 59-63.

ROMAN (J.), *Histoire de la ville de Gap*, réédition de l'éd. de 1892, Gap, Société d'Études des Hautes Alpes, 1966.

ROMAN (J.), *Tableau historique du département des Hautes-Alpes*, Paris, A. Picard, 1887-1890, 2 vol.

ROMAN (J.), *Répertoire archéologique du département des Hautes-Alpes*, réédition (édition de 1888), Paris, Res Universis, 1991, 231 p.

ROMAN (J.), Séance du mercredi 28 avril 1886, *Bulletin historique et philologique du Comité de Travaux Historiques et Scientifiques*, Année 1886, Paris, Imp. Nationale, 1887, pp. 130-131.

ROMAN (J.), *Tableau historique du département des Hautes-Alpes*, 2 vol., Paris, A. Picard, 1887-1890.

ROMAN (J.), *L'exploitation des mines dans les Hautes-Alpes au Moyen Age*, Valence, 1886, 12 p.

ROMAN (J.), *Dictionnaire topographique du département des Hautes-Alpes comprenant les noms de lieu anciens et modernes*, Paris, Imp. Nationale, 1884, LXXI-200 p.

ROMAN (J.), *Monographie du mandement de l'Argentière*, Paris, A. Picard, 1883, 39 p.

RÖSSLER (B.), *Speculum metallurgiae politissimum, oder hellpolierter Berg-Bau-Spiegel…*, Dresden, 1700.

ROUCHON-GUIGUES (Et. Ch.), *Résumé de l'histoire de l'Etat & Comté souverain de Provence*, 1863.

RUFFI (L.-A. de), *Dissertations historiques et critiques sur l'origine des Comtes de Provence, de Venaissin, de Forcalquier et des Vicomtes de Marseille*, Marseille, H. Brebiers, 1712, 100 p.

SAURET (A.), *Essai historique sur la ville d'Embrun*, Gap, Delaplace P. et F., 1860, 576 p. (une édition reprint, collection « Monographies des villes et villages de France », Paris, Le Livre d'histoire-Lorisse, 2001).

SIMONIN (L.-L.), *La vie souterraine ou les mines et les mineurs*, Paris, Hachette, 1867, 604 p.

SIMONIN (L.), Histoire de l'exploitation des mines en Toscane, *Annales des mines*, Cinquième série, Tome XIV, Paris, Dunod, 1858, 24 p.

SIMONIN (L.), De l'ancienne loi des mines de la république italienne de Massa-Marittima (Toscane). *Annales des mines*, Partie administrative, Cinquième série, Tome VIII, Paris, Dunod, 1859, pp. 1-15.

VAISSETTE (D. Jos.), VIC (D. de), *Histoire générale du Languedoc, avec des notes et les pièces justificatives, composée par deux religieux bénédictins de la congrégation de Saint-Maur*, Toulouse, 1872-1892, 15 vol.

VALBONNAYS (J.-P. M. de B.), *Mémoires pour servir à l'histoire de Dauphiné sous les dauphins de la maison de la Tour du Pin,…*, Paris, Imbert de Bats, 1711, 683 p.

VALBONNAYS (J.-P. M. de B.), *Histoire du Dauphiné et des princes qui ont porté le nom de Dauphins, particulièrement de ceux de la troisième race, descendus des barons de la Tour-du-Pin,…*, Genève, Fabri et Barrillot, 1722, 2 vol.

WILHELM (L.), *Lehrbuch der Bergbaukunde – Für Bergschulen und zum Selbstunterricht, insbesondere für angehendeBergbeamte, Bergbau-Unternehmer, Grubenbesitzer*, Quedlinburg, 1861, 528 p.

IV. BIBLIOGRAPHIE

Remarques :

- Par commodité, les notices publiées dans le *Bulletin Scientifique Régional* sont considérées comme des articles et les Bulletins comme des périodiques abrégés comme suit : B.S.R. P.A.C.A., B.S.R. Rhône-Alpes, etc.

- Les mémoires de DEA ou de Thèse de Doctorat et les rapports de fouille ou de prospection non publiés sont considérés comme des ouvrages. Ils apparaissent soulignés.

- La présentation des références suit un ordre alphabétique. Pour les publications à deux ou plusieurs auteurs, le nom de l'auteur principal est indiqué en gras, suivi de la mention *et al.* et de l'année d'édition.

- La présentation des références suit également un classement chronologique : de l'édition la plus récente à l'édition la plus ancienne.

IV.1. Outils de travail

IV.1.1. En sciences historiques

En plus des catalogues et inventaires mentionnés *supra*.

Du Cange 1954 : DU CANGE (Ch. D.). – *Glossarium mediae et infimae latinitatis.* Graz : Akademische Druck, 1954.

Gaffiot 2000 : GAFFIOT (F.). – *Le Grand Gaffiot. Dictionnaire Latin-Français.* Paris : Hachette, 2000.

IV.1. 2. En sciences biologiques

Anagnost *et al.* 1994 : ANAGNOST (S. E.), MEYER (R. W.), ZEEUW (C. DE). – Confirmation and significance of Bartholin's method for the identification of the wood of *Picea* and *Larix*. *IAWA Journal*, 15(2), 1994, pp. 171-184.

Bartholin 1979 : BARTHOLIN (T.). – The *Picea-Larix* problem. *IAWA Bull.* 1, 1979, pp. 8-10.

Braun-Blanquet 1961 : BRAUN-BLANQUET (J.). – *Die inneralpine Trockenvegetation, von der Provence bis zur Steiermark*. Stuttgart : Gustav Fischer, 1961, 273 p.

Braun Blanquet *et al.* 1952 : BRAUN BLANQUET (J.), ROUSSINE (N.), NEGRE (R.). – *Les groupements végétaux de la France méditerranéenne*. Montpellier : CNRS, 1952, 297 p.

Cadel, Gilot 1963 : CADEL (G.), GILOT (J. Cl.). – Feuille de Briançon (XXXV-36), *in : Documents pour la carte de végétation des Alpes*, I, Laboratoires de Biologie Végétale de Grenoble et du Lautaret, Grenoble, 1963, pp. 91-139.

Contini, Lavarelo 1982 : CONTINI (L.), LAVARELO (Y.). – *Le pin cembro. Répartition, écologie, sylviculture et production*. INRA, Paris, 1982. 197 p.

Delbelmas *et al.* 1999 : DEBELMAS (J.), RICHARD (L.), BOCQUET (A.), GARCIN (A.), GENEST (L.), LESEIGNEUR (L.), LYON-CAEN (J.-F.), NOBLET (J.-F.), PAUTOU (G.), ZUANON (J.-P.). – *Les Alpes. La géologie, les milieux, la faune et la flore, les hommes*. Paris : Delachaux et Niestlé, 1999. 319 p.

Duchaufour, Fourchy 1952 : DUCHAUFOUR (Ph.), FOURCHY (P.) – Études sur l'écologie et la sylviculture du Mélèze (*Larix europaea* D. C.). II : Pédologie et facteurs biotiques. *Annales de l'École Nationale des Eaux et Forêts*, XIII, 1, pp. 133-197.

Flous 1934 : FLOUS (F.). – La question des Pins sylvestres aux Pyrénées. *B.S.H.N.T.*, 1934, pp. 181-192.

Gaetani *et al.* 1981 : GAETANI (M.), TOMASELLI (R.), PETROVITCH GERASIMOV (I.), F. FRANKLIN (J.), PHILIPPI (G.), GENTILE (S.), MIYAWAKI (A.), NOBLE (J.), ASH (J.), ZULLINI (A.), VENTURI (B.) & LANZARA (P.). – *Les forêts, arbres et arbustes*. La nature coll., Le livre de Paris/Hachette, pour l'édition française, 1981, 155 p.

Gaussen 1937 : GAUSSEN (H.). – Les résineux des Pyrénées françaises. *T. L. F. T.*, tome 3, 1937.

Gaussen 1926 : GAUSSEN (H.). – *Végétation de la moitié orientale des Pyrénées, Sol, Climat, Végétation*. Toulouse, 1926, 559 p.

Greguss 1955 : GREGUSS (P.). – *Identification of living Gymnosperms on the basis of Xylotomie*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1955, 350 pl., 263 p.

Greguss 1959 : GREGUSS (P.). – *Holzanatomie der Europaïchen Laubhölzer und Straücher*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1959, 303 pl., 330 p.

Grey-Wilson, Blamey 1990 : GREY-WILSON (C.) & BLAMEY (M.). – *Guide complet des fleurs de montagne: Alpes, Pyrennées, Apennins, Vosges, Jura, Massif Central*. Paris : Delachaux & Niestlé, 1990.

Grey-Wilson, Blamey 1991 : GREY-WILSON (C.), BLAMEY (M.), *La flore d'Europe occidentale*. Paris : Arthaud, 1991.

Grey-Wilson, Blamey 1993 : GREY-WILSON (C.), BLAMEY (M.). – *Mediterranean wild flowers*. London : Collins, 1993, 560 p.

Grey-Wilson, Blamey 2000 : GREY-WILSON (C.), BLAMEY (M.). – *Toutes les fleurs de Méditerranée – Les fleurs, les graminées, les arbres et les arbustes*. Les guides du naturaliste coll., Paris : Delachaux & Niestlé, 2000, 560 p.

Grosser 1977 : GROSSER (D.). – *Die hölzer mitteleuropas, ein mikrophotographischer Lehratlas*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 1977, 208 p.

Gruber 1978 : GRUBER (M.). – *La végétation des Pyrénées ariégeoises et catalanes occidentales.* Thèse d'état. Aix-Marseille III, 1978, 305 p.

Inventaire Forestier National 1997, Département des Hautes-Alpes, Résultats du troisième inventaire forestier (1997), I.F.N., 1999, 171 p.

Jabiol *et al.* 1995 : JABIOL (B.), BRÊTHES (A.), PONGE (J.-F.). – *L'humus sous toutes ses formes*. Nancy : École nationale du génie rural des eaux et forêts, 1995, 63 p.

Jacquiot 1955 : JACQUIOT (C.). – *Atlas d'anatomie des bois Conifères*. 2 vol., Centre technique du bois, Paris, 1955, 133 p. & 72 pl.

Jacquiot *et al.* 1973 : JACQUIOT (C.), TRENARD (Y.) & DIROL (D.). – *Atlas d'anatomie des bois des Angiospermes*. Centre technique du bois, Paris, 1973, t. 1, 175 p. & t. 2, 72 pl.

Meyer 1981 : MEYER (D.). – *La végétation des vallées de Vallouise, du Fournel et de la Biaysse (Pelvoux oriental – Hautes-Alpes). Analyse phytosociologique et phytogéographique des étages collinéen, montagnard et subalpin.* Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille I, 1981, 176 p.

Nicollet 2002 : NICOLLET (B.) (coord.). – *À la découverte des fleurs des Alpes, 350 espèces dans leur milieu.* Ouvrage conçu et rédigé par le Parc national des Écrins (Domaine Gap-Charance), Libris éd., 2002.

Ozenda 1994 : OZENDA (P.). – *Végétation du continent européen*. Paris : Delachaux & Niestlé, 1994, pp. 160-185.

Ozenda 1985 : OZENDA (P.). – *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen*. Paris : Masson, 1985, 331 p.

Ozenda 1982 : OZENDA (P.). – *Les végétaux dans la biosphère*. Paris : Doin, 1982.

Ozenda 1981 : OZENDA (P.). – *La végétation des Alpes du Sud-Occidentales, notice détaillée des feuilles 60 Gap – 61 Larche – 67 Digne – 68 Nice – 75 Antibes.* Paris : CNRS, 1981, 258 p.

Ozenda *et al.* 1963 : OZENDA (P.), CADEL (G.), GILOT (J.-C.), GOBERT (J.), THIÉBAUT (M.), et TONNEL (A.). – *Documents pour la carte de végétation des Alpes.* Grenoble, Laboratoire de Biologie végétale, Université de Grenoble, 1963, 140 p.

Ozenda 1961 : OZENDA (P.). – *Carte de végétation de la France, feuille n°68*, Nice : CNRS, 1961.

Queiroz, Van der Burgh 1989 : QUEIROZ (P. F.), VAN DER BURGH (J.). – Wood anatomy of Iberian Ericales. *Revista de Biologia*, 14, 1989, pp. 95-134.

Rameau *et al.* 1889-1993 : RAMEAU (J.-C.), MANSION (D.), DUME (G.). – *Flore forestière française, guide écologique illustré*. T. 1, Plaines et collines, t. 2, Montagnes, Institut pour le développement forestier, 1989-1993, I, 1785 p. & II, 2421 p.

Raven *et al.* 2003 : RAVEN (P. H.), EVERT (R. F.), EICHHORN (S. E.), BOUHARMONT (J.). – *Biologie végétale.* Traduit par J. Bouharmont et Ch.-M. Evrad, De Boeck Université, 2003, 968 p.

Salomez 2006 : SALOMEZ (P.) (coord.). – *Arbres et arbustes de montagne, 230 espèces dans leur milieu*. Ouvrage conçu et rédigé par le Parc national des Écrins (Domaine Gap-Charance), Libris éd., 2006.

Sandoz, Barbero 1974 : SANDOZ (H.), BARBERO (M.). – Les fruticées à *Rhododendron ferrugineum* et *Juniperus nana* et les mélézins des Alpes maritimes et ligures. *Revue de Biologie et d'Écologie Méditerranéenne*, 1 (3), 1974, pp. 63-96.

Schweingruber 1978 : SCHWEINGRUBER (F. H.). – *Mikroskopische holzanatomic: Anatomie microscopique du bois*. Birsmensdorf : Institut Fédéral de Recherches Forestières (Suisse), éditeur Zürcher AG, Zug, 1978, 226 p.

Schweingruber 1990 : SCHWEINGRUBER (F. H.). – *Anatomie europäischer hölzer : Anatomie of European woods*. Stuttgart : Haupt, 1990, 800 p.

Vernet *et al.* 2001 : VERNET (J.-L.), OGEREAU (P.), FIGUEIRAL (I.), MACHADO YANES (C.) & UZQUIANO (P.). – *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents, Sud-Ouest de l'Europe : France, Péninsule ibérique et Îles Canaries*. Paris : CNRS, 2001, 395 p.

IV.1.3. En sciences statistiques

Chenorkian 1996 : CHENORKIAN (R.). – *Pratiques archéologiques statistique et graphique.* Paris : Errance, 1996, 162 p.

IV.2. Bibliographie générale

Ali 2003 : ALI (A.). – *Les systèmes travertineux holocènes et la caractérisation des paléopaysages méditerranéens et subalpins (France) : une approche géobotanique séquentielle à haute résolution spatiale*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 2003. 56 p. et documents.

Ali *et al.* 2002 : ALI (A.), GUENDON (J.-L.), TERRAL (J.-F.), QUINIF (Y.), ROIRON (P.). – Végétation holocène et dynamique d'une forêt subalpine (Queyras-France) : étude géomorphologique et paléobotanique de formations travertineuses. *Quaternaire*, 13, (3-4), 2002, pp. 229-236.

Ali *et al.* 2003a : ALI (A.), CARCAILLET (C.), GUENDON (J.-L.), QUINIF (Y.), ROIRON (P.), TERRAL (J.-F.). – The early Holocene treeline in the southern French Alps : new evidence from travertine formations. *Global Ecology & Biogeography*, 12, 2003, pp. 411-419.

Ali *et al.* 2003b : ALI (A.), GUENDON (J.-L.), TERRAL (J.-F.), ROIRON (P.). – Les systèmes travertineux holocènes et les paléopaysages méditerranéens et subalpins (France) : une analyse géobotanique séquentielle à haute résolution spatiale. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 57, n°2-3, 2003, pp. 219-235.

Allix 1929a : ALLIX (A.). – Métaux précieux et chercheurs de fortune en Oisans (Haut-Dauphiné). *Revue de l'Université de Lyon*, Lyon, 1929, pp. 127-159.

Allix 1929b : ALLIX (A.). – *L'Oisans au Moyen Âge. Étude de géographie historique en haute montagne d'après des documents inédits suivie de la transcription des textes*. Grenoble, 1929, Marseille, Laffites Reprints, 1978. 255 p.

Amado 1977 : AMADO (C.). – La seigneurie des mines en pays de Béziers et en Razès analyse de trois documents de la seconde moitié du XIIe siècle, *in : Mines et mineurs en Languedoc-Roussillon et régions voisines de l'Antiquité à nos jours*, Actes du XLIXe congrès de la Fédération historique du Languedoc méditerranéen et du Roussillon, Alès 22-23 mai 1976, Montpellier, C.N.R.S., 1977, pp. 125-144.

Amouric 1992 : AMOURIC (H.). – *Le feu à l'épreuve du temps, Témoins et arguments.* Narration, 1992. 255 p.

Amouric, Foy 1998 : AMOURIC (H.), FOY (D.). – Verreries forestières, verreries portuaires. Les fabriques provençales de 1740 à 1920, *in : De la verrerie forestière à la verrerie industrielle du milieu du XVIIIe siècle aux années 1920*, Actes du colloque, Albi 1996, Aix-en-Provence, 1998, pp. 151-168.

Ancel sous presse a : ANCEL (B.). – Les anciennes mines métalliques des Alpes du Sud : bilan diachronique, *in : Actes du colloque de Gap « Archéologie de l'espace montagnard : confrontation d'expériences européennes »*, Gap, 2008, sous presse.

Ancel sous presse b : ANCEL (B.). – Histoire et Mines. La mine d'argent du Fournel à travers les sources historiques : 5. La Compagnie des Mines de L'Argentière, sous la direction de M. Suquet (1851-1871). *Cahiers du Château Saint-Jean*, n° 8, Service Culturel Municipal de L'Argentière-La Bessée, Les éditions du Fournel, sous presse.

Ancel 2008a : ANCEL (B.). – Histoire et Mines. La mine d'argent du Fournel à travers les sources historiques : 3. La Société des Mines d'Allemont et des Hautes-Alpes (1833-1841). *Cahiers du Château Saint-Jean*, n° 4, Service Culturel Municipal de L'Argentière-La Bessée, Les éditions du Fournel, 2008, pp. 3-77.

Ancel 2008b : ANCEL (B.). – Le paysage minier en zone de montagne : l'exemple des Hautes-Alpes, *in* : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), JOURDAIN-ANNEQUIN (C.), CLERMONT-JOLY (M.) dir. – *Archéologie et paysages des mines anciennes, de la fouille au musée*. Paris, Picard, 2008, pp. 233-247.

Ancel 2008c : ANCEL (B.). – Les vestiges en bois de la mine du Fournel à l'Argentière- La Bessée (Hautes-Alpes), *in* : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), JOURDAIN-ANNEQUIN (C.), CLERMONT-JOLY (M.) dir. – *Archéologie et paysages des mines anciennes, de la fouille au musée*. Paris, Picard, 2008, pp. 75-87.

Ancel 2008d : ANCEL (B.). – Histoire et Mines. La mine d'argent du Fournel à travers les sources historiques : 4. La Société des Mines de L'Argentière, sous la direction de M. Duclos de Boussois (1847-1851). *Cahiers du Château Saint-Jean*, n° 4, Service Culturel Municipal de L'Argentière-La Bessée, Les éditions du Fournel, 2008, pp. 79-162.

Ancel 2006a : ANCEL (B.). – Histoire et Mines. 1. Le souvenir de l'exploitation médiévale et 2. La Cie Schlagberg-Martin-Guinard (1785-1805). *Cahiers du Château Saint-Jean,* n°1, Service Culturel Municipal de L'Argentière-La Bessée, Les éditions du Fournel, 2006. 101 p.

Ancel 2006b : ANCEL (B.). – La mine d'argent du Fournel à L'Argentière-la-Bessée (Hautes-Alpes) : méthodologie et bilan 1991-2001, *in* : BARGE (H.) dir. – *4000 ans d'histoire des mines. L'exemple de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur.* Mélange Jean-Paul Jacob, Theix, Actilia multimédia, 2006, pp. 71-85.

Ancel 2006c : ANCEL (B.). – Archéologie minière dans les Alpes du Sud et en Provence, *in* : BARGE (H.) dir. – *4000 ans d'histoire des mines. L'exemple de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur.* Mélange Jean-Paul Jacob, Theix, Actilia multimédia, 2006, pp. 159-176.

Ancel 2006d : ANCEL (B.). – Le relevé topographique et archéologique d'une ancienne mine : méthode et apports, *in* : BARGE (H.) dir. – *4000 ans d'histoire des mines. L'exemple de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur.* Mélange Jean-Paul Jacob, Theix, Actilia multimédia, 2006, pp. 189-195.

Ancel 2004 : ANCEL (B.), (contributions) KAMMENTHALER (E.), PY (V.), MARCONNET (C.). – Les mines d'argent du Fournel (L'Argentière-La-Bessée, Hautes-Alpes), fouille programmée 2004, *D.F.S.*, 2004.

Ancel 2003 : ANCEL (B.), (contributions) KAMMENTHALER (E.), PY (V.), MARCONNET (C.). – Les mines d'argent du Fournel (L'Argentière-La-Bessée, Hautes-Alpes), fouille programmée 2001-2003, *D.F.S.*, 2003, 55 p. & 46 fig. & VIII pl. photos.

Ancel 2002 : ANCEL (B.), (contributions) KAMMENTHALER (E.), PY (V.), MARCONNET (C.). – Les mines d'argent du Fournel (L'Argentière-La-Bessée, Hautes-Alpes), fouille programmée 2001-2003, *rapport intermédiaire*, 2002.

Ancel 2001 : ANCEL (B.). – La mine de cuivre de Petra Alba (Saint-Laurent-le-Minier, Gard) – Relevés du réseau souterrain et interprétation de la dynamique d'exploitation. *Rapport C.C.S.T.I.*, 2001.

Ancel 2000a : ANCEL (B.). – Les anciennes mines des Hautes-Alpes (Ecrins, Queyras) et leur adaptation à l'environnement montagnard, *in : Les écosystèmes alpins, approches anthropologiques,* Actes de l'université d'été 2000, C.D.D.P. des Hautes-Alpes, C.R.D.P. de l'Académie d'Aix-Marseille, 2000, pp. 88-95.

Ancel 2000b : ANCEL (B.), (contribution) KAMMENTHALER (E.). – Les mines d'argent du Fournel (L'Argentière-La-Bessée – Hautes-Alpes), Fouille programmée 1998-2000, *D.F.S.*, 2000. I, 93 p. et tabl., II, fig., tabl., icono.

Ancel 1999a : ANCEL (B.). – Expertise archéologique des sites miniers touchés par les mises en sécurité en région P.A.C.A. *Rapport du C.C.S.T.I.*, 1999. 125 p., 33 fig., 16 tab., 75 plans.

Ancel 1999b : ANCEL (B.). – L'exploitation charbonnière en Provence et dans les Alpes du Sud avant l'industrialisation, *in : Le charbon de terre en Europe occidentale avant l'usage industriel du coke,* Proceedings of the XXth International Congress of History of Science (Liège, 20-26 July 1997), volume IV, *De Divertibus artibus*, T. 44, Brepols Publishers n. v., Turnhout, Belgium, 1999, pp. 153-167.

Ancel 1998a : ANCEL (B.). – Techniques minières et maîtrise de l'espace dans les mines d'argent médiévales, exemples de mines de plomb argentifère des Alpes du sud (X^{e} – XIVe siècles), *in : L'innovation technique au Moyen Age,* Actes du VIe congrès International d'archéologie médiévale, Dijon, Mont-Beuvray, Chenôve, Le Creusot, Montbard, 1-5 octobre 1996, Paris, Errance, 1998, pp. 108-110.

Ancel 1998b : ANCEL (B.). – La mine du Fournel (L'Argentière-La-Bessée, Hautes-Alpes, France) : l'exploitation rationelle aux Xe-XIVe siècles d'un filon de plomb argentifère, *in* : BRIGO (L.), TIZZONI (M.) dir. – Il monte Calisio e l'argento nelle alpi dall'antichità al XVIII secolo, *Atti del Covegno europeo promosso e organizzato dai comuni di Civezzano e Fornace e dalla Sat Società alpinisti trentini – Sezione de Civezzano,* Civezzano-Fornace (Trento), 1995, 1998, pp. 161-193.

Ancel 1997a : ANCEL (B.). – Les anciennes mines des Alpes du sud. *Rapport de prospection,* 1997. 54 p., 3 tab., 25 fig.

Ancel 1997b : ANCEL (B.). – La mine de cuivre des Clausis à St Véran :apports des sources écrites et relevés des travaux protohistoriques souterrains, *in : Actes du colloque sur l'Age du bronze, 1997, Cabrières, Archéologie en Languedoc, 21,* 1997, pp. 121-128.

Ancel 1997c : ANCEL (B.). – Les mines d'argent du Fournel. Fouille programmée triannuelle 1995-1997. *D.F.S.*, 1997. I, 149 p., II, 89 illus.

Ancel 1997d : ANCEL (B.). – Relevés topographiques et archéologiques en anciennes mines : méthodologie d'un outil d'interprétation, *in : 12th Intern. Congress Speleology, 1997,* La-Chaux-de-Fonds, Symp. 3, 1997, pp. 195-198.

Ancel 1996a : ANCEL (B.). – Mines métalliques anciennes des Alpes Maritimes. *Rapport de prospection,* 1996. 13 p., 16 fig.

Ancel 1996b : ANCEL (B.). – Les anciennes mines et carrières des Hautes-Alpes. *Rapport de prospection,* 1996. 20 p., 3 tab., 14 fig., 12 photos.

Ancel 1996c : ANCEL (B.). – La mine de cuivre des Closis à St Véran : synthèse historique, relevés topographiques. *Rapport INTERREG I,* 1996. 20 p., 9 fig., 5 tab., 3 plans.

Ancel 1995a : ANCEL (B.). – Les anciennes mines du Parc National des Écrins. *Rapport de prospection,* 1995. 26 p. 17 fig., 6 photos.

Ancel 1995b : ANCEL (B.). – Mines métalliques anciennes des Alpes Maritimes. *Rapport de prospection,* 1995. 33 p., 12 fig., 32 photos.

Ancel 1995c : ANCEL (B.). – Les anciennes mines du Parc National des Écrins. *Rapport de prospection,* 1995. 260 p., 73 fig., 34 photos.

Ancel 1993 : ANCEL (B.). – Les anciennes mines du département des Hautes-Alpes. *Rapport de prospection,* 1993. 28 p., 15 fig., 22 photos.

Ancel 1992a : ANCEL (B.). – Les anciennes mines du nord des Hautes-Alpes. *Rapport de prospection,* 1992. 49 p., 16 fig., 12 photos.

Ancel 1992b : ANCEL (B.). – L'aménagement des puits d'extraction au XVIe siècle à Sainte-Marie-aux-Mines, *in : 113ème Congrès National des Sociétés savantes, Strasbourg, 1988,* 1992, pp. 395-405.

Ancel 1990a : ANCEL (B.). – La représentation du milieu souterrain minier à travers l'iconographie du XVe au XVIIe siècles en province minière germanique, *in* : Actes de la Table Ronde du G.H.M.M., Paris, 1987, *Pierre, Terre,* n°33, 1990, pp. 21-40.

Ancel 1990b : ANCEL (B.). – Les techniques d'extraction dans les mines du 16e siècle, *in* : SCHNITZLER (B.) (coord.), *Vivre au Moyen Age – 30 ans d'archéologie médiévale en Alsace,* catalogue de l'exposition, Strasbourg, Les Musées de la ville de Strasbourg, 1990, pp. 277-284.

Ancel 1990c : ANCEL (B.). – L'aménagement des puits d'extraction au XVIe siècle à Saint-Marie-aux-Mines, *in : Les techniques minières de l'Antiquité au XVIIIe siècle*, C.T.H.S., 1990, pp. 395-405.

Ancel 1990d : ANCEL (B.). – Archéologie minière, SCHNITZLER (B.) (coord.), *Vivre au Moyen Age – 30 ans d'archéologie médiévale en Alsace*, catalogue de l'exposition, Strasbourg, Les Musées de la ville de Strasbourg, 1990, pp. 493-505.

Ancel 1985 : ANCEL (B.) – Les puits de mine au XVe siècle : architecture et boisage. *Spelunca Mémoires*, n°14, 1985, p. 14.

Ancel, Cowburn 1999 : ANCEL (B.), COWBURN (I.). – L'Argentière-la-Bessée valorisation du patrimoine minier. *Les nouvelles de l'archéologie*, n°75, printemps 1999, Paris, Errance, 1999, pp. 43-46.

Ancel, Cowburn 1998 : ANCEL (B.), COWBURN (I.). – Inventaire du patrimoine industriel de la Haute-Durance. *Rapport C.C.S.T.I., Service de l'Inventaire*, 1998. 189 p., 233 ill.

Ancel, Dardignac 2000 : ANCEL (B.), DARDIGNAC (C.). – La concession minière La Gardette-Le Pontet, Villard-Notre-Dame / Bourg d'Oisans, Isère. *D.F.S.*, 2000, pp. 53-86.

Ancel *et al.* sous presse : ANCEL (B.), PY (V.), MARCONNET (Ch.), KAMMENTHALER (É.), LELEU (V.). – Une mine de plomb dans un environnement montagnard : la mine médiévale du Fournel à L'Argentière-La Bessée (Hautes-Alpes), *in* : actes du colloque de Florac, « Mines et métallurgies anciennes du plomb dans leurs environnements », 8, 9, 10 septembre 2006, Florac, sous presse

Ancel *et al.* 2007 : ANCEL (B.), PY (V.), BURRI (S.). – avec la coopération de ÉDOUARD (J.-L.). – Les mines métalliques de Fangeas et de Faravel. *D.F.S.*, 2007. 89 p. et annexes.

Ancel *et al.* 2001 : ANCEL (B.), DARDIGNAC (C.), PARENT (G.), BEYRIE (A.). – La mine de cuivre antique des Trois Rois à Banca, vallée de Baïgorry (Pyrénées-Atlantiques), *in : Les ressources naturelles des Pyrénées, leur exploitation durant l'Antiquité,* Entretiens d'archéologie et d'histoire, Saint-Bertrand-de-Comminges, 2001, pp. 179-194.

Ancel *et al.* 1998 : ANCEL (B.), COTTET (M.), KAMMENTHALER (E.), MORIN (D.), OPPIZZI (P.), TIZZONI (M.). – La mine de cuivre de Campolungo (BS) : une exploitation révolutionnaire de l'Age du fer. Premières hypothèses et observations. *Notizie archeologiche bergomensi*, 6, 1998, pp. 163-183.

Ancel, Fluck 1989 : ANCEL (B.), FLUCK (P.). – *L'aventure des mines.* Jérôme Do Bentzinger. 47 p.

Ancel, Fluck 1988 : ANCEL (B.), FLUCK (P.). – Une exploitation minière du XVIe siècle dans les Vosges. Le filon Saint-Louis du Neuenberg (Haut-Rhin) caractères et évolution. *D.A.F.*, n°16, Paris, 1988. 124 p.

Ancel, Fluck 1987 : ANCEL (B.), FLUCK (P.). – Archéologie souterraine et spéléologie minière, *in* : Archéologie Médiévale en Alsace. Nouvelles recherches, *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, n°3, 1987, pp. 23-28.

Ancel, Py 2008 : ANCEL (B.), PY (V.). – L'abattage par le feu : une technique minière ancestrale. *Archeopage*, n°22, « Mines et carrières », juillet 2008.

Ancel, Py 2006 : ANCEL (B.), PY (V.). – Les mines d'argent du Fournel. Fouille programmée 2006, *D.F.S.*, 2006. 96 p.

Ancel, Py 2005 : ANCEL (B.), PY (V.). – Les mines d'argent du Fournel. Fouille programmée 2005, *D.F.S.*, 2005. 100 p.

Ancel, Py 2004 : ANCEL (B.), PY (V.). – Les mines d'argent de Faravel I à Dormillouse (Freissinières). *Bulletin Scientifique du S.R.A. P.A.C.A. 2003*, S.R.A. P.A.C.A., Aix-en-Provence, 2004, pp. 41-44.

Ancel, Py 2003 : ANCEL (B.), PY (V.). – Les mines d'argent de Faravel à Dormillouse (Freissinières, 05). *D.F.S.*, 2003. 36 p. et pl.

André *et al.* 1988 : ANDRÉ (L.), BELHOSTE (J.-F.), BERTRAND (P.). – La métallurgie du fer dans les Ardennes. *Cahiers de l'Inventaire*, 11, Châlons-sur-Marne, 1988.

Anonyme 1921 : Splitting rocks with cold water. *Classical Weekly*, vol. XV, n°21, 1921, p. 168.

Anonyme 1914 : The action of Vinegar on rocks. *Notes and Queries*, 11, vol. X, Aug. 22, 1914, p. 152.

Argant, Argant 2000 : ARGANT (J.), ARGANT (A.). – Mise en évidence de l'occupation ancienne d'un site d'altitude : analyse pollinique du lac du Lauzon (Drôme), *in* : TILLET (T.) dir. – *Les paléoalpins. Hommages à Pierre Bintz.* Grenoble, Laboratoire de géodynamique des chaînes alpines, Université Joseph Fourier, *Géologie alpine*, hors-série, 31, 2000, pp. 61-71.

Arnaud 1983 : ARNAUD (Cl.). – Une mémoire de Saint-Véran, vie traditionnelle et patois queyrassins. *Le monde alpin et rhodonien*, 3, Grenoble, 1983.

Arnold 1992 : ARNOLD (B.). – Batellerie gallo-romaine sur le lac de Neuchâtel (tome 1). *Archéologie neuchâteloise*, 12, 1992.

Arnoux 2001 : ARNOUX (M.). – Innovation technique, intervention publique et organisation du marché : aux origines du district sidérurgique de la Valteline (XIIIe-XIVe siècles), *in :* BRAUNSTEIN (Ph.) dir. – *La sidérurgie alpine en Italie (XIIe-XVIIe siècle)*, Collection de l'école française de Rome, 290, École française de Rome, 2001, pp. 215-251.

Arnoux 1990 : ARNOUX (M.). – Perception et exploitation d'un espace forestier : la forêt de Breteuil (XIe-XVe siècles). *Médiévales*, 18, 1990, pp. 17-32.

Arnoux 1993 : ARNOUX (M.). – *Mineurs, férons et maîtres de forges. Étude sur la production du fer dans la Normandie du Moyen Âge, XIe-XVe siècles.* Mémoire de la Section d'histoire des sciences et des techniques, vol. 1, Paris, C.T.H.S., 1993. 646 p.

Autorde 1908 : AUTORDE (F.). – Les forts vitrifiés de la Creuse. Étude sur la structure des murs et l'origine des vitrifications, *in : Troisième Congrès Préhistorique de France,* Session d'Autun, 1907, Le Mans, Monnoyer, 1908, pp. 721-750

Badal Garcia 1990a : BADAL GARCIA (E.). – Méthode de prélèvement et paléoécologie du Néolithique d'après les charbons de bois de "la Cova de les Cendres" (Alicante, Espagne), *in :* HACKENS (T.) éd., MUNAUT (A. V.) éd., TILL (C.) éd. – *Wood and Archaeology* (Bois et Archéologie) : First European Conference, Louvain-la-Neuve, October 2nd-3rd 1987, *PACT*, 22. Louvain-la-Neuve, Groupe Européen d'études pour les techniques physiques, chimiques, mathématiques et biologiques appliquées à l'archéologie, 1990, pp. 231-243.

Badal Garcia 1990b : BADAL GARCIA (E.). – *Aportaciones de la antracologia al estudio del paisaje vegetal y su evolución en el cuaternario reciente, en la costa mediterranea del Pais Valenciano y Andalucia (18000-3000 BP).* Thèse de doctorat, Universitat de València, 1990. 321 p.

Bailly-Maître 2008 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – *Une aventure minière : Huez et l'argent au Moyen Âge. L'argenteria de brandis.* Collection Musée d'Huez et de l'Oisans n°8, 2008. 102 p.

Bailly-Maître 2007 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.) et POISSON (J.-M.) dir. – *Mines et pouvoir au Moyen Âge*, Actes de la Table-ronde de Lyon, 15 mai 2002, Lyon, Presses universitaires de Lyon, 2007, 213 p.

Bailly-Maître 2006 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – Plomb, cuivre, argent et zinc. Histoire du district minier des Malines (St Laurent-le-Minier - Gard) du XIIe au XXe siècle », *in* : *Savoirs et savoir-faire industriels en Méditerranée occidentale (XVIe-XXe s.)*, colloque international Méditerranéen, Corte, juin 2000, co-éd. Museu di Corsica, Corte et Journal de la Corse, Ajaccio, 2006, pp. 89-103.

Bailly-Maître 2003 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – Les carreaux miniers d'une grande exploitation médiévale en Languedoc (XIe-XIVe siècles). *Archéologie en Languedoc, Revue de la fédération archéologique de l'Hérault*, 2003, n°26, pp. 97-112.

Bailly-Maître 2002 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – *L'Argent. Du minerai au pouvoir dans la France médiévale.* Espaces médiévaux collec., Paris, Picard, 2002. 212 p.

Bailly-Maître 2000 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – Essai d'une mine de plomb et argent *vernus arenas* en Oisans par ordre du gouverneur du Dauphiné le 15 octobre 1359, *in* : BELMONT (A.) éd. – *Pages d'histoire en Dauphiné : offertes à Vital Chomel*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 2000, pp. 135-143.

Bailly-Maître 1998 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – Tradition et innovation dans les mines médiévales, *in : L'innovation technique au Moyen Âge*, Actes du VIe congrès International d'archéologie médiévale, Dijon, Mont-Beuvray, Chenôve, Le Creusot, Montbard, 1-5 octobre 1996, Paris, Errance, 1998, pp. 99-107.

Bailly-Maître 1997 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – La circulation dans les mines médiévales cévenoles, *in* : Actes du colloque « Mines et métallurgies de la Préhistoire au Moyen-Âge en Languedoc-Roussillon et régions périphériques », tenu à Cabrières du 16 au 19 mai 1997, *Archéologie en Languedoc*, 21, 1997, pp. 225-233.

Bailly-Maître 1996 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – Prolégomènes à une étude des mines de Largentière en Vivarais. *Mémoire d'Ardèche – Temps présent*, n°49, 1996, pp. 3-10.

Bailly-Maître 1994 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch). – Archéologie minière: méthodes et résultats à partir de l'exemple du district de Saint-Laurent-le-Minier (Gard) - XIIe-XVe s. La vida medieval als dos vessants del Pirineu, *in* : *Actes del 3r curs d'arqueologia d'Andorra 1991*, Patrimoni Artistic Nacional d'Andorre, Mars 1994, pp.231-245.

Bailly-Maître 1989 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – Pour une histoire des mines au Moyen-Âge, l'exemple des mines de la terre d'Hierle (Gard). *Archéologie du Midi Médiéval*, VII, 1989, pp. 61-71.

Bailly-Maître, Benoît 1999 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), BENOÎT (P.). – À propos de l'archéologie minière en France. *Les nouvelles de l'archéologie*, n°75, printemps 1999, Paris, Errance, 1999, pp. 36-39.

Bailly-Maître, Benoît 1998 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), BENOÎT (P.). – Les mines d'argent de la France médiévale, *in : L'argent au Moyen Âge : idéologie, finances, fiscalité, monnaie*, XXVIIIe congrès de la Société des Historiens Médiévistes de l'Enseignement Supérieur, Clermond-ferrand, juin 1997, Paris, Publications de la Sorbonne, 1998, pp. 17-45.

Bailly-Maître, Bruno Dupraz 1994 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), BRUNO DUPRAZ (J.). – Brandes en Oisans, la mine d'argent du Dauphin (XII-XIVe siècles) Isère. *Document d'Archéologie en Rhône-Alpes*, n°9, Lyon, 1994. 169 p.

Bailly-Maître, Bruno 1983 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), BRUNO (J.). – Le village minier de Brandes (Huez, Isère), *in :* BENOÎT (P.), BRAUNSTEIN (P.) éd., *Mines, carrières et métallurgie dans la France médiévale*, Actes du colloque de Paris, 19, 20, 21 juin 1980, Paris, C.N.R.S., 1983, pp. 289-304.

Bailly-Maître, Bruno 1979 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), BRUNO (J.). – *Un village minier de haute montagne au Moyen Âge : Brandes-en-Oisans (Huez, Isère).* Grenoble, 1979. 18 p.

Bailly-Maître, Bruno 1977 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), BRUNO (J.). – Le village médiéval de Brandes-en-Oisans à l'Alpe d'Huez (Isère). *Archéologie médiévale dans la région Rhône-Alpes*, Lyon-Grenoble, 1977. 34 p.

Bailly-Maître, Dhénin 2004 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), DHÉNIN (M.). – Ateliers monétaires et mines d'argent dans les Alpes (X^{e}-XVe siècles), histoire, archéologie, numusmatique et archéométrie. *Archéologie Médiévale*, XXXIV, C.N.R.S., 2004, pp. 43-64.

Bailly-Maître *et al.* 2008 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), JOURDAIN-ANNEQUIN (C.), CLERMONT-JOLY (M.) dir. – *Archéologie et paysages des mines anciennes, de la fouille au musée*. Paris, Picard, 2008. 276 p.

Bailly-Maître *et al.* 1996 : BAILLY-MAÎTRE (M.-Ch.), SIMONEL (B.), BARRE (N.), BOULLE (E.-L.). – Travail et milieu. Incidences sur une population au Moyen Âge, *in : L'identité des populations archéologiques*, Actes des XVIe Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 19-20-21 octobre 1995, Sophia-Antipolis, APDCA, 1996, pp. 211-245.

Bailly-Maître, Gauché 2002 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.). – Une approche du droit minier en Dauphiné (XIVe-début du XVe siècle). *La Pierre et l'Écrit*, 13, 2002, pp. 97-114.

Bailly-Maître, Ploquin 1993 : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), PLOQUIN (A.). – Brandes-en-Oisans. Archéologie et Paléométallurgie d'un village de mineurs au Moyen Âge, *in : Frühe Erzgewinnung und Verhüttung in Europa in Freiberg im Brisgau*, 1990, Archäologie und Geschichte, Jan Thorbecke Verlag Sigmaringen, 1993, pp. 443-461.

Bailly-Maître, Poisson 2007 : BAILLY-MAÎTRE (M.-Ch.), POISSON (J.-M.) dir. – *Mines et pouvoir au Moyen Âge.* Actes de la Table-ronde de Lyon, 15 mai 2002, Presse Universitaires de Lyon, 2007 (Collection d'Histoire et d'Archéologie Médiévales). 213 p.

Baratier *et al.* 1969 : BARATIER (É.), DUBY (G.), HILDESHEIMER, (E.). – *Atlas historique, Provence, Comtat, Orange, Nice, Monaco*. Paris, Armand Colin, 1969. 208 p. et cartes.

Barge 2006 : BARGE (H.) dir. – *4000 ans d'histoire des mines. L'exemple de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur.* Mélange Jean-Paul Jacob, Theix, Actilia multimédia, 2006.

Barge 2003 : BARGE (H.) – *Saint-Véran, la montagne, le cuivre et l'homme. I. Mine et métallurgie préhistoriques dans les Hautes-Alpes.* Theix, Actilia multimédia, 2003. 83 p. et 166 fig.

Barge 1999 : BARGE (H.) – Le programme national de mise en sécurité des mines. L'opération pilote menée en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (1996-1998). *Les nouvelles de l'archéologie*, n°75, printemps 1999, Paris, Errance, 1999, pp. 40-43.

Barge *et al.* 1998 : BARGE (H.), ANCEL (B.), ROSTAN (P.) et GUENDON (J.-L.). – La mine des Clausis à Saint-Véran (Hautes-Alpes) : Exploitation et aire de réduction du minerai de cuivre d'époque préhistorique. *In : L'atelier du bronzier en Europe du XXe au VIIIe siècle avant notre ère, du minerai au métal, du métal à l'objet,* Actes du colloque international "Bronze 96", Neuchâtel et Dijon, 1996, T. II, Paris, 1998, pp. 71-81.

Barge-Mahieu 1995 : BARGE-MAHIEU (H.). – Les origines de la métallurgie dans les Hautes-Alpes, *in :* GANET (I.), BARRUOL (G.) dir., BERTUCCHI (G.) dir. – *Les Hautes-Alpes,* Carte Archéologique de la Gaule, Paris, 1995, pp. 48-49.

Baridon *et al.* 1990 : BARIDON (H.), LEROY (Y.), CARLIER (P.). – *Sur les traces des bergers et chasseurs de Dormillouse (Freissinières - Hautes-Alpes)*. 1990. 120 p.

Barruol *et al.* 2001 : BARRUOL (G.), BACOU (R.), GIRARD (A.) dir. – *L'abbaye de Saint-André de Villeneuve-lès-Avignon : histoire archéologie, rayonnement.* (Les cahiers de Salagon 4), Mane, Les Alpes de Lumière, 2001. 448 p.

Barruol 1999 : BARRUOL (G.). – *Les peuples préromains du Sud-Est de la Gaule. Étude de géographie historique.* Réimpression conforme à la première édition de 1969-1976 (Revue archéologique de Narbonnaise), Paris, Boccard, 1999. 410 p.

Barth, Neubauer 1991 : BARTH (F. E.), NEUBAUER (W.). – *Salzbergwerk Hallstatt : Appoldwerk Grabung 1979/80.* Hallstatt, Verlag des Musealvereines Hallstatt, 1991. 53 p.

Beaulieu 1977 : DE BEAULIEU (J.-L. de). – *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène des Alpes méridionales françaises.* Thèse de Doctorat ès Sciences, Université d'Aix-Marseille III, 1977. 358 p.

Beaulieu 1974 : BEAULIEU (J.-L. de). – Analyses polliniques des sédiments holocènes du lac Long inférieur (Alpes-Maritimes). *Revue de biologie et d'écologie méditerranéenne,* t. 1, n°3, 1974, pp. 97-104.

Beaulieu *et al.* 2003 : DE BEAULIEU (J.-L. de), LEVEAU (P.), MIRAMONT (C.), PALET (J. M.), WALSH (K.), COURT-PICON (M.), RICOU (F.), SEGARD (M.), SIVAN (O.), ANDRIEU-PONEL (V.), BADURA (M.), BERTUCCHI (G.), BOUTTERIN (C.), DURAND (A.), ÉDOUARD (J.-L.), LAVOIE (M.), MORIN (A.), MOCCI (F.), PONEL (P.), POTHIN (A.), PY (V.), TALON (B.), TZORTZIS (S.), BONET (R.), COLUMEAU (P.), CORTOT (H.), GARCIA (D.). – Chamgements environnementaux postglaciaires et action de l'homme dans le basin du Buëch et en Champsaur (Hautes-Alpes, France). Premier bilan d'une etude pluridisciplinaire, *in : Des milieux et des hommes : fragments d'histoires croisés,* Elsevier SAS, 2003, pp. 93-101.

Beaulieu *et al.* 1994 : BEAULIEU (J.-L. de), RICHARD (H.), RUFFALDI (P.), CLERC (J.). – History of vegetation, climate and human action in the French Alps and the Jura over the last 15 000 years, *in :* LOTTER (A. F.), AMMANN (B.). éd. – *Beiträge zur Systematik und Evolution Floristik und Geobotanik, Vegetationsgeschichte und Paläoökologie. Festschrift Gerhard Lang,* J. Cramer éd., Berlin, Stuttgart, 1994, pp. 253-275.

Beaulieu *et al.* 1993 : BEAULIEU (J.-L. de), KOSTENZER (J.), REICH (K.). – Dynamique forestière holocène dans la haute vallée de l'Arve (Haute Savoie) et migration de *Abies* et *Picea* dans les Alpes occidentales. *Frestschrift Zoller. Dissertationes Botanicae,* 196, pp. 397-398.

Beaulieu *et al.* 1988 : BEAULIEU (J.-L. de), PONS (A.), REILLE (M.). – Histoire de la végétation, du climat et de l'action de l'homme dans le Massif Central français depuis 15 000

ans. *Palynologie, Écologie, Paléoécologie,* Actes du Xe Symposium de l'Association des palynologues de langue française, t. XXV, Bordeaux, 1988, pp. 27-32.

Beaulieu, Reille 1983 : BEAULIEU (J.-L. de). – Paléoenvironnement tardiglaciaire et holocène des lacs de Pelléautier et Siguret (Hautes-Alpes, France) I. Histoire de la végétation d'après l'analyse pollinique. *Ecologia Mediterranea*, t. IX (fasc. 3-4), 1983, pp. 19-33.

Bechman 1984 : BECHMAN (R.). – *Des arbres et des hommes : la forêt au Moyen Âge.* Paris, Flammarion, 1984. 384 p.

Becker 1952 : BECKER (J.). – Étude palynologique des tourbes flandriennes des Alpes françaises. *Mém. Serv. Carte géol. Alsace Lorraine*, vol. 11, 1952, 61 p.

Belhoste 1999 : BELHOSTE (J.-F.) – L'essor de l'usage industriel du charbon en France au XVIIIe siècle, *in : Le charbon de terre en Europe occidentale avant l'usage industriel du coke,* Proceedings of the XXth International Congress of History of Science (Liège, 20-26 July 1997), Volume IV, *De Divertibus artibus,* T. 44, Brepols Publishers n. v., Turnhout, Belgium, 1999, pp. 187-198.

Belhoste 1992 : BELHOSTE (J.-F.). – Conséquences de l'essor sidérurgique sur les usages forestiers et les pratiques agraires XVIe-XVIIe siècles, *in* : BRAUNSTEIN (Ph.) dir. – Métallurgie à la campagne, *Études Rurales*, n°125, janvier-juin 1992, Paris, École des Hautes Études en Sciences Sociales, pp. 81-98.

Belhoste 1990 : BELHOSTE (J.-F.). – Une sylviculture pour les forges, XVIe-XIXe siècles, *in* : WORONOFF (D.) dir. – *Forges et forêts. Recherches sur la consommation proto-industrielle de bois*, Paris, E.H.E.S.S., 1990, pp. 219-261.

Belhoste 1981 : BELHOSTE (J.-F.). – *Histoire des forges d'Allevard des origines à 1970.* Grenoble, Didier Richard, 1981. 243 p.

Belmont 1998 : BELMONT (A.). – *Des ateliers au village, les artisans ruraux en Dauphiné sous l'Ancien Régime*, T. 1 & 2, Pierre et l'écrit éd., Presses universitaires de Grenoble, 1998. 198 p. et 309 p.

Benoît 1962 : BENOÎT (F.). – L'économie de la Provence à l'époque antique, *Revue d'études ligures*, 20, 1962.

Benoît 1997 : BENOÎT (P.). – La mine de Pampailly XVe-XVIIIe siècles (Brussieu – Rhône). *Documents d'Archéologie en Rhône-Alpes*, n°14, Lyon, Service régional de l'archéologie de Rhône-Alpes, 1997. 137 p.

Benoît 1988: BENOÎT (F.). – Les techniques minières en France et dans l'Empire aux XVe-XVIe siècles. *Journal des Savants*, Paris, Boccard, 1988, pp. 75-118.

Benoît 1986 : BENOÎT (P.). – Mines et métallurgie dans l'Est de la France programme d'archéologie historique. *Dossiers Histoire et Archéologie*, n°107, juillet, août 1986, *Archéologie et industrie*, 1986, pp. 30-33.

Benoît 1985 : BENOÎT (P.). – Le roulage dans les mines européennes aux XVe-XVIe siècles, *in* : Acte d colloque d'Archéologie Souterraine, *Spelunca Mémoires* 14, Nancy, 1985, pp. 21-25.

Benoît 1982 : BENOÎT (P.). – La place du manuscrit d'Heinrich Gross dans l'iconographie minière germanique. *Pierres et Terre*, 25-26, 2e semestre, « L'Art et les mines dans les Vosges », 1982, pp. 67-83.

Berg 1992 : BERG (B. I.). – Les techniques d'abattage à Kongsberg (Norvège) du XVIIe au XIXe siècle : pointerolle, travail au feu et tir à la poudre, *in* : *Les techniques minières de*

l'Antiquité au XVIIIe siècle, 113e Congrès National des Sociétés Savantes, Strasbourg 1988, Techniques minières, Paris, C.T.H.S., 1992, pp. 55-76.

Bernardi 2008a : BERNARDI (Ph.). – L'exploitation des forêts, *in* : BERNARDI (Ph.), dir. – *Forêts alpines et charpentes en Méditerranée*, l'Argentière-La Bessée, les éditions du Fournel, pp. 47-55.

Bernardi 2008b : BERNARDI (Ph.). – L'influence de la lune, *in* : BERNARDI (Ph.), dir. – *Forêts alpines et charpentes en Méditerranée*, l'Argentière-la Bessée, les éditions du Fournel, pp. 69-70.

Bernardi 2008c : BERNARDI (Ph.). – L'organisation des métiers dans le Sud-Est de la France, *in* : BERNARDI (Ph.), dir. – *Forêts alpines et charpentes en Méditerranée*, l'Argentière-la Bessée, les éditions du Fournel, pp. 109-113.

Bernardi 1995 : BERNARDI (P.). – *Métiers du bâtiment et techniques de constructions à Aix-en-Provence à la fin de l'époque gothique (1400-1550).* Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 1995, pp. 121-138.

Bernardi, Nicolas 2003 : BERNARDI (Ph.), NICOLAS (N.). – Les échandoles : applications et rayonnement d'un matériau et d'un savoir-faire montagnard à la fin du Moyen Âge, *in :* VIGNET ZUNZ (J.), ORTEGA SANTOS (A.) dir. – *Las montañas del Mediterráneo : coloquio internacional celebrado en Granada*, 4-6 de febrero de 1999, 2003, pp. 287-304.

Berthelot 1938 : BERTHELOT (M.). – *Origines de l'alchimie.* Paris, Librairie des sciences et des arts, 1938.

Berthet 2007 : BERTHET (M.-P.). – Pouvoir et industrie minière en Provence, *in* : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.) et POISSON (J.-M.) dir. – *Mines et pouvoir au Moyen Âge*. Actes de la Table-ronde de Lyon, 15 mai 2002, Presses universitaires de Lyon, 2007, (Collection d'Histoire et d'Archéologie Médiévales), pp. 63-76.

Bertrand 1975 : BERTRAND (G.). – Pour une histoire écologique de la France rurale, *in* : DUBY (G.), WALLON (G.) dir. – *Histoire de la France rurale*, t. 1, *La formation des campagnes françaises des origines à 1340*, Paris, Seuil, 1975, pp. 34-113.

Bertucchi 2001 : BERTUCCHI (G.). – Ancelle. *B.S.R. P.A.C.A.*, 2001, pp. 41-43.

Billioud 1960 : BILLIOUD (J.). – Les bois des Hautes-Alpes en Provence. *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 1960, pp. 106-112.

Bintz 1999 : BINTZ (P.). – Le Mésolithique des Alpes françaises : bilan des connaissances, *in* : BEECHING (A.) dir. – Circulations et identités culturelles alpines à la fin de la Préhistoire. Matériaux pour une étude. Programme CIRCALP 1997-1998, Travaux du Centre d'Archéologie Préhistorique de Valence (coll.), 2, Valence, Agence Rhône-Alpes pour les Sciences-Humaines, 1999, pp. 317-329.

Bintz *et al.* 1999 : BINTZ (P.), ARGANT (J.), CHAIX (L.), PELLETIER (D.), THIÉBAULT (S.). – L'Aulp-du-Seuil, un site d'altitude du Mésolithique et du Néolithique ancien (St-Bernard-du-Touvet, Isère) : études préliminaires, *in* : THÉVENIN (A.), BINTZ (P.) éd. – *L'Europe des derniers chasseurs. Peuplement et paléoenvironnement de l'Épipaléolithique et du Mésolithique*, actes du 5e colloque international UISPP, Commission XII, Grenoble, 18-23 sept. 1995, Paris, C.T.H.S., 1999, pp. 611-616.

Blanchard 1950 : BLANCHARD (R.). – *Les Alpes occidentales.* V : *Les Grandes Alpes françaises du Sud*, n°2, Grenoble, Paris, B. Arthaud, 1950, pp. 526-1018 et cartes.

Bligny 1973 : BLIGNY (B.) dir. – *Histoire du Dauphiné.* Toulouse, Privat, 1973. 486 p.

Bligny 1960 : BLIGNY (B.). – *L'église et les ordres religieux dans le royaume de Bourgogne aux XIe et XIIe siècles.* Grenoble, 1960.

Bognetti 1926 : BOGNETTI (G.-P.). – Le miniere della Valtorta e i diritti degli arcivescovi di Milano (sec. XII-XIV). *Archivio Storico Lombardo,* t. 53 (1926), pp. 281-308.

Bohly 2008 : BOHLY (B.). – Les vestiges en bois dans la mine médiévale du Donnerloch à Steinbach (Haut-Rhin), *in* : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), JOURDAIN-ANNEQUIN (C.), CLERMONT-JOLY (M.) dir. – *Archéologie et paysages des mines anciennes, de la fouille au musée*. Paris, Picard, 2008, pp. 89-99.

Bohly 1990 : BOHLY (B.). – L'exploitation minière dans les Vosges Saônoises au XVIe siècle à travers les comptes : aspects techniques et sociaux. *Annales de l'Université de Besançon,* 410, 1990, pp. 229-257.

Bohly *et al.* 1985 : BOHLY (B.), FLUCK (P.), LIEBELIN (F.). – Le problème de l'exhaure dans les mines vosgiennes. *Spelunca*, 14, 1985, pp. 15-20.

Bonami 1977 : BONAMI (Ch.). – Dans la haute vallée de l'Orb : les mines de Ceilhes-et-Rocozels au Moyen Âge, *in : Mines et mineurs en Languedoc-Roussillon et régions voisines de l'Antiquité à nos jours*, Actes du XLIXe congrès de la Fédération historique du Languedoc méditerranéen et du Roussillon, Alès 22-23 mai 1976, Montpellier, C.N.R.S., 1977, pp. 93-105.

Bonhôte 1998 : BONHÔTE (J.). – *Forges et forêts dans les Pyrénées ariégeoises. Pour une histoire de l'environnement*. Aspet, PyréGraph, 1998. 337 p.

Bonhôte, Vernet 1988 : BONHÔTE (J.), VERNET (J.-L.). – La mémoire des charbonnières. Essai de reconstitution des milieux forestiers dans une vallée marquée par la métallurgie (Aston, Haute-Ariège). *Revue forestière française*, v. 40, n°3, 1988, pp. 197-212.

Bonnamour 2000 : BONNAMOUR (L.). – Les ponts romains de Châlon-sur-Saône. *Gallia*, 57, 2000, pp. 303-304 (glossaire des termes techniques).

Bonnot-Diconne 2008 : BONNOT-DICONNE (C.). – Le cuir en contexte minier. Itinéraire d'un matériau de sa découverte à son exposition, *in* : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), JOURDAIN-ANNEQUIN (C.), CLERMONT-JOLY (M.) dir. – *Archéologie et paysages des mines anciennes, de la fouille au musée*. Paris, Picard, 2008, pp. 143-147.

Bono, Barbero 1971 : BONO (G.), BARBERO (M.). – À propos des cembraies des Alpes cottiennes italiennes, maritimes et ligures. *Allionia*, t. 17, 1971, pp. 97-120.

Boucard 1998 : BOUCARD (D.). – *Les haches.* Paris, Jean-Cyrille Godefroy, 1998, 254 p.

Bouchayer 1923 : BOUCHAYER (A.). – Les sarrasins dans les Alpes au Xe siècle. Extrait du *Bulletin de la Société dauphinoise d'Ethnologie et d'Anthropologie*, t. XXII, 1922, Grenoble, Allier, 1923, 14 p.

Boumlil 2007 : BOUMLIL (N.), *Rapport de traitement n°2007-211, devis n° 2005-89/PV, Objets d'époque médiévale, site de Fangeas à Freissinières (Hautes-Alpes)*. Atelier Régional de Conservation, Grenoble, 2007.

Bouvier 2002 : BOUVIER (J.-Cl.). – *Noms de lieux du Dauphiné*. Paris, Bonneton, 2002. 222 p.

Bromberger *et al.* 1980 : BROMBERGER (Ch.), LACROIX (J.), RAULIN (H.), CUISENIER (J.). – *L'Architecture rurale française : corpus des genres, des types et des variantes. Provence*. Paris, Musée national des arts et traditions populaires, Berger-Levrault, 1980. 356 p.

Carrier 2005 : CARRIER (N.). – De la maison au village : les origines de la morphologie de l'habitat dispersé dans les montagnes de la Savoie du Nord, *in* : ANTOINE (A.), COCAUD (M.), PICHOT (D.) dir. – *La maison rurale en pays d'habitat dispersé, de l'antiquité au XXe siècle, Actes du colloque de Rennes (mai 2002)*, Rennes, P.U.R., 2005, pp. 279-290, pp. 286-288.

Casini 2007 : CASINI (A.). – L'extraction du cuivre et de l'argent dans les Monts *Archéologie et paysages des mines anciennes, de la fouille au musée*. Paris, Picard, 2008, pp. 57-73.

Cauuet 2002 : CAUUET (B.). – *Mines d'or antiques de Dacie. District de Rosia Montana (Monts Apuseni, Roumanie)*. Rapport du Programme Nationale de Recherche « Alburnus Maior » (Roumanie), 2002. 70 p.

Cauuet 2001 : CAUUET (B.). – Techniques de boisages dans les mines d'or gauloises du Sud-Ouest du Massif Central. Mines et métallurgie en Gaule. *Gallia*, 57-2000, 2001, pp. 129-146.

Cauuet 1999 : CAUUET (B.). – L'exploitation de l'or en Gaule à l'Âge du fer. *Aquitania*, suppl. 9, 1999, pp. 31-70.

Cauuet 1997: CAUUET (B.). – Boisages et techniques d'exhaure gaulois à la mine d'or de La Fagassière (Château-Chervix, Haute-Vienne). *PALLAS (Mélanges Cl. Domergue)*, 46, 1997, pp. 197-218.

Cézard 1981 : CÉZARD (M.). – *La Vallouise à travers l'histoire*. Gap, Société d'Études des Hautes-Alpes, 1981. 230 p.

Chabal 2000 : CHABAL (L.). – Les potiers, le bois et la forêt à l'époque romaine à Sallèles d'Aude (I-IIIe s. ap. J.-C.), *in :* Le monde des potiers gallo-romains, colloque 27-28 sept. 1996, Sallèles d'Aude, *Annales littéraires de l'Université de Besançon*, Série Amphores, 5, 2000, pp. 89-106.

Chabal 1997 : CHABAL (L.). – Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique Final, Antiquité Tardive) – L'anthracologie, méthode et paléoécologie. *D.A.F.*, n° 63, Paris : Maison des sciences de l'homme, 1997. 189 p.

Chabal 1992 : CHABAL (L.). – La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu, *in : Les charbons de bois, les anciens écosystèmes et le rôle de l'homme*, Colloque de Montpellier, 10-13 sept. 1991, Bulletin de la Société Botanique de France, Actualités Botaniques (2/3/4), 39, 1992, pp. 213-236.

Chabal 1991 : CHABAL (L.). – *L'homme et l'évolution de la végétation méditerranéenne, des âges des métaux à la période romaine : recherches anthracologiques théoriques, appliquées principalement à des sites du bas Languedoc.* Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 1991. 435 p.

Chabal 1990 : CHABAL (L.). – L'étude paléoécologique de sites protohistoriques à partir des charbons de bois : la question de l'unité de mesure. Dénombrement de fragments ou pesées ?, *in :* HACKENS (T.) éd., MUNAUT (A. V.) éd., TILL (C.) éd. – *Wood and Archaeology*, (Bois et archéologie) : First European Conference, Louvain-la-Neuve, October 2nd-3rd 1987, *PACT, 22.* Louvain-la-Neuve : Groupe européen d'études pour les techniques physiques, chimiques, mathématiques et biologiques appliquées à l'archéologie, 1990, pp. 189-205.

Chabal 1988 : CHABAL (L.). – Pourquoi et comment prélever les charbons de bois pour la période antique : les méthodes utilisées sur le site de Lattes (Hérault). Lattes, ARALO, 1988, pp. 187-222.

Chabal 1982 : CHABAL (L.). – *Méthodes de prélèvement des bois carbonisés protohistoriques pour l'étude des relations homme-végétation.* Mémoire de DEA, Université de Montpellier II, 1982. 54 p.

Chabal *et al.* 1999 : CHABAL (L.), FABRE (L.), TERRAL (J.-F.), THERY-PARISOT (I.). – L'anthracologie, *in* : *La botanique*, (Collection "Archéologiques"), Paris, Errance, 1999, pp. 43-105.

Chabal, Feugère 2005 : CHABAL (L.), FEUGÈRE (M.). – Le mobilier organique des puits antiques et autres contextes humides de *Lattara. LATTARA*, 18, 2005, pp. 137-188.

Chabal, Laubenheimer 1994 : CHABAL (L.), LAUBENHEIMER (F.). – L'atelier gallo-romain de Sallèles d'Aude : les potiers et le bois, *in : Terre cuite et société. La céramique, document technique, économique et culturel*, XIVe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, APDCA, Juan-les-Pins, 1994, pp. 99-129.

Chapelot, Fossier 1980 : CHAPELOT (J.), FOSSIER (R.). – *Le village et la maison au Moyen Âge*. Paris, Hachette, 1980. 357 p.

Chauvin, Vallaury 2002 : CHAUVIN (Ch.), VALLAURI (D.). – Indicateurs de restauration écologique de marnes dégradées dans les Alpes du Sud 120 après reboisement. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, supplément 9, 2002, pp. 241-250.

Chiorino 2008 : CHIORINO (L.). – Le sciage, *in* : BERNARDI (Ph.), dir. – *Forêts alpines et charpentes en Méditerranée*, l'Argentière-la Bessée, les éditions du Fournel, pp. 75-78.

Clerc 2008 : CLERC (P.). – Le puits de Jade, un ensemble clos du XVIe siècle dans la mine d'argent Saint-Louis-Eisenthur à Sainte-Marie-aux-Mines (68), *in* : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), JOURDAIN-ANNEQUIN (C.), CLERMONT-JOLY (M.) dir. – *Archéologie et paysages des mines anciennes, de la fouille au musée*. Paris, Picard, 2008, pp. 101-107.

Clerc 1988 : CLERC (J.). – *Recherches pollenanalytiques sur la paléoécologie tardiglaciaire et holocène du bas Dauphiné*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille 3, 1988.

Colardelle, Colardelle 1996 : COLARDELLE (M.), COLARDELLE (R.). – La Grande Côte à Roissard. Habitat et nécropole. *Patrimoines en Isère : le Trièves*, Grenoble, Musée dauphinois, 1996.

Colardelle, Verdel 1993 : COLARDELLE (M.), VERDEL (E.) dir. – Les habitants du lac de Paladru (Isère) dans leur environnement. La formation d'un terroir au XIe siècle. *D.A.F.*, n° 40, Paris, Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1993. 416 p.

Comba 1973 : COMBA (R.). – La dinamica dell'insediamento umano nel Cuneese (secoli X-XIII). *Bollettino Storico-Bibliografico Subalpino*, LXXI, 1973, pp. 560-562.

Coulet 1989 : COULET (N.). – Compte rendu bibliographique. *Provence Historique*, fasc. 155, 1989, p. 109.

Coulet 1988 : COULET (N.). – *Aix-en-Provence. Espace et relations d'une capitale, milieu XIVe-milieu XVe siècle.* Aix-en-Provence-Lille, Publications de l'Université de Provence-Atelier national de reproduction des Thèses, 1988. 2 vol., 1238 p.

Coulet 1979 : COULET (N.). – La naissance de la bastide provençale, *in :* HIGOUNET (Ch.) dir. – *Géographie historique du village et de la maison rurale*, Actes du Colloque tenu à bazas les 19-21 octobre 1978, Paris, C.N.R.S., 1979.

Coulet 1975 : COULET (N.). – Prospections minières en Provence à la fin du Moyen Âge, *in : Mines et métallurgie (XIIe-XVIe siècles)*, Paris, C.T.H.S., 1975, pp. 159-168.

Court-Picon 2003 : COURT-PICON (M.). – Approches palynologique et dendrochronologique de la mise en place du paysage dans le Champsaur (Hautes-Alpes, France) à l'interface des dynamiques naturelles et des dynamiques sociales. Thématique, méthodologie et premiers résultats. *Archéologie du Midi Médiéval*, 21, 2003, pp. 211-224.

Coûteaux 1982 : COÛTEAUX (M.). – Recherches pollenanalytiques en Oisans : le plateau de Brande (L'Alpe-d'Huez, Isère, France). *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, 115, 1982, pp. 91-106.

Cowburn 1999 : COWBURN (I.). – Le charbon de terre en Galles du Sud, avant 1700, *in : Le charbon de terre en Europe occidentale avant l'usage industriel du coke*, Proceedings of the XXth International Congress of History of Science (Liège, 20-26 July 1997), Volume IV, De Divertibus artibus, T. 44, Brepols Publishers n. v., Turnhout, Belgium, 1999, pp. 125-140.

Craddock 1996 : CRADDOCK (P. T.). – The use of firesetting in the granite quarries of South India. *Mining history : The Bulletin of the Peak District Mines Historical Society*, v. 13, n°1, summer 1996, pp. 7-11.

Craddock 1993 : CRADDOCK (P. T.). – The inception of extractive metallurgy in Westhern Europe, *in* : FRANCOVICH (R.), dir. – Archeologia delle attività estrattive e metallurgiche, *Quadern del dipartimento di archeologia e storia delle arti sezione archeologica – Università de Siena*, Firenze, 1993, pp. 305-328.

Craddock 1991 : CRADDOCK (P. T.). – Mining and smelting in Antiquity, *in* : BOWMAN (S.) dir. – *Science and the past*, Londres, 1991, pp. 57-73.

Crew 1990 : CREW (P.). – Firesetting experiment at Rhiw Goch, *in* : Proceedings of the Early Mining Workshop at Plas Tan y Bwlch Snowdonia National Park Study Centre, 17-19 November, 1989, *Plas Tan y Bwlch Occasional Paper*, 1, 1990, p. 57.

Crosnier 1993 : CROSNIER (C.). – *La vallée du Fournel, diagnostic et propostions de gestion et de protection.* Parc National des Écrins / Mairie de l'Argentière, 1993.

Dartevelle 1990 : DARTEVELLE (G.). – *Églises médiévales des Hautes-Alpes*. Taulignan, Plein-Cintre, 1990. 119 p.

Davasse 2000 : DAVASSE (B.). – *Forêts, charbonniers et paysans dans les Pyrénées de l'Est, du Moyen Age à nos jours. Une approche géographique de l'histoire de l'environnement*. Toulouse, GEODE, 2000. 287 p.

Davasse 1998 : DAVASSE (B.). – *La forêt du charbonnier et les forêts des paysans dans l'espace des Pyrénées de l'Est (Moyen Âge à nos jours) : étude d'écologie historique : aspect biogéographique, écohistorique et anthracologique. Contribution à une histoire de l'environnement.* Thèse de doctorat de Géographie, Toulouse II, 1998.

Davasse 1992 : DAVASSE (B.). – Anthracologie et espaces charbonnés. Quelques exemples dans la moitié orientale des Pyrénées, *in : Les charbons de bois, les anciens écosystèmes et le rôle de l'homme*, Colloque de Montpellier, 10-13 sept. 1991, Bulletin de la Société Botanique de France, Actualités Botaniques (2/3/4), 39, 1992, pp. 597-608.

Davasse, Galop 1989 : DAVASSE (B.), GALOP (D.). – Le charbon de bois et le pollen : éléments pour une approche de l'évolution historique du paysage forestier dans les Pyrénées ariégeoises. *Acta Biologica Montana*, 1989, p. 336.

Davies 1935 : DAVIES (O.). – *Roman mines in Europe*. Oxford, the Clarendon press, 1935.

David 1993a : DAVID (F.). – *Évolutions de la limite supérieure des arbres dans les Alpes françaises du nord depuis la fin des temps glaciaires.* Thèse de Doctorat en Sciences, Université d'Aix-Marseille III. 96 p.

David 1993b : DAVID (F.). – Extension tardiglaciaire des pins dans les Alpes du Nord. *Comptes Rendus à l'Académie des Sciences de Paris*, t. 317, série II, 1993, pp. 123-129.

David, Barbero 2001 : DAVID (F.), BARBERO (M.). – Les érables dans l'étage subalpin : une longue histoire. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie*, 324, 2001, pp. 159-164.

David *et al.* 2000 : DAVID (F.), FARJANEL (G.), JOLLY (M.-P.). – Enregistrement de l'histoire de la végétation tardiglaciaire et holocène dans un grand lac : le Lac d'Annecy (France). *Géographie Physique et Quaternaire*, 54/1, 2000, pp. 91-103.

David *et al.* 2001 : DAVID (F.), FARJANEL (G.), JOLLY (M.-P.). – Palyno- and chronostratigraphy of a long sequence from Lac d'Annecy (northern outer Alps, France). *Journal of paleolimnology*, 25, 2001, pp. 259-269.

Deman 1962 : DEMAN (A.). – L'usage du vinaigre par Annibal dans les Alpes. *Phoibos*, t. X-XII, 1962, pp. 85-96.

Demians d'Archimbaud 1981 : DEMIANS D'ARCHIMBAUD (G.) dir. – *Aujourd'hui le Moyen Age. Archéologie et vie quotidienne en France méridionale.* 1981.

Déprez-Masson 2004 : DÉPREZ-MASSON (M.-Cl.). – L'alchimie dans les encyclopédies du XIIIe siècle : Vincent de Beauvais et ses confrères, *in :* BAILLAUD (B.), GRAMONT (J. de) et HÜE (D.) éd. – *Encyclopédies médiévales, Discours et savoirs*, Presses Universitaires de Rennes et Association Diderot, 2004 pour la version en ligne.

Desplanque *et al.* 1998 : DESPLANQUE (C.), ROLLAND (C.), MICHALET (R.). – Dendroclimatologie comparée du sapin et de l'épicéa dans les zones internes des vallées alpines nord-occidentales (France, Italie). *Écologie*, 29 (1-2), pp. 351-355.

Devèze 1961 : DEVÈZE (M.). – *La vie de la forêt française au XVIe siècle.* 2 vol. Les Hommes et la terre, VI, École Pratique des Hautes Études, sixième section, SEVPEN, 1961.

Di Gangi 2007 : DI GANGI (G.). – Ressources minières et centres de pouvoir en Piémont médiéval, *in* : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.) et POISSON (J.-M.) dir. – *Mines et pouvoir au Moyen Âge*, Actes de la Table-ronde de Lyon, 15 mai 2002, Lyon : Presses universitaires de Lyon, 2007, pp. 77-102.

Digerfeldt *et al.* 1997 : DIGERFELDT (G.), BEAULIEU (J.-L. de), GUIOT (J.), MOUTHON (J.). – Reconstruction and paleoclimatic interpretation of Holocene lake-level changes in lac de Saint-Léger, Haute-Provence, southeast France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 136, 1997, pp. 231-258.

Dirol, Pruvost 2002 : DIROL (D.), PRUVOST (A.-M.). – Les agents biologiques responsables de la dégradation du bois, *in* : ROQUEBERT (M.-F.) ed. – *Les contaminants biologiques des biens culturels*, collection Patrimoine, Elsevier Masson, 2002, 420 p.

Domergue 1990 : DOMERGUE (C.). – *Les mines de la péninsule ibérique dans l'antiquité romaine.* Collection de l'école française de Rome, 127, École française de Rome, 1990. 625 p.

Dubois 1999 : DUBOIS (Cl.). – Les mines de plomb argentifère et de zinc d'Aulus-les-Bains (Ariège). *Archéologie du Midi Médiéval*, 17, 1999, pp. 187-211.

Dubois 1996 : DUBOIS (Cl.). – L'ouverture par le feu dans les mines : histoire, archéologie et expérimentation. *Revue d'archéométrie*, 20, 1996, pp. 33-46.

Dubois 1990 : DUBOIS (Cl.). – *Archéologie de l'environnement forestier en milieu métallurgique et minier, en Ariège : orientation de recherches diachroniques.* Mémoire de DEA, 1990.

Dubois *et al.* 1996 : DUBOIS (Cl.), METAILIE (J.-P.), IZARD (V.). – Archéologie de la forêt charbonnée : questions et méthodes, illustrées par l'exemple du site de Lercoul (Ariège), *in : La dynamique des paysages protohistoriques, antiques, médiévaux et modernes,* XVIIème rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, Actes de rencontre oct. 1996, Sophia Antipolis, C.N.R.S., A.P.D.C.A., 1997, pp. 525-540.

Dubois *et al.* 1994 : DUBOIS (Cl.), METAILIE (J.-P.), IZARD (V.). – Forêts charbonnées et archéologie métallurgique en Ariège (Pyrénées françaises). Une méthodologie interdisciplinaire pour l'histoire de l'environnement, *in* : La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, Actes du colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993, *Annales littéraires de l'Université de Besançon*, 536, Paris, 1994, pp. 311-322.

Dubois, Métailié 2001 : DUBOIS (Cl.), METAILIE (J.-P.). – Anthropisation et dynamique forestière dans les Pyrénées ariégeoises à l'époque gallo-romaine. L'exemple de la forêt de Lercoul, *in : Les ressources naturelles des Pyrénées, leur exploitation durant l'Antiquité*, Entretiens d'archéologie et d'histoire, Saint-Bertrand-de-Comminges, 2001, pp. 8-19.

Duby 1973 : DUBY (G.). – Les seigneurs et la cité, Embrun 1177. *Provence historique,* tome XXIII, fasc. 93-94, juillet-décembre 1973, Marseille, 1973, pp. 94-98.

Duby 1962 : DUBY (G.). – *L'économie rurale et la vie des campagnes dans l'Occident médiéval*. Paris, Aubier, 1962, 2 vol., 822 p.

Duchauvelle 2005 : DUCHAUVELLE (A.). – *Les outils en fer du Musée Romain d'Avenches.* Avenches, Documents du Musée Romain d'Avenches, 11, 2005.

Dufournet 1978 : DUFOURNET (P.). – *Pour une archéologie du paysage. Une communauté agraire sécrète et organise son territoire. Bassy et alentours (Haute-Savoie et Ain).* Paris, Picard, 1978. 397 p.

Dumont 2002 : DUMONT (C.). – Les canaux d'arrosage du Briançonnais. Modalités de gestion et droits d'eau, *in* : AUBRIOT (O.), JOLLY (G.) coord. – *Histoire d'une eau partagée. Irrigation et droits d'eau du Moyen Âge à nos jours. Provence, Alpes, Pyrénées*. Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 2002, pp. 101-121.

Durand 2004 : DURAND (A.). – *Du paysage à la pratique des gestes à l'environnement : essai d'approches croisées sur les systèmes agraires en France méridionale et en Catalogne (IXe-XVe siècles)*. Habilitation à diriger les recherches, Université d'Aix-Marseille I, 2004. I, 230 p., II, pp. 233-533.

Durand 1998 : DURAND (A.). – *Les paysages médiévaux du Languedoc, X^e^-XIIe siècles*. Toulouse, Presses universitaires du Mirail, 1998. 491 p.

Durand 1991 : DURAND (A.). – *Paysages, terroirs et peuplement dans les campagnes du Bas-Languedoc (X^e^-XIIe siècles)*, Thèse de doctorat, Université de Paris I, Panthéon Sorbonne, Paris, 1991. 518 p.

Durand, Py sous presse : DURAND (A.), PY (V.). – Évolution des écosystèmes et des pratiques agrosylvopastorale et minière pour la production de bois de feu dans le haut Champsaur et la haute Durance (France) de l'âge du Bronze ancien au XVIe siècle, *in* : *Actes du colloque de Gap « Archéologie de l'espace montagnard : confrontation d'expériences européennes »*, Gap, 2008, sous presse.

Durand, Py 2008 : DURAND (A.), PY (V.). – L'évolution des écosystèmes dans le haut Champsaur et la montagne de Dormillouse (Hautes-Alpes, France) au crible des charbons de bois archéologiques, *in* : BERNARDI (Ph.), dir. – *Forêts alpines et charpentes en Méditerranée*, l'Argentière-la Bessée, éditions du Fournel, 2008, pp. 32-35.

Estienne, Nicolas 1999 : ESTIENNE (M.-P.), NICOLAS (N.). – *Châteaux médiévaux des Hautes-Alpes*. Cahiers du Patrimoine Haut-Alpin, n°1, Amis des Archives des Hautes-Alpes et Librairie des Hautes-Alpes éd., 1999. 224 p.

Eaton Turner 1932 : EATON TURNER (G. W.). – Ashanti Goldfields Corporation. *Mining Magazine*, juin 1932, p. 329.

Évin, Oberlin 2001 : ÉVIN (J.), OBERLIN (Ch.). – Les développements récents en datation par le radiocarbone pour l'archéologie, *in* : BARRANDON (J.-N.), GUIBERT (P.), MICHEL (V.) dir. – *Datation*, Actes des XXIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, 19-20-21 octobre 2000, Antibes, A.P.D.C.A., 2001, pp. 93-111.

Évin, Oberlin 1998 : ÉVIN (J.), OBERLIN (Ch.). – La méthode de datation par le radiocarbone, *in* : FERDIÈRE (A.) dir. – *La datation en laboratoire*. Collection « Archéologiques », Paris, Errance, 1998, pp. 75-117.

Fabre 1996 : FABRE (L.). – *Le charbonnage historique de la chênaie de Quercus ilex L. (Languedoc, France) : conséquences écologiques*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 1996. 364 p.

Fabre *et al.* 1992 : FABRE (L.), GRAU ALMERO (E.), LALANNE (J.-F.), VERNET (J.-L.), DURAND (A.). – Charbonnières et forêts méditerranéenne à La Boissière (Hérault), *in* : Protoindustries et histoire des forêts, Actes du colloque de Loubières, Ariège (10-13 octobre 1990), *Les cahiers de l'ISARD*, n°2, 1992, pp. 237-255.

Fabre, Gervet 1992 : FABRE (L.), GERVET (X.). – Première approche du charbonnage et de l'histoire de la forêt méditerranéenne : l'exemple du canton d'Aniane (Hérault), *in* : Les charbons de bois, les anciens écosystèmes et le rôle de l'homme, Colloque de Montpellier, 10-13 sept. 1991, *Bulletin de la Société Botanique de France*, Actualités Botaniques (2/3/4), 39, 1992, pp. 617-625.

Falque-Vert 2004a : FALQUE-VERT (H.). – Le Dauphiné au milieu du XIIIe siècle, *in* : JOURDAIN-ANNEQUIN (C.) dir. – *Atlas culturel des Alpes occidentales de la Préhistoire à la fin du Moyen Âge.* Paris, Picard, 2004, pp. 264-265.

Falque-Vert 2004b : FALQUE-VERT (H.). – *Les paysans et la terre en Dauphiné vers l'an mil*. La Pierre et l'Écrit coll., Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble, 2004. 323 p.

Falque-Vert 1997 : FALQUE-VERT (H.). – *Les hommes et la montagne en Dauphiné au XIIIe siècle*. Les Pierres et l'écrit coll., Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 1997. 517 p.

Falque-vert 1994 : FALQUE-VERT (H.). – Prairies et alpages en Haut-Dauphiné au milieu du XIIIe siècle, *in : Actes du 116e congrès national des sociétés savantes*, Chambéry-Annecy, 29 avril-4 mai 1991, Section d'histoire médiévale et de philologie, d'Histoire moderne et contemporaine et d'Archéologie et d'Histoire de l'art, Paris : CTHS, 1994, pp. 227-243.

Fancelli Galletti 1972 : FANCELLI GALLETTI (M. L.). – I carboni della grotta delle Arene Candide e l'evoluzione forestale in Liguria dopo l'ultima glaciazione. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem.*, Serie A, 79, 1972, pp. 206-212.

Farinelli, Francovitch 1994 : FARINELLI (R.), FRANCOVITCH (R.) – Potere e attività minerarie nella Toscana altomedievale, *La Storia dell'alto medioevo italiano (VI-X secolo) alla luce dell'archeologia*, Sienne, 1992, Florence, 1994, pp. 443-466.

Fau 2003 : FAU (L.). – Les monts d'Aubrac : approches d'un habitat médiéval montagnard. *Archéologie du Midi médiéval*, t. 21, Dossier spécial montagne, 2003, pp. 171-182.

Fauquette 1995 : FAUQUETTE (S.). – Étude paléoécologique (pollen et macrorestes) d'un site du Brainçonnais : le Lac de Cristol (Hautes-Alpes, France). *Palynosciences*, 3, 1995, pp. 51-68.

Fauquette, Talon 1995 : FAUQUETTE (S.), TALON (B.). – Histoire de la végétation forestière d'un site du Briançonnais : le lac de Cristol (Hautes-Alpes, France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, Série II a, 321, 1995, pp. 255-262.

Faure 1998 : FAURE (A.). – *Noms de lieux et noms de familles des Hautes-Alpes.* Gap, Esapci Occitan, 1998. 412 p.

Feldhaus 1965 : FELDHAUS (F. M.). – *Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker.* München, Heinz Moos, 1965.

Feldhaus 1914 : FELDHAUS (F. M.). – *Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit ud der Naturvölker. Ein Handbuch....* Leipzig, W. Engelmann, 1914.

Février *et al.* 1989 : FÉVRIER (P.-A.), BATS (M.), CAMPS (G.), FIXOT (M.), GUYON (J.), RISER (J.). – *La Provence des origines à l'an mil.* Ouest-France, 1989. 521 p.

Figueiral 1990 : FIGUEIRAL (I.). – *Le Nord-Ouest du Portugal et les modifications de l'écosystème, du Bronze final à l'époque romaine, d'après l'anthracoanalyse de sites archéologiques.* Thèse de doctorat, Montpellier, 1990. 203 p.

Fischer 1998 : FISCHER (L.). – Bronzezeitliche Bauelemente von der Roseninsel im Starnbergersee (Oberbayern). *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 28, 1998, pp. 219-238.

Florsch 1995 : FLORSCH (N.). – Étude quantitative du problème de l'aérage d'une galerie de mine au XVIe siècle, vallée de Sainte-Marie-aux-Mines (Haut-Rhin). *Revue d'Archéométrie*, n°19, 1995, pp. 5-18.

Fluck 2000 : FLUCK (P.). – *Sainte-Marie-aux-Mines : Les mines du rêve*. Patrimoine minier, 2000.

Fluck 1990a : FLUCK (P.). – Introduction à l'archéologie minière en Alsace, *in* : SCHNITZLER (B.) (coord.). – *Vivre au Moyen Age. 30 ans d'archéologie médiévale en Alsace*, catalogue de l'exposition, Strasbourg, Les Musées de la ville de Strasbourg, 1990, pp. 259-270.

Fluck 1990b : FLUCK (P.). – Les haldes dans le paysage minier, *in* : SCHNITZLER (B.) (coord.), *Vivre au Moyen Age – 30 ans d'archéologie médiévale en Alsace*, catalogue de l'exposition, Strasbourg, Les Musées de la ville de Strasbourg, 1990, pp. 287-294.

Fluck, Ancel 1984 : FLUCK (P.), ANCEL (B.). – Rapport de fouilles sur les mines de plomb Saint-Pierre-sur-l'Hâte Altenberg District de Sainte-Marie-aux-Mines. *Pierre et Terre*, 28, 1er semestre 1984. 98 p.

Fluck *et al.* 1996 : FLUCK (P.), ANCEL (B.), BOHLY (B.). – Les roues hydrauliques dans les mines du Harz du XIVe au XIXe siècle, *in* : L'eau et la mine, *Pierres et terre*, n°36, juin 1996, pp. 24-34.

Ford, Rieuwerts 1968 : FORD (T. D.), RIEUWERTS (J. H.). – *Lead mining in the Peak District.* Bakewell, 1968.

Fortoul 1995 : FORTOUL (J.-R.). – Ubaye, la mémoire de mon pays. Les gens, les bêtes, les choses, le temps. *Alpes de lumière*, t. 117, 1995, pp. 15-238.

Francovitch, Farinelli 1999 : FRANCOVITCH (R.), FARINELLI (R.). – Paesaggi minerari della Toscana Medievale : castelli e metalli, *in : Castrum 5, Archéologie des espaces agraires méditerranéens au Moyen Âge*, Actes du colloque de Murcie (Espagne), Casa de Velázquez – École française de Rome, Madrid, Rome, Murcie, 1999, pp. 467-488.

Francovitch 1991 : FRANCOVITCH (R.). – *Rocca San Silvestro.* Roma, 1991.

Frassinetti 1950 : FRASSINETTI (P.). – L'aceto di Annibale. *G. I. F.*, 3, 1950, pp. 200-205.

Fray 1983 : FRAY (F.). – L'habitat traditionnel dans la vallée de la Clarée (Briançonnais). *Le monde alpin et rhodanien*, t. 14, 1983, pp. 121-149.

Fruhauf 1980 : FRUHAUF (C.). – *Forêt et société, de la forêt paysanne à la forêt capitaliste en pays de Sault sous l'ancien régime (vers 1670-1791).* Paris, C.N.R.S., 1980. 302 p.

Fustier 1968 : FUSTIER (P.). – *La route, voies antiques, chemins anciens, chaussées modernes.* Paris, 1968.

Galland 1994 : GALLAND (B.). – Deux archevêchés entre la France et l'Empire. Les archevêques de Lyon et les archevêques de Vienne du milieu du XIIe au milieu du XIVe siècle. *B.E.F.A.R.*, fascicule n°282, Rome, École française de Rome, 1994. 831 p.

Galop 1998 : GALOP (D.). – *La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées, 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée*. GEODE, 1998. 285 p.

Garioud 2007 : GARIOUD (N.). – La Maison de Savoie et ses mines d'argent. Essai d'analyse générale d'une politique minière (fin XIIIe-première moitié XIVe), *in* : BAILLY-MAÎTRE (M.-Ch.), POISSON (J.-M.) dir. – *Mines et pouvoir au Moyen Âge.* Actes de la Table-ronde de Lyon, 15 mai 2002, Presse Universitaires de Lyon, 2007 (Collection d'Histoire et d'Archéologie Médiévales), pp. 47-61.

Gauthier 2004 : GAUTHIER (É.). – *Forêts et agriculteurs du Jura : les quatre derniers millénaires.* Presses Universitaires de Franche-Comté, 2004. 197 p.

Gautier-Dalché 2000 : GAUTIER-DALCHÉ (P.). – La montagne dans la description « géographique » au Moyen Âge, *in* : THOMASSET (C.), JAMES-RAOUL (D.) éd. – *La montagne dans le texte médiéval. Entre mythe et réalité*, Actes du colloque international tenu à Conques, Paris, Presses de l'Université de Paris-Sorbonne, 2000, pp. 99-121.

Gerner 1995 : GERNER (M.). – *Les assemblages des ossatures et charpentes en bois, construction, entretien, restauration*. Adapté de l'allemand par M. Genevrier, Eyrolles, 1995. 190 p.

Gille 1969 : GILLE (B.). – Les problèmes de la technique minière au Moyen Age. *Revue Historique Mines et Métallurgie*, I, (2), Genève, Droz, 1969, pp. 279-297.

Giordanengo 1988 : GIORDANENGO (G.). – Le droit féodal dans les pays de droit écrit. L'exemple de la Provence et du Dauphiné XIIe-début XIVe siècle. *B.E.F.A.R.*, fascicule n°266, Rome, École française de Rome, 1988. 331 p.

Gollnisch-Moss 1999 : GOLLNISCH-MOSS (H.). – *Uerschhausen-Horn. Haus- und Siedlungsstrukturen der spätesbronzezeitlichen Siedlung.* Frauenfeld, Departement für

Erziehung und Kultur des Kantons Thurgau (Forschungen im Seebachtal, 3, Archäologie im Thurgau, 7), 1999. 202 p.

Gonzenbach 1949 : GOZENBACH (V. von). – *Die Cortaillodkultur in der Schweiz.* Basel, Birkhäuser, Monographien zur Ur- und Frühgeschichte der Schweiz, 7, 1949. 93 p.

Götz *et al.* 1988 : GÖTZ (K.-H.), HOOR (D.), MÖLHLER (K.), NATTERER (J.). – *Construire en bois. Choisir, concevoir, réaliser*. Presses Polytechniques romandes, réimpression 1988. 283 p.

Grabner *et al.* 2007 : GRABNER (M.), KLEIN (A.), GEIHOFER (D.), RESCHREITER (H.), BARTH (F. E.), SORMAZ (T.), WIMMER (R.). – Bronze age dating of timber from the salt-mine at Hallstatt, Austria. *Dendrochronologia*, 24, 2007, pp. 61-68.

Grandemange 1992 : GRANDEMANGE (J.). – L'aérage dans les mines polymétalliques du massif vosgien au XVIe siècle, *in : 113ème congrès national des Sociétés savantes, Strasbourg 1988*, 1992, pp. 407-420.

Grandemange 1988 : GRANDEMANGE (J.). – L'aérage dans les mines polymétalliques du massif Vosgien au XVIe siècle, *in* : 113e Congrès National des Sociétés Savantes, Techniques minières, Strasbourg, 1988, pp. 407-420.

Guichonnet *et al.* 1980 : GUICHONNET (P.) sous la dir. – *Histoire et civilisation des Alpes*, 2 vol., Toulouse-Lausanne, Privat-Payot, 1980.

Guionova 2007 : GUIONOVA (G.). – *Le matériel céramique de Fangeas. Rapport d'analyse.* Aix-en-Provence, 2007. 2 p. et illus.

Hägermann 1984 : HÄGERMANN (D.). – Deutsches Königtum und Bergregal im Spiegel der Urkunden. *Der Anschnitt*, vom. 12. Bis 17. Jahrhundert, 1984, pp. 13-23.

Han 1977 : HAN (A.). – *La Vallouise par un de ses fils*. Gap, 1977. 273 p.

Hapca 2001 : HAPCA (A.). – *Contribution à la cartographie du bois de compression en fonction de la forme extérieure de l'arbre (étude sur l'Épicéa commun, Picea abies Karst.).* D.E.A. en Sciences du bois, E.N.G.R.E.F., Nancy, 2001.

Healy 1978 : HEALY (J. F.). - *Mine and Metallurgy in the Greek and Roman world.* London, Thames and Hudson, 1978. 316 p.

Heilfurth 1981 : HEILFURTH (G.) – *Der Bergbau und seine Kultur : Ein Welt zwischen Dunkel und Licht*. Zurich, Atlantis, 1981.

Heinz 1990 : HEINZ (C.). – Dynamique des végétations holocènes en Méditerranée Nord-Occidentale d'après l'anthracoanalyse de sites préhistoriques : méthodologie et paléoécologie. *Paléobiologie continentale*, vol. 16, n°2, Montpellier, 1990. 212 p.

Heinz 1988 : HEINZ (C.). – *Dynamique des végétations holocènes en Méditerranée Nord-Occidentale d'après l'anthracoanalyse de sites préhistoriques : méthodologie et paléoécologie.* Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 1988. 275 p.

Hesse 1975 : HESSE (Ph.-J.). – La formation d'une administration minière royale dans la France médiévale et au début du XVIe siècle, *in : Mines et métallurgie (XIIe-XIVe siècle),* Actes du 98e congrès national des sociétés savantes, Saint-Étienne 1973, Tome 1, Paris, Bibliothèque nationale, 1975, pp. 7-22.

Hesse 1973 : HESSE (Ph.-J.). – *La mine et les mineurs en France de 1300 à 1550*. Thèse de doctorat d'État, histoire du droit, faculté de droit et de sciences économiques de Paris, 1968, Paris, microédition du texte dactylographié (1968), 1973. 815 p. + 20 fig. + 15 pl.

Hillebrecht 1989 : HILLEBRECHT (M. L.). – Untersuchungen an Holzkohlen aus frühen Schmelzplätzen. *Der Anschnitt*, Beiheft 7, 1989, pp. 203-212.

Holman 1927 : HOLMAN (B. W.). – Heat-treatment as a Agent in Rock-breaking. *Transactions Institute Mining Metals*, vol. 36, Submitted for discussion, January 20th 1927, pp. 219-234 et discussions pp. 234-262.

Humbert 1972 : HUMBERT (J.). – *Embrun et l'Embrunais à travers l'histoire*. SEHA, Gap, Société d'Études des Hautes-Alpes, 1972. 508 p.

Husa *et al.* 1967 : HUSA (V.), PETRAN (J.), SUBRTOVA (A.). – *Hommes et métiers dans l'art du XI^Ie^ au XVIIe siècle en Europe centrale*. Paris, Gründ, 1967. 226 p.

Isnel 1935 : ISNEL (P.). – La mine de cuivre de Saint-Véran et son exploitation à l'âge préhistorique. *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 1935, pp. 1-9.

Izard 1999 : IZARD (V.). – *Les montagnes du fer. Eco Histoire de la métallurgie et des forêts dans les Pyrénées méditerranéennes (de l'Antiquité à nos jours). Pour une histoire de l'environnement*. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse II, 1999. I, 560 p., II, 192 p.

Izard 1994 : IZARD (V.). – Cartographie successive des entreprises métallurgiques dans les Pyrénées Nord Catalanes ; support préliminaire à l'étude éco-historique des forêts charbonnées. *Archéologie du Midi Médiéval*, T. XII, 1994, pp. 115-128.

Izard 1992a : IZARD (V.). – L'art du charbonnier : contributions ethno-botanique et géographico-historique à l'étude des paysages métallurgiques d'après l'anthracoanalyse des charbonnières, *in* : Les charbons de bois, les anciens écosystèmes et le rôle de l'homme, Colloque de Montpellier, 10-13 sept. 1991, *Bulletin de la Société Botanique de France*, Actualités Botaniques (2/3/4), T. 39, 1992, pp. 587-596.

Izard 1992b : IZARD (V.). – La typologie des charbonnières : méthode d'inventaire pour l'étude diachronique du charbonnage. *Les Cahiers de l'ISARD*, n° 3, Protoindustries et histoire des forêts, Toulouse, GDR ISARD-CNRS, 1992, pp. 223-235.

Jeunesse 1991 : JEUNESSE (C.). – L'archéologie minière, un domaine en plein essor, *L'archéologie en Alsace. A.P.R.A.A. Hors-Série*, 1991, 115-116.

Jourdain-Annequin 2004 : JOURDAIN-ANNEQUIN (C.) dir. – *Atlas culturel des Alpes occidentales. De la préhistoire à la fin du Moyen-Âge*. Paris, Picard, 2004. 438 p.

Kaiser 1995 : KAISER (P.). – Architectes et corvées dans la construction des bisses au XVe siècle, *in : Actes du colloque international sur les bisses tenu à Sion (15-18 septembre 1994), Annales valaisannes*, 2ème série, t. 70, 1995, pp. 187-210.

Kharbouch 2000 : KHARBOUCH (M.). – Variations altitudinales de quelques taxons végétaux dans les Alpes du Sud durant le Tardiglaciaire et l'Holocèse. *Quaternaire*, 11, n°3/4, 2000, pp. 231-242.

Krauss-Marguet 1981 : KRAUSS-MARGUET (I.). – Analyse anthracologique du gisement postglaciaire de la Poujade (Millau, Aveyron). *Paléobiologie constinentale*, t. 12, n°1, Montpellier, 1981, pp. 93-110.

Kunnert 1961 : KUNNERT (H.). – Der Schladminger Bergbrief (1322). *Der Annschnitt*, 13, 2, 1961. 3-9.

Lambert 1998 : LAMBERT (G.-N.). – La dendrochronologie, mémoire de l'arbre, *in* : FERDIÈRE (A.) dir. – *La datation en laboratoire*. (Collection « Archéologiques »), Paris, Errance, 1998, pp. 13-69.

Lanza 1997 : LANZA (M.-P.). – *Archéologie minière dans le massif des Maures (Var)*, Mémoire de D.E.A., Université de Provence, 1997.

Laslaz 2006 : LASLAZ (L.). – Terre d'élevage ou « nature préservée » en zone centrale des parcs nationaux français des Alpes du Sud ? *Méditerranée*, n° 107, Nouvelles dynamiques du développement rural dans les Alpes du Sud, 2006, pp. 53-66.

Lauzanne 1983 : LAUZANNE (S.). – L'apport des cartulaires à l'histoire des mines, des carrières et de la métallurgie dans la France du Nord-Est, *in : Mines et carrières et métallurgie dans la France médiévale*, Actes du colloque de paris, 19, 20, 21 juin 1980, Paris, C.N.R.S., 1983, pp. 17-30.

Leroy 2008 : LEROY (N.). – Commerce du bois et réglementation, l'exemple des fustiers d'Avignon au XIIIe siècle, *in* : BERNARDI (Ph.), dir. – *Forêts alpines et charpentes en Méditerranée*, l'Argentière-la Bessée, les éditions du Fournel, pp. 89-91.

Les bois gorgés d'eau, étude et conservation. *Actes de la 2e conférence du groupe de travail « Bois gorgés d'eau » de l'ICOM*, Grenoble 28-31 août 1984, Grenoble, Centre d'étude et de traitement des bois gorgés d'eau, 1985. 369 p.

Lestournel 2004 : LESTOURNELLE (R.). – *La mine de graphite du Chardonnet.* Histoire & Patrimoine coll., L'Argentière-la Bessée, Editions du Fournel, 2004. 84 p.

Lethbridge 1946 : LETHBRIDGE (R. F. St. G.). – Some ancient gold workings in Egypt. *The Mining Magazine*, oct. 1946, pp. 223-224.

Letonnelier 1957 : LETONNELIER (G.). – Les droits régaliens en Dauphiné (des origines à la fin du XVe siècle), *in* : LOT (F.), FAWTIER (R.) dir. – Histoire des institutions françaises au Moyen Âge, Tome Premier, *Institutions seigneuriales (Les droits du Roi exercés par les grands vassaux)*, Presses Universitaires de France, 1957, pp. 137-156.

Levat 1913 : LEVAT (D.). – *Mines*. Agenda Dunod, 1913.

Leveau 2004 : LEVEAU (Ph.). – *Mansiones*, « stations » et agglomérations routières, *in* : CAVALLARO (A.-M.), RÉMY (B.) éd. – *Les voies romaines en Méditerranée*, actes du séminaire européen sur les actions et les publications, Aoste, 21 novembre 2003, Aoste, 2004, pp. 102-105.

Leveau 2003 : LEVEAU (Ph.). – Les recherches sur la montagne haut alpine à la Maison méditerranéenne des Sciences de l'Homme. *Archéologie du Midi médiéval*, t. 21, Dossier spécial montagne, 2003, pp. 183-184.

Leveau, Segard 2004 : LEVEAU (P.), SEGARD (M.). – Le pastoralisme en Gaule du sud entre plaine et montagne : de la Crau aux Alpes du Sud. *PALLAS*, 64, « Les hommes et la terre dans la Méditerranée Gréco-Romaine », Presses Universitaires du Mirail, 2004, pp. 99-113.

Lewis 1990 : LEWIS (A.). – Firesetting experiments on the Great Orme, 1989, *in* : Proceedings of the Early Mining Workshop at Plas Tan y Bwlch Snowdonia National Park Study Centre, 17-19 November, 1989, *Plas Tan y Bwlch Occasional Paper*, 1, 1990, pp. 55-56.

L'or blanc de Hallstatt, Il y a 2500 ans dans les Alpes autrichiennes, une mine de sel, exposition 2004-2005, produite en partenariat avec *Produziert mit dem Naturhistorischen Museum Wien*, livret de l'exposition produite par Bibracte. 30 p.

Loreau 1994 : LOREAU (P.). – *Du bois au charbon de bois : approche expérimentale de la combustion*. Mémoire de D.E.A., Environnement et archéologie, Montpellier II. 64 p.

Ludemann 2001 : LUDEMANN (T.). – Das Waldbild des Hohen Schwarzwaldes im Mittelalter. Ergebnisse neuer holzkohleanalytischer und vegetationskundlicher Untersuchungen. *Alemannisches Jahrbuch 1999/2000*, Freiburg i. Br., 2001, pp. 43-64.

Ludemann 1995 : LUDEMANN (T.). – Zwei Kohlplätze im Mittleren Schwarzwald. Mitt. Bad. Landesver. *Naturkunde u. Naturschutz*, 16 (2), 1995, pp. 319-334.

Ludemann, Nelle 2002 : LUDEMANN (T.), NELLE (O.). – Die Wälder am Schauinsland und ihre Nutzung durch Bergbau und Köhlerei. *Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Botanik und Standortskunde*, Freiburg (Breisgau), Forstliche Versuchs- und Forschunggsanst, Baden-Wüttemberg, 2002. 139 p.

Lumley 1997 : LUMLEY (H. de) dir. – Mont Bego, Tende, Alpes-Maritimes. Campagne de l'année 1996. *Rapport intermédiaire*, 1997. 20 p.

Lumley 1995 : LUMLEY (H. de) dir. – *Le grandiose et le sacré, gravures rupestres protohistoriques et historiques de la région du Mont Bégo.* Aix-en-Provence, Edisud, 1995. 452 p.

Lumley *et al.* 1992 : LUMLEY (H. de) *et al*. – *Le Mont Bégo, vallées des Merveilles et de Fontanalba*. Guides archéologiques de la France (coll.), 26, Paris, Ministère de la Culture et de la Communication / Imprimerie nationale, 1992. 164 p.

Maggiori 2001 : MAGGIORI (L.). – *Les incidences techniques de l'utilisation des boisages et des équipements en bois sur l'architecture des réseaux miniers (de l'Antiquité jusqu'au XVIe siècle).* 2 vol., Mémoire de D.E.A., Université de Provence, Aix-Marseille I, 2001. 256 p.

Macé 2003 : MACÉ (L.). – *Les comtes de Toulouse et leur entourage. Rivalités, alliances et jeux de pouvoir XIIe-XIIIe siècles.* Toulouse, Privat, 2003. 445 p.

Mallé 1999 : MALLÉ (M.-P.). – *L'habitat des Hautes-Alpes patrimoine architectural et mobilier*. Cahiers du partrimoine, Inventaire général, ADAGP, 1999. 434 p.

Mallé 1983a : MALLÉ (M.-P.). – L'inventaire de l'architecture rurale dans les Hautes-Alpes. Problèmes méthodologiques et premiers résultats. *Le monde alpin et rhodanien*, t. 14, 1983, pp. 8-27.

Mallé 1983b : MALLÉ (M.-P.). – L'architecture rurale en Champsaur. *Le monde alpin et rhodanien*, t. 14, 1983, pp. 29-76.

Manteyer 1932 : MANTEYER (G. de.). – *Le livre-journal tenu par Fazy de Rame en langage embrunais.* Gap, 1932, 2 vol.

Manteyer 1929 : MANTEYER (G. de). – *Les origines de la Maison de Savoie et du Dauphiné de Viennois, leurs monnaies féodales (993-1325)*. B.S.E.H.A., 1929.

Manteyer 1925 : MANTEYER (G. de). – *Les origines du Dauphiné de Viennois. La première race des comtes d'Albon (843-1228).* Gap, L. Jean & Peyrot, 1925, 105 p. (Extrait du *Bulletin de la Société d'études des Hautes-Alpes*, 44e année, 5e série, T. IV, pp. 50-140).

Manuel 1993 : MANUEL (R.). – Note sur les métiers d'autrefois. *Les Alpes de lumière*, Mane, 1993, pp. 23-28 et pp. 35-39.

Marconnet 2004 : MARCONNET (Ch.). – *Étude sédimentologique des résidus de l'abattage par le feu issus des expérimentations et des mines médiévales du Fournel*. Rapport d'analyses, 2004. 12 p et illus.

Marconnet 2002 : MARCONNET (Ch.). – *Étude sédimentologique des résidus de l'abattage par le feu issus des expérimentations et des mines médiévales du Fournel.* Rapport d'analyses, 2002. 17 p et illus.

Marguerie, Hunot 2007 : MARGUERIE (D.), HUNOT (J.-Y.). – Charcoal analysis and dendrology : data from archaeological sites in north-western France. *Journal of Archaeological Science*, v. 34, Issue 9, pp. 1417-1433.

Marguerie *et al.* 2000 : MARGUERIE (D.), BEGIN (Y.), COUNOYER (L.). – Distinction anatomique du bois de Mélèze (*Larix Laricina* [du Roi] K. Koch), de l'Épinette blanche (*Picea glauca* [oench] Voss), et de l'Épinette noire (*Picea mariana* [Mill] B.S.P.), en vue de l'analyse des macrorestes. *Géographie Physique et Quaternaire*, 54(3), pp. 317-325.

Mari 1984 : MARI (G.). – *La minière de Vallauria (Alpes-Maritimes).* Nice, 1984.

Martel 1920 : MARTEL (L.). – *La technique du mineur.* Dunod, 1920. 352 p.

Mazière 2008 : MAZIÈRE (J.-M.). – Le charpentier, *in* : BERNARDI (Ph.), dir. – *Forêts alpines et charpentes en Méditerranée*, l'Argentière-la Bessée, les éditions du Fournel, pp. 121-126.

Mc Carthy 1920 : Mc CARTHY (E. T.). – *Further incidents in the life of a mining engineer.* New-York, 1920.

Menant 1993 : MENANT (F.). – *Campagnes lombardes au Moyen Âges.* B.E.F.A.R., 281, École française de Rome, 1993. 1003 p.

Menant 1987 : MENANT (F.). – Pour une histoire médiévale de l'entreprise minière en Lombardie. *Annales Économies Sociétés Civilisation,* 42e année – n°4, Juillet-août 1987, Armand Colin, Paris, 1987, pp. 779-796.

Métailié 1992 : MÉTAILIÉ (J.-P.). – Anthracologie, proto-industries et nouvelles perspectives en histoire des forêts, *in : Les charbons de bois, les anciens écosystèmes et le rôle de l'homme,* Colloque de Montpellier, 10-13 sept. 1991, *Bulletin de la Société Botanique de France*, Actualités Botaniques (2/3/4), T. 39, 1992, pp. 479-586.

Métailié 1981 : MÉTAILIÉ (J.-P.). – *Le feu pastoral dans les Pyrénées centrales (Barousses, Oueil, Larboust).* Paris, C.N.R.S., 1981, 294 p.

Métailié, Jalut 1991 : MÉTAILIÉ (J.-P.), JALUT (G.) sous la dir. – *Histoire des forêts et impact de la métallurgie dans les Pyrénées ariégeoises depuis deux millénaires.* Rapport PIREN, "Histoire de l'environnement", 1991. 220 p.

Meyer *et al.* 1998 : MEYER (W.), AUF DER MAUR (F.), BELLWALD (W.), BITTERLI-WALDVOGEL (T.), MOREL (P.), OBRECHT (J.). – *« Heidenhüttli ». 25 Jahre archäologische Wütungsforschung im schweizerischen Alpenraum.* Basel : Schweizerischer Burgenverein, Schweizer Beiträge zur Kulturgeschichte und Archäologie des Mittelalters, 23/24, 1998, 431 p.

Mocci, Walsh 2006 : MOCCI (F.), WALSH (K.). – Champcella, *Rama*. *B.S.R. P.A.C.A.*, 2005, pp. 54-56.

Morin 1999 : MORIN (D.). – Sel et charbon de terre en Franche-Comté du XVIe au XIXe siècle : modèle économique et source d'innovations techniques, *in : Le charbon de terre en Europe occidentale avant l'usage industriel du coke*, Proceedings of the XXth International Congress of History of Science (Liège, 20-26 July 1997), Volume IV, *De Divertibus artibus*, T. 44, Brepols Publishers n. v., Turnhout, Belgium, 1999, pp. 85-98.

Morin, Rosenthal 2006 : MORIN (D.), ROSENTHAL (P.). – Étude diachronique des traces d'exploitation et de traitement du minerai, de la Gaule romaine au XXe siècle, *in* : BARGE (H.) dir. – *4000 ans d'histoire des mines. L'exemple de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur*. Mélange Jean-Paul Jacob, Theix, Actilia multimédia, 2006, pp. 113-133.

Morin, Rosenthal 2005 : MORIN (D.), ROSENTHAL (P.). – Vallon de Tortisse / Mont Tenibre (Saint-Étienne et Saint-Sauveur-de-Tinée). *B.S.R. P.A.C.A.*, 2004, pp. 114-115.

Morin, Rosenthal 2004a : MORIN (D.), ROSENTHAL (P.). – Vallon de Tortisse / Cime du fer (Saint-Étienne-de-Tinée). *B.S.R. P.A.C.A.*, 2003, pp. 72-74.

Morin, Rosenthal 2004b : MORIN (D.), ROSENTHAL (P.). – Mines et métallurgie du fer en Provence et dans les Alpes du Sud (département des Alpes-Maritimes). Communes de Saint-Étienne-de-Tinée et de Saint-Sauveur-sur-Tinée. Étude diachronique des vestiges d'exploitation minière et de métallurgie (Minerais de fer et polymétalliques). Prospection au sol. *D.F.S.*, 2004. 30 p.

Morin, Rosenthal 2003a : MORIN (D.), ROSENTHAL (P.). – Valdeblore, col Ferrières / vallons de Margès et de Mollières. Vestiges d'exploitation minière et de métallurgie du fer. *B.S.R. P.A.C.A.*, 2002, pp. 73-74.

Morin, Rosenthal 2003b : MORIN (D.), ROSENTHAL (P.). – Mines et métallurgie du fer en Provence et dans les Alpes du Sud (département des Alpes-Maritimes). de Saint-Étienne-de-Tinée. Étude diachronique des vestiges d'exploitation minière et de métallurgie (Minerais de fer et polymétalliques). Prospection au sol. *D.F.S.*, 2003. 21 p. et annexes.

Morin, Rosenthal 2002 : MORIN (D.), ROSENTHAL (P.). – Vestiges d'exploitation minière et de métallurgie du fer (Valdeblore). *B.S.R. P.A.C.A.*, 2001, p. 82.

Morin, Rosenthal 2001 : MORIN (D.), ROSENTHAL (P.). – Mines et métallurgie du fer en Provence et dans les Alpes du Sud (département des Alpes-Maritimes). Commune de Saint Dalmas Valdeblore. Étude diachronique des vestiges d'exploitation minière et de métallurgie du fer. Prospections au sol. *D.F.S.*, 2001, n. p.

Morin *et al.* 2001 : MORIN (D.), PLOQUIN (A.), ROSENTHAL (P.). – Forêt domaniale de la chartreuse de Durbon et montagne de Piégros. *B.S.R. P.A.C.A.*, 2000, pp. 48-49.

Mouthon 2008 : MOUTHON (F.). – La maison des Alpes françaises du village médiéval à l'habitat « traditionnel », *in* : TROCHET (J.-R.) dir. – *Maisons paysannes en Europe occidentale : XVe-XXIe siècles*, Paris-Sorbonne, P.U.P.S., 2008, pp. 103-112.

Müller-Beck 1965 : MÜLLER-BECK (H.). – *Seeberg Burgäschisee-Süd, 5. Holzgeräte und Holzbearbeitung.* Acta Bernensia, II, Bern, Stämpfli, 1965. 186 p.

Muller *et al.* 2006 : MULLER (S. D.), NAKAGAWA (T.), BEAULIEU (J.-L. DE), COURT-PICON (M.), FAUQUETTE (S.), GENRIES (A.). – Paléostructures de végétation à la limite supérieure des forêts dans les Alpes françaises internes. *Comptes Rendus Biologies*, 329, 2006, pp. 502-511.

Muller *et al.* 2000 : MULLER (S. D.), DAVID (F.) et WICHA (S.). – Impact de l'exposition des versants et de l'anthropisation sur la dynamique forestière dans les Alpes du Sud (France). *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 54, n°2, 2000, pp. 231-243, 9 fig., 3 tabl.

Nakagawa *et al.* 2000 : NAKAGAWA (T.), ÉDOUARD (J.-L.), DE BEAULIEU (J.-L.). – A scanning electron microscopy (SEM) study of sediments from Lake Cristol, southern French Alps, with special reference to the identification of *Pinus cembra* and other Alpine *Pinus* species based on SEM pollen morphology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 108, 2000, pp. 1-15.

Nakagawa 1998 : NAKAGAWA (T.). – *Études palynologiques dans les Alpes françaises centrales et méridionales : Histoire de la végétation tardiglaciaire et holocène*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille 3, 1998.

Nicolas 2008a : NICOLAS (N.). – Le commerce du bois en Bochaine, *in* : BERNARDI (Ph.), dir. – *Forêts alpines et charpentes en Méditerranée*, l'Argentière-la Bessée, les éditions du Fournel, pp. 97-105.

Nicolas 2008b : NICOLAS (N.). – Abattage et débit, *in* : BERNARDI (Ph.), dir. – *Forêts alpines et charpentes en Méditerranée*, l'Argentière-la Bessée, les éditions du Fournel, pp. 62-68.

Nicolas 2005 : NICOLAS (N.). – *La guerre et les fortifications du Haut-Dauphiné. Étude archéologique des travaux de château et des villes à la fin du Moyen Âge*. Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 2005. 377 p.

Nicolas 2002 : NICOLAS (N.). – *Guerre et insécurité : le coût de la mise en défense des châteaux du Haut-Dauphiné (1360-1400)*. Thèse de doctorat, Université de Provence, Aix-Marseille I, 2002.

Nicolas, Bernardi 2003 : NICOLAS (N.), BERNARDI (Ph.). – Les échandoles : applications et rayonnement d'un matériau et d'un savoir-faire montagnard à la fin du Moyen Âge, *in : Las montanas del mediterraneo : coloquio internacional celebrado en Granada*, 4-6 février 1999, Centro de Investigaciones Etnologicas Andel Ganivet, 2003, pp. 287-304.

Nicollet 1906 : NICOLLET (F. N.). – *La commanderie de Saint Jean de Jérusalem de Gap et les membres qui en dépendaient au XVIIIe siècle*. Gap, Jouglard, 1906.

Noël, Bocquet 1987 : NOËL (M.), BOCQUET (N.). – *Les hommes et le bois. Histoire de la technologie du bois de la préhistoire à nos jours.* Paris, Hachette, 1987. 347 p.

Noshomusho 1909 : NOSHOMUSHO (K.). – *Mining in Japan, past and present*. The Bureau of Mines, the Department of Agriculture and Commerce of Japan, 1909.

Orme, Coles 1983 : ORME (B. J.), COLES (J. M.). – Prehistoric woodworking form the Sommerset Levels, 1 : timber. *Somerset Levels Papers*, 9, 1983, pp. 19-43.

Ortu 2002 : ORTU (E.). – *Reconstruction sur base pollinique de la dynamique de la végétation tardiglaciaire et holocène dans les Alpes Maritimes italiennes*. Thèse de doctorat en Sciences, Université d'Aix-Marseille III, 2002.

Ortu *et al.* 2003 : ORTU (E.), DAVID (F.), CARAMIELLO (R.). – Rôle de l'homme dans l'histoire de la végétation de la vallée Ellero (Alpes-Maritimes, Italie). *Comptes Rendus de l'Acadamie de Sciences – Biologies*, 326, 2003, pp. 631-637.

Padilla Lapuente *et al.* 1999 : PADILLA LAPUENTE (J. I.), THIRIOT (J.), EVIN (J.), MESTRES (J.). – Datation par le radiocarbone des ateliers de potiers médiévaux de Cabrera d'Anoia en Catalogne, *in* : EVIN (J.), OBERLIN (Ch.), DAUGAS (J.-P.), SALLES (J.-F.) dir. – *^{14}C et Archéologie*, Actes du 3ème Congrès International, Lyon 6-10 avril 1998, Supplément 1999 de la *Revue d'Archéométrie*, Université de Renne I, 1999, pp. 419-423.

Palet *et al.* 2003 : PALET (J. M.), RICOU (F.), SEGARD (M.). – Prospections et sondages sur les sites d'altitude en Champsaur (Alpes du sud). *Archéologie du Midi médiéval*, t. 21, Dossier spécial montagne, 2003, pp. 199-210.

Parisot 1931 : PARISOT (M.). – Notes sur la vie agricole dans le Haut-Embrunais. *Revue de géographie alpine*, v. 19, n° 19-4, 1931, pp. 859-882.

Perraza 2008 : La prospection en archéologie minière. Méthodes d'approche d'un milieu fragile, *in* : BAILLY-MAÎTRE (M.-Ch.) *et al.* dir. – *Archéologie et paysages des mines anciennes, de la fouille au musée*, Paris, Picard, 2008, pp. 37-45.

Pesez 1998 : PESEZ (J.-M.). – *Archéologie du village et de la maison rurale au Moyen Âge*. Collection d'histoire et d'archéologie médiévales, Lyon, Presses universitaires de Lyon, 1998.

Pesez *et al.* 1998 : PESEZ (J.-M.), FELLER (L.), MANE (P.), PIPONNIER (F.). – *Le village médiéval et son environnement : études offertes à J.-M. Pesez*. Publications de la Sorbonne, Histoire ancienne et médiévale, 48, Publication de la Sorbonne, 1998. 682 p.

Peticolas, Rolland 1998 : PETITCOLAS (V.), ROLLAND (C.). – Comparaisons dendroécologique de *Larix decidua* Mill., *Pinus cembra* L. et *Pinus uncinata* Mill. ex. Mirb. dans l'étage subalpin du Briançonnais (Hautes-Alpes, France). *Écologie*, 29 (1-2), 1998, pp. 305-310.

Petitcolas *et al.* 1997 : PETITCOLAS (V.), ROLLAND (C.), MICHALET (R.). – Croissance de l'épicéa, du mélèze, du pin cembro et du pin à crochets en limite supérieure de la forêt dans quatre régions des Alpes françaises. *Annales des Sciences Forestières*, 54 (8), 1997, pp. 731-745.

Philippe 1999 : PHILIPPE (M.). – *Rapport de recherche sur les mines de Saint-Véran (Hautes-Alpes). Programme INTERREG II.* 1999.

Pickin, Timberlake 1988 : PICKIN (J.), TIMBERLAKE (S.). – Stone hammers and fire-setting : a preliminary experiment at Cwmystwyth mine, Dyfed. *Bulletin of the Peak District Mines Historical Society*, 10 (3), 1988, pp. 165-167.

Pierre *et al.* 2008 : PIERRE (F.), WEBER (A.), OUDENOT (Cl.). – Les pompes et treuil des mines de cuivre du Thillot (Vosges). De la découverte à l'exposition, *in* : BAILLY-MAITRE (M.-Ch.), JOURDAIN-ANNEQUIN (C.), CLERMONT-JOLY (M.) dir. – *Archéologie et paysages des mines anciennes, de la fouille au musée*. Paris, Picard, 2008, pp. 109-119.

Pillonel 2007 : PILLONEL (D.). – Technologie et usage du bois au Bronze final. *Archéologie neuchâteloise*, 37, Office et musée cantonal d'archéologie de Neuchâtel, 2007. 322 p.

Pittioni 1951 : PITTIONI (R.). – *Préhistoric copper-mining in Austria. Problems and Facts*. University of London, Institute of Archaeology, 7th Annual Report, 1951.

Plaisance 1964 : PLAISANCE (G.). – L'emprise des forêts françaises et son explication, *in* : *Actes du 88e congrès national des sociétés savantes*, Clermont-Ferrand 1963, Section géographie, Comité des travaux historiques et scientifiques, Paris, 1964, pp. 197-123.

Pogneaux 2007 : POGNEAUX (N.). – L'Argentière-la-Bessée. Église Saint-Apollinaire. *B.S.R. P.A.C.A.*, 2006, p. 54.

Pogneaux 2001 : POGNEAUX (N.). – *Le vignoble d'altitude Bacchus y trouva un royaume !* L'Argentière-la-Bessée, Éditions du Fournel, 2001. 96 p.

Pogneaux 1997 : POGNEAUX (N.). – *La dîme des cimes. Histoire des neuf villages du pays argentiérois au Moyen Âge.* L'Argentière-La Bessée, éditions du Fournel, 1997. 135 p.

Poindron 1935 : POINDRON (P.). – *Les frontières des comtés de Provence et de Forcalquier du XIIe siècle à 1481*. Positions des thèses soutenues par les élèves de la promotion de 1935, École Nationale des Chartes, Paris, Les Presses Universitaires de France, 1935, pp. 173-183.

Poire *et al.* 1924 : POIRE (P.), PERRIER (R.), JOANNIS (A.). – *Nouveau dictionnaire des sciences et de leurs applications*. T. II, 1924.

Poirier 1999 : POIRIER (Ph.). – *Anthracologie et environnement de la période gallo-romaine à la période médiévale en Poitou-Charentes.* Thèse de doctorat Biologie des populations et écologie, Université de Montpellier II, 1999. 334 p.

Poly 1976 : POLY (J.-P.). – *La Provence et la société féodale 879-1166.* Collection « Études », Paris, Bordas, 1976. 431 p.

Poly 1972 : POLY (J.-P.). – *Lignées et domaines de Provence (X^e^-XIe s.).* volume dactylographié annexe, thèse de droit, Université Paris II, 1972.

Ponel *et al.* 2001 : PONEL (Ph.), ANDRIEU-PONEL (V.), PARCHOUX (F.), JUHASZ (I.), BEAULIEU (J.-L.). – Late-glacial and Holocene high-altitude environmental changes in Vallée des Merveilles (Alpes-Maritimes, France) insect evidence. *Journal of Quaternary Science*, t. 16, 8, 2001, pp. 795-812.

Ponel *et al.* 1992 : PONEL (Ph.), BEAULIEU (J.-L. de), TOBOLSKI (K.). – Holocene palaeoenvironments at the timberline in the Taillefer Massif, French Alps : a study of pollen, plant macrofossils ans fossils insects. *The Holocene*, 2/2, 1992, pp. 117-130.

Pons 1992 : PONS (A.). – Modern vegetation in Provence and in the southern Alps. Lateglacial-Holocene history : 8th International Palynological Congress, Aix-en-Provence, 13-16th, 1992. *Cahiers de micropaléontologie*, vol. 7, n°1-2, 1992, pp. 259-281.

Poupardin 1901 : POUPARDIN (R.). – *Le royaume de Provence sous les carolingiens (855-933 ?).* Paris, Émile Bouillon, 1901. 472 p.

Py 2005 : PY (V.). – Coste de Tonis II (Freissinières). *B.S.R. S.R.A. P.A.C.A. 2004*, S.R.A. P.A.C.A., Aix-en-Provence, 2005, pp. 59-61.

Py 2006a : PY (V.). – Mine charcoal deposits : methods and strategies. The medieval Fournel silver mines in the Hautes-Alpes (France), *in* : DUFRAISSE (A.) éd. – *Firewood economy : analytical tools and methods. News datas for archaeology and study of societis, techniques and land uses*, Papers from the Table-Ronde held in Basel, 14-15 octobre 2004. *British Archaeological Reports*, 2006, pp. 35-46.

Py 2006b : PY (V.). – Structures agropastorales de Fangeas (Freissinières). *B.S.R. S.R.A. P.A.C.A. 2005*, S.R.A. P.A.C.A., Aix-en-Provence, 2006, p. 58.

Py 2004 : PY (V.). – Protoindustries et agropastoralisme : approche diachronique de l'anthropisation des montagnes : prospection du Vallon du Fournel et de ses alentours. *B.S.R. S.R.A. P.A.C.A. 2003*, S.R.A. P.A.C.A., Aix-en-Provence, 2004, pp. 52-54.

Py 2003 : PY (V.). – Protoindustries et agropastoralisme : approche diachronique de l'anthropisation des montagnes : prospection du Vallon du Fournel et de ses alentours. *B.S.R. S.R.A. P.A.C.A. 2002*, S.R.A. P.A.C.A., Aix-en-Provence, 2003, pp. 50-51.

Py 2002 : PY (V.). – *Modalités d'exploitation forestière dans la haute vallée de la Durance au Moyen-Âge, approche croisée des données historiques, archéologiques et anthracologiques.* Mémoire de D.E.A., Université de Provence Aix-Marseille I, 2002. I, 215 p., II, 73 p.

Py 2001 : PY (V.). – *Les potiers et la forêt à Cabrera d'Anoia (Catalogne) : XIe-XIVe siècles. Anthracologie, ethnobotanique et paléoécologie ; archéologie et artisanat.* Mémoire de Maîtrise, Université de Provence Aix-Marseille I, 2001. 291 p.

Py, Ancel 2009a : PY (V.), ANCEL (B.). – Les Mines métalliques de Fangeas. *D.F.S.*, Aix-en-Provence, 2009. 98 p. et annexes.

Py, Ancel 2009b: PY (V.), ANCEL (B.). – Les mines métalliques du district médiéval de *Faravellum* (Fangeas-Faravel), Commune de Freissinières (Hautes-Alpes). *B.S.R. S.R.A. P.A.C.A. 2008*, S.R.A. P.A.C.A., Aix-en-Provence, 2009.

Py, Ancel 2007: PY (V.), ANCEL (B.). – Exploitation des mines métalliques de la vallée de Freissinières (Hautes-Alpes, France) : Contribution à l'étude de l'économie sud-alpine aux IXe-XIIIe siècles, *in* : DELLA CASA (P.) éd., WALSH (K.) éd. – Actes de la session montagne « Interpretation of sites and material culture from mid-high altitude mountain environments », colloque de l'European Association of Archaeologistes, Lyon, septembre 2004. *Preistoria Alpina*, 42, 2007, pp. 83-93.

Py, Ancel 2006a : PY (V.), ANCEL (B.). – Archaeological experiments in fire-setting : protocol, fuel and anthracological approach, *in* : DUFRAISSE (A.) éd. – *Firewood economy : analytical tools and methods. News datas for archaeology and study of societis, techniques and land uses*, Papers from the Table-Ronde held in Basel, 14-15 octobre 2004. *B.A.R. Series 1483*, 2006, pp. 71-82.

Py, Ancel 2006b : PY (V.), ANCEL (B.). – Les mines métalliques de Faravel et de Fangeas (Freissinières). *B.S.R. S.R.A. P.A.C.A. 2005*, S.R.A. P.A.C.A., Aix-en-Provence, 2006, pp. 56-57.

Py, Ancel 2005a : PY (V.), ANCEL (B.). – Mines d'argent de Faravel I et II (Freissinières). *B.S.R. S.R.A. P.A.C.A. 2004*, S.R.A. P.A.C.A., Aix-en-Provence, 2005, pp. 56-59.

Py, Ancel 2005b : PY (V.), ANCEL (B.). – Les mines métalliques de Fangeas et de Faravel. Fouille programmée 2005, *D.F.S.* 56 p. et annexes.

Py, Ancel 2004 : PY (V.), ANCEL (B.). – Sondages et diagnostic archéologiques sur les sites miniers de Faravel I et II. Fouille programmée 2004, *D.F.S.* 57 p. et annexes.

Py *et al.* 2008 : PY (V.), ANCEL (B.), BURRI (S.). – Les mines métalliques de Faravel et de Fangeas. *B.S.R. S.R.A. P.A.C.A. 2007*, S.R.A. P.A.C.A., Aix-en-Provence, 2008, pp. 52-54.

Ramin 1977 : RAMIN (J.). – La technique minière et métallurgique des Anciens. *Revue d'Études Latines*, (Latomus), V. 153, Bruxelles, 1977. 223 p.

Régné 1921 : *Histoire du Vivarais*, II, Le développement politique et administratif du pays, de 1039 à 1500, reprod. en fac-sim. de l'éd. de Largentière, Mazel, 1921, Marseille, Laffite, 1978. XV-519 p.

Reille *et al.* 1996 : REILLE (M.), ANDRIEU (V.), BEAULIEU (J.-L. DE). – Les grands traits de la végétation des montagnes méditerranéennes occidentales. *Écologie*, t. 27 (3), 1996, pp. 153-169.

Rendu 2003 : RENDU (Ch.). – *La montagne d'Enveig : une estive sur la longue durée*. Canet, Le Trabucaïre, 2003. 606 p.

Rendu 1995 : RENDU (Ch.). – Habitat, environnement et systèmes pastoraux en montagne, acquis et perspectives de recherches à partir de l'étude du territoire d'Enveig Cerdagne, *in : Cultures i medi. De la Prehistoria a l'Edat mitjana*, Institut d'Estudis Certans, Patronat Francesc Eiximenis, 1995, pp. 661-673.

Rickard 1938 : RICKARD (T. A.). – *L'homme et les métaux*. Taduit de l'anglais, *Man and Metals*, par LAPARRA (F. V.), Paris, Gallimard, 1940.

Rieutord 1988 : RIEUTORD (M.). – *Les Alleman de Dauphiné et de Faucigny : de grands féodaux méconnus, la famille maternelle de Bayard*, Centre généalogique du Dauphiné, 1988. 216 p.

Rigeade, Pogneaux 2006 : RIGEADE (C.), POGNEAUX (N.). – L'Argentière-la-Bessée parking scolaire Saint-Apollinaire. *B.S.R. P.A.C.A.* 2005, p. 52.

Robert 1939 : ROBERT (J.). – *La maison rurale permanente dans les Alpes françaises du Nord, étude de géographie humaine*. Tours, Arrault, 1939.

Roman 1918 : ROMAN (J.). – Les barris de la Bâtie et le Pertuis-Rostan. *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes,* 1918, pp. 63-73.

Ronsin 1982 : RONSIN (A.). – Le graduel de Saint-Dié et ses enluminures sur les mines (vers 1504-1514), *in* : L'art et les mines dans les Vosges, *Pierre et terre*, 25-26, 2e semestre, 1982, pp. 54-57.

Rosenthal 2006 : ROSENTHAL (P.). – L'exploitation des données géologiques pour l'archéologie minière et la paléométallurgie : un préalable à la propsection, un support parlant pour un document de synthèse, *in* : BARGE (H.) dir. – *4000 ans d'histoire des mines. L'exemple de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur.* Mélange Jean-Paul Jacob, Theix, Actilia multimédia, 2006, pp. 197-202.

Rossi 1999 : ROSSI (F.). – La casa camuna di Percarzo di Capo di Ponte, *in* : SANTORO BIANCHI (S.) dir. – *Studio e conservazione degli insediamenti minori romani in area alpina*, atti dell'incontro di studi, Forgaria del Friuli, 20 settembre 1997, Studi e Scavi, 8, Imola, University Press Bologna, 1999, pp. 143-150.

Rostan *et al.* 1996 : ROSTAN (P.), GATTIGLIA (A.), ROSSI (M.). – L'ancienne mine de cuivre des Clausis à Saint-Véran (Hautes, France), *in* : COCCHI GENICK (D.) éd. – *L'antica età del Bronzo,* atti del Congresso di Viariggio, 1995, Firenze : Octavio, 1996, pp. 554-555.

Rostan *et al.* 1995 : ROSTAN (P.), GATTIGLIA (A.), ROSSI (M.). – *Ricerche sulle miniere e sulla metallurgia dell'està del bronzo nel Briançonnais, in : De Re Metallica : Miniere e materie prime alle soglie del 3° millennio,* Politecnico di Torino, 1995, pp. 173-181.

Rostoland 1930 : ROSTOLAND (H.). – *Névache et la vallée de la Haute Clarée (Briançonnais)*. Gap, 1930.

Rosumek 1982 : ROSUMEK (P.). – *Technischer fortschritt und rationalisierung im antiken bergbau.* Bonn, Habelt, 1982. 276 p.

Rota, Tizzoni 2006 : ROTA (C.), TIZZONI (M.). – Le miniere, *in* : TIZZONI *et. al.* – *Alle origini della siderurgia lecchese*. Materiali I, Musei Civici di Lecco, pp. 33-39.

Routier 1997 : ROUTIER (J.). – *Briançon à travers l'histoire.* 2ème édition revue, corrigée et augmentée (1ère éd. 1981), Gap, Société d'Études des Hautes-Alpes, 1997. 712 p.

Roux : ROUX (E.). – La grande muraille (le Barri et le Pertuis-Rostan), *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 1918, pp. 195-209.

Royer 1914 : ROYER (L.). – Le « Probus » et les enquêtes sur le domaine du Dauphin au XIIIe siècle. *Bulletin de l'Académie Delphinale,* 5e série, t. VII, Grenoble, Allier Frères, 1914, pp. 373-393 & appendice.

Royer 1944 : ROYER (L.). – Les finances du Dauphiné au XIIIe siècle. *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 63e année, 7e série, n°9, 10, 11 et 12, Gap, 1944, pp. 181-199.

Ruas *et al.* 2005 : RUAS (M.-P.), BOUBY (L.), PY (V.), CAZES (J.-P.). – An 11th century a. d. burnt granary at La Gravette, south-western France : preliminary archaeobotanical results. *Vegetation History and Archaeobotany,* 14, 2005, pp. 416-426.

Ruffaldi 1994 : RUFFALDI (P.). – Relationship between recent pollen spectra and current vegetation around the cerin peat bog (Ain, France). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 82, Elsevier, 1994, pp. 97-112.

Sablayrolle, Lacour 1988 : SABLAYROLLES (R.), LACOUR (M.) – La pompe romaine de Périgueux. *AQUITANIA*, 6, 1988, pp. 141-156.

Sage 2004 : SAGE (L.). – *Conservation des vestiges des installations minières du site du Fournel à l'Argentière-la-Bessée. Compte-rendu d'expertise : Étude de la contamination fongique des galeries et des bois de soutènement de la mine*. Laboratoire d'Écologie Alpine, Grenoble, 2004.

Sage 1922 : SAGE (E. T.). – A chemical interpretation of Livy 21, 37, 2. *Classical Weekly*, vol. XVI, n°10, 1922, pp. 73-76.

Sands 1997 : SANDS (R.). – Prehistoric woodworking. The analysis and interpretation of Bronze and Iron Age toolmarks. *Wood in archaeology*, 1, London, Institute of Archaeology University College, 1997. 114 p.

Sandström 1963 : SANDSTRÖM (G. E.). – *Tunnels : A History of Man's Quest for Passage through the Earth from Ancient Egyptian rock Temples to the Tunnel Under the English Channel.* New-York, Holt, Rinehart and Winston, 1963. 427 p.

Schia 1977 : SCHIA (E.). – *Skomoter og, håndverk på landsbggda i middelalder*. Universitets oldsaksamling Arbok, 1975/76, Oslo, 1977, pp. 137-149.

Schweingruber 1976 : SCHWEINGRUBER (F. H.). – Botanische Untersuchung der Holzreste aus Egolzwill 5, *in* : WYSS (R.) dir. – Das jungsteinzeitliche Jäger – Bauerndorf von Egolzwill 5 im Wauwilermoos. *Archaeologische Forschungen*, Herausgegeben vom Schweizerischen Landesmuseum Zürich, 1976, pp. 151-162.

Sclafert 1959 : SCLAFERT (T.). – Cultures en Haute Provence. Déboisements et pâturages au Moyen Age. *Les hommes et la terre,* T. IV, SEVPEN, Paris, 1959. 271 p.

Sclafert 1933 : SCLAFERT (T.). – À propos du déboisement des Alpes du Sud. *Annales de Géographie,* XLII, Paris, 1933, pp. 266-277 & pp. 350-360.

Sclafert 1926a : SCLAFERT (T.). – *Le Haut Dauphiné au Moyen Age.* Société anonyme du recueil Sirey, Paris, 1926. 765 p.

Sclafert 1926b : SCLAFERT (T.). – L'industrie du fer dans la région d'Allevard. *Revue de Géographie Alpine*, T. XIV, Grenoble, Allier, 1926, pp. 254-355.

Segard 2007 : SEGARD (M.). – Habiter dans les Alpes : la romanisation des régions de moyenne et de haute montagne au filtre de l'habitat, *in* : DELLA CASA (P.) éd., WALSH (K.) éd. – Actes de la session montagne « Interpretation of sites and material culture from mid-high altitude mountain environments », colloque de l'European Association of Archaeologistes, Lyon, septembre 2004. *Preistoria Alpina*, 42, 2007, pp. 63-73.

Segard 2005 : SEGARD (M.). – *Les Alpes occidentales à l'époque romaine : développement urbain et exploitation des ressources des régions de montagne (Italie, Gaule Narbonnaise, provinces alpines).* Thèse pour le doctorat nouveau régime, Université de Provence, Aix-en-Provence, 2005, 3 vol.

Segard 2001 : SEGARD (M.). – *Les villes romaines et l'exploitation de la montagne dans les Alpes du Sud (Gaule Narbonnaise et Alpes Cottiennes).* Mémoire de D.E.A., Université de Provence, 2001. I, 196 p., II, 88 p.

Segard *et al.* 2004 : SEGARD (M.), WALSH (K.), COURT-PICON (M.). – L'occupation de la haute montagne dans les Alpes occidentales. Apport de l'archéologie et des analyses paléoenvironnementales, *in : Permanences et changements dans les sociétés alpines*, 2004, pp. 17-30.

Sigaut 1975 : SIGAUT (F.). – *L'agriculture et le feu. Rôle et place du feu dans les techniques de préparation du champ de l'ancienne agriculture européenne.* Paris-La Haye, École Pratique des Hautes Études en Sciences sociales et Mouton and Co, 1975. 320 p.

Slotta *et al.* 2001 : SLOTTA (R.), WOLLMANN (V.), DORDEA (I.). – Fotografien von Arthur Oskar Bach, Albert Schotsch und Bazil Roman. *Silber und Salz in Siebenbürgen*, 6, Katalog zur Austellung im Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Bochum, 2001. 238 p.

Slotte 2006 : SLOTTE (H.). – Récolte traditionnelle de fourrage de feuilles dans les pays nordiques, contribution, *in* : 1er colloque européen sur les trognes, Vendôme, 26, 27, 28 octobre 2006. 2 p.

Smart, Hoffman 1988 : SMART (T.), HOFFMAN (E.). – Environmental Interpretation of Archaeological Charcoal, *in* : HASTORFF (C.), POPPER (V.), dir. – Current Paleoethnobotany. Analytical Methods and Cultural Interpretations of Archaeological Plant Remains. *Prehistoric Archaeology and Ecology Series*, K. Butzer, L. Freedman ed., Chicago University Press, Chicago, 1988, pp. 167-205.

Sodhi *et al.* 2006 : SODHI (R. N. S.), MAHANEY (W. C.), MILNER (M. W.). – Tof-SIMS applied to historical archaeology in the Alps. *Applied Surface Science*, 252, 2006, pp. 7140-7143.

Spufford 1984 : SPUFFORD (P.). – Le rôle de la monnaie dans la révolution commerciale du XIIIe siècle, *in : Études d'histoire monétaire (XIIe-XIXe siècles)*, textes réunis par John DAY, Lille, Presses Universitaires de Lille, 1984, pp. 355-395.

Stieber 1969 : STIEBER (J.). – A Hasai Késöglacialis Vegetacio történet Anthrakotomiai vizsgalatok Alapjan. *Földtani Közlony, Bulletin of the Hungarian Geological Society*, t. 99, 1969, pp. 188-193.

Stieber 1967 : STIEBER (J.). – A Magyaroszgi Felsöpleisztocèn vegetáció története az anthrakotómiai eredmények Tükreben. *Földtani Közlony, Bulletin of the Hungarian Geological Society*, t. 97, 1967, pp. 308-317.

Stoces 1927 : STOCES (B.). – *Anwendung der Feuermethod im Modernen Bergbau.* Zurich, 1927. 283 p.

Stoces 1954 : STOCES (B.). – *Introduction to mining*. V. 1, Lange, Maxwell & Springer, 1954.

Szépertyski 1999 : SZÉPERTYSKI (B.). – Datations en dendrochronologie. Mines d'or des Fouilloux (24) et de Laurières (87). *Aquitania*, suppl. 9, 1999, pp. 71-82.

Talon 2006 : TALON (B.). – Apport de l'étude anthracologique sur les sites miniers et métallurgiques. Exemple de Saint-Véran (Hautes-Alpes), *in* : BARGE (H.) dir. – *4000 ans d'histoire des mines. L'exemple de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur.* Mélange Jean-Paul Jacob, Theix, Actilia multimédia, 2006, pp. 47-51.

Talon 2001 : TALON (B.). – Analyse anthracologique des sites de Faravel XIII (F82) et Faravel XIV (F83), Freissinières (05), *in :* WALSH (K.). – Fouille archéologique programmée sur les sites de Faravel XIII et XIV (Freissinières, 05). *D.F.S.*, 2001.

Talon 1997a : TALON (B.). – Étude anatomique et comparative de charbons de bois de *Larix decidua* Mill. et de *Picea abies* (L.) Karst. *C. R. Académie des Sciences Paris*, Série Sciences de la Vie, 320, 1997, pp. 581-588.

Talon 1997b : TALON (B.). – *Évolution des zones supra-forestières des Alpes du Sud-Occidentales françaises au cours de l'holocène ; analyse pédoanthracologique*. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme, 1997.

Talon *et al.* 1998 : TALON (B.), CARCAILLET (C.), THINON (M.). – Études pédoanthracologiques des variations de la limite supérieure des arbres au cours de l'holocène dans les Alpes françaises. *Géographie physique et Quaternaire*, 52, 2, 1998, pp. 195-208.

Tangueroni 1985 : TANGUERONI (M.). – *La città dell'argento. Iglesias dalle origini alla fine del Medioevo con un'appendice di Claudia Giorgioni Mercuriali*. Napoli, Liguori editore, 1985. 458 p.

Téreygeol 2003 : TEREYGEOL (F.). – Technique de Production et diffusion de l'argent au Haut Moyen Age : l'exemple de Melle. *Technè*, n°18, *Le métal*, 2003.

Téreygeol 2001 : TEREYGEOL (F.). – *Les mines d'argent carolingiennes de Melle*. Thèse de doctorat, Université de Paris I, 2001, 3 vol.

Téreygeol 2000 : TEREYGEOL (F.). – L'abattage au feu : étude des variations de température et de la nature des roches lors d'une attaque au feu, *in* : PÉTREQUIN (P.), FLUZIN (Ph.), THIRIOT (J.), BENOÎT (P.) éd. – *Arts du feu et productions artisanales*, Actes des XXe Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 21-22-23 octobre 1999, Antibes, APDCA, 2000, pp. 531-544.

Téreygeol 1998 : TEREYGEOL (F.). – Les mines de Melle (Deux-Sèvres) : Une expérimentation d'attaque au feu *in situ*, *in : L'innovation technique au Moyen Age*, Actes du VIe congrès International d'archéologie médiévale, Dijon, Mont-Beuvray, Chenôve, Le Creusot, Montbard, 1-5 octobre 1996, Paris : Errance, 1998, pp. 111-113.

Téreygeol, Dubois 2003 : TEREYGEOL (F.), DUBOIS (C.). – Mines et métallurgie carolingiennes à Melle (Deux-Sèvres, France) : l'apport des charbons de bois archéologiques. *Archéologie médiévale*, t. 33, 2003, pp. 91-102.

Tessier *et. al* 1993 : TESSIER (L.), BEAULIEU (J.-L. de), COUTEAUX (M.), ÉDOUARD (J.-L.), PONEL (P.), RONALDO (C.), THINON (M.), THOMAS (A.), TOBOLSKI (K.). – Holocene palaeoenvironnements at the timberline in the French Alps – a multidisciplinary approach. *Boreas*, 22, 1993, pp. 244-254.

Théry *et al.* 1995 : THÉRY I., GRIL (J.), VERNET (J.-L.), MEIGNEN (L.), MAURY (J.). – First use of coal. *Nature*, 373, 1995, pp. 480-481.

Théry-Parisot 2001 : THÉRY-PARISOT (I.). – *Économie des combustibles au Paléolithique*. Dossier de Documentation Archéologique n°20, Paris, CNRS, 2001.

Théry-Parisot 2000 : THÉRY-PARISOT (I.). – Économie des combustibles (bois, lignite) dans l'abri moustérien des Canalettes : de l'expérimentation à la simulation des besoins énergétiques. *Gallia Préhistoire*, 42, 2000, pp. 45-55.

Théry-Parisot 1998 : THÉRY-PARISOT (I.). – *Économie du combustible et paléoécologie en contexte glaciaire et périglaciaire, Paléolithique moyen et supérieur du Sud de la France. Anthracologie, expérimentation et taphonomie*. Thèse de doctorat, Paris, 1998.

Théry-Parisot, Costamagno 2005 : THÉRY-PARISOT (I.), COSTAMAGNO (S.). – Propriétés combustibles des ossements. Données expérimentales et réflexions archéologiques sur leur remploi dans les sites paléolithiques. *Gallia Préhistoire*, 47, 2005, pp. 235-254.

Thiébault 2005 : THIÉBAULT (S.). – L'apport du fourrage d'arbre dans l'élevage depuis le Néolithique. *Anthropozoologica*, 40 (1), 2005, pp. 95-108.

Thiébault 1988 : THIÉBAULT (S.). – L'homme et le milieu végétal : analyses anthracologiques de six gisements des Préalpes au Tardi- et au Postglaciaire. *Document d'archéologie française*, 15, Paris, Maison des sciences de l'Homme, 1988. 111 p.

Thomasset, James-Raoul 2000 : THOMASSET (C.), JAMES-RAOUL (D.) éd. – *La montagne dans le texte médiéval. Entre mythe et réalité*, Actes du colloque international tenu à Conques, Paris, Presses de l'Université de Paris-Sorbonne, 2000. 348 p.

Thuaudet 2007 : THUAUDET (O.). – *Rapport sur l'étude du matériel métallique des sites du Pré des Tumuli et de Fangeas X (Hautes-Alpes)*. Aix-en-Provence, 2007. 11 p. et illustrations.

Timberlake 1990a : TIMBERLAKE (S.). – Review of the Historical Evidence for the Use of Firesetting, « Early Mining in the British Isles », *in* : Proceedings of the Early Mining Workshop at Plas Tan y Bwlch Snowdonia National Park Study Centre, 17-19 November, 1989, *Plas Tan y Bwlch Occasional Paper*, 1, 1990, pp. 49-52.

Timberlake 1990b : TIMBERLAKE (S.). – Firesetting and primitive mining experiment, Cwmystwyth, 1989, « Early Mining in the British Isles », *in* : Proceedings of the Early Mining Workshop at Plas Tan y Bwlch Snowdonia National Park Study Centre, 17-19 November, 1989, *Plas Tan y Bwlch Occasional Paper*, 1, 1990, pp. 53-54.

Tixier 1978 : TIXIER (L.). – À Massiac (Cantal), une exploitation minière gallo-romaine. *Archéologie*, 117, 1978, pp. 30-37.

Tizzoni *et al.* 2003 : TIZZONI (M.), CUCINI TIZZONI (C.), MORIN (D.), JACQUEMOT (D.). – La miniera di rame di Campolungo (Bienno – Brescia), campagna 2001. *Notizie Archeologiche Bergomensi*, 11, 2003, pp. 237-252.

Tizzoni 1998 : TIZZONI (M.). – Le miniere di argento medievali in Lombardia : distribuzione geografica e tecniche di scavo, *in* : BRIGO (L.), TIZZONI (M.) dir. – Il monte Calisio e l'argento nelle alpi dall'antichità al XVIII secolo, *Atti del Covegno europeo promosso e organizzato dai comuni di Civezzano e Fornace e dalla Sat Società alpinisti trentini – Sezione de Civezzano*, Civezzano-Fornace (Trento), 1995, 1998, pp. 269-279.

Tizzoni 1997 : TIZZONI (M.). – Le miniere di argento medievali in Lombardia : distribuzione geografica e tecniche di scavo, *in* : *Il Monte Calisio e l'argento nelle alpi dall'antichità al XVIII secolo, Giacimenti, storia e rapporti con la tradizione mineraria mitteleuropea*, Atti del Convegno Europeo 12-14 ottobre 1995, 1997, pp. 269-279.

Toubert 1960 : TOUBERT (P.). – Les statuts communaux et l'histoire des campagnes lombardes au XIVe siècle. *Mélanges d'Archéologie et d'Histoire de l'E.F.R.*, Tome LXXII, 1960, pp. 397-508.

Tournadre 1930 : TOURNADRE (G. de). – *Histoire du comté de Forcalquier (XIIe siècle)*. Paris, Picard, 1930. 250 p.

Tusenius 1987 : TUSENIUS (M. L.). – *The study of charcoal from South African archaeological contexts*. Thesis, University of Stellenbosch, 1986, pp. 43-112.

Tzortzis *et al.* 2008 : TZORTZIS (S.), MOCCI (F.), WALSH (K.), TALON (B.), COURT-PICON (M.), DUMAS (V.), PY (V.), RICHER (S.). – Les massifs de l'argentiérois du

mésolithique au début de l'Antiquité : au croisement des données archéologiques et paléoenvironnementales en haute montagne (Hautes-Alpes, Parc National des Écrins), *in* : *Le peuplement de l'arc alpin*, Paris, C.T.H.S., 2008, pp. 123-148.

Tzortzis *et al.* 2005 : TZORTZIS (S.), FIERS (E.), JULIEN (M.), POGNEAUX (N.), ADALIAN (P.), ARDAGNA (Y.), RIGEADE (C.), SIGNOLI (M.). – Un ensemble funéraire médiéval et moderne aux abords de la chapelle Saint-Jean (L'Argentière-la-Bessée, Hautes-Alpes, France) – Approches anthropologique et archéologique, *in* : BOËTSCH (G.), PAGÉZY (H.) DUTOUR (O.), SIGNOLI (M.) dir. – *L'homme et ses images, mesures, représentations, constructions*, Actes du XXVème colloque du Groupement des Anthropologistes de Langue Française, Marseille 16-18 juillet 2001, 2005, pp. 358-373.

Tzortzis 2001 : TZORTZIS (S.). – Les inhumations de la Chapelle Saint-Jean. *D.F.S.*, S.R.A. P.A.C.A., 2001.

Tzortzis 1999 : TZORTZIS (S.) & Contributions SIGNOLI (M.), PALFI (G.), POGNEAUX (N.), COWBURN (I.). – Les inhumations de la Chapelle Saint-Jean. *D.F.S.*, S.R.A. P.A.C.A., 1999. 21 p. et illustrations.

Valladas *et al.* 2001 : VALLADAS (H.), TISNÉRAT-LABORDE (N.), OBERLIN (Ch.). – Datation carbone 14 en spectométrie de masse par accélérateur et archéologie, *in* : BARRANDON (J.-N.), GUIBERT (P.), MICHEL (V.) dir. – *Datation*, Actes des XXIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, 19-20-21 octobre 2000, Antibes, Édition APDCA, 2001, pp. 81-91.

Vandenhove 1999 : VANDENHOVE (J.). – *Embrun et son canton.* Mémoire en Images, Joué-lès-Tours, Alan Sutton, 1999. 127 p.

Velter *et al.* 2003 : VELTER (A.), LAMOTHE (M.-J.), MARQUIS (J.). – *Le livre de l'outil.* Paris, Phébus, 2003. 479 p.

Vergani 1979 : VERGANI (R.). – Lessico minerario e metallurgico dell'Italia nord-orientale. *Quaderni Storici*, 40, 1979, pp. 54-79.

Verna 1994 : VERNA (C.). – *Le temps des moulines, le fer et son exploitation du comte de Foix à la vicomté de Béarn (fin du XIIe siècle - fin du XVe siècle).* Thèse de doctorat, Université de Paris I, 1994, pp. 137-168.

Verna 1996 : VERNA (C.). – Une nouvelle page de l'histoire des mines d'argent européennes : le cas des Pyrénées centrales (XIVe - XVe siècle). *Société Ariégeoise Sciences Lettres et Arts*, Bulletin annuel année 1996, pp. 201-232.

Vernet 1973 : VERNET (J.-L.). – Étude sur l'histoire de la végétation du sud-est de la France au Quaternaire d'après les charbons de bois principalement. *Paléobiologie continentale*, 4, 1, 1973.

Vernet 1997 : VERNET (J.-L.). – *L'homme et la forêt méditerranéenne de la préhistoire à nos jours.* Paris, Errance, 1997.

Véron *et al.* 2008 : VÉRON (A.), FARGEON (P.), CLAUDE (C.), PY (V.), SÉGARD (M.), de BEAULIEU (J.-L.), ÉDOUARD (J.-L.), BOËTSCH (G.), RABINO MASSA (E.), GIROTTI (M.), ANCEL (B.). – Étude comparée des évènements climatiques et des activités anthropiques dans les Alpes méridionales : approche haute-résolution au cours des deux derniers millénaires. *Rapport Eclipse*, janvier 2008.

Veyret 1948 : VEYRET (G.). – *L'industrie des Alpes françaises : étude géographique*, thèse, Université de Grenoble, Paris, Grenoble, Arthaud, 1948, 371 p., XVI p. de pl., III cartes et pl.

Vollaire 1918 : VOLLAIRE (J.). – La muraille des Vaudois et le Pertuis-Rostan. *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 1918, pp. 8-22.

Walsh 2001 : WALSH (K.). – Fouille archéologique programmée sur les sites d'altitude de Faravel XIII et Faravel XIV. *D.F.S.*, août 2001, pp. 66-72.

Walsh 2000 : WALSH (K.). – Fouille archéologique programmée sur la structure pastorale de Faravel XII. *D.F.S.*, juillet 2000.

Walsh 1999 : WALSH (K.). – Sondages archéologiques sur les structures pastorales de Faravel VIIId et XIII. *D.F.S.*, juillet 1999. 31 p.

Walsh 1998 : WALSH (K.). – Sondages et diagnostic archéologiques sur les structures pastorales de Faravel VII et VIII. *D.F.S.*, août 1998. 23 p.

Walsh *et al.* 2007 : WALSH (K.), MOCCI (F.), PALET-MARTINEZ (J.-M.). – Nine thousand years of human/lanscape dynamics in a high altitude zone in the southern French Alps (Parc National des Ecrins, Hautes-Alpes), *in* : DELLA CASA (P.) éd., WALSH (K.) éd. – Actes de la session montagne « Interpretation of sites and material culture from mid-high altitude mountain environments », colloque de l'European Association of Archaeologistes, Lyon, septembre 2004. *Preistoria Alpina*, 42, 2007, pp. 9-22.

Walsh *et al.* 2006 : WALSH (K.), RICHER (S.), DE BEAULIEU (J.-L.) (contribution). – Attitudes to altitude : changing meanings and perceptions within a « marginal » Alpine landscape – the integration of palaeoecological and archaeological data in a high-altitude landscape in the French Alps. *World Archaeology*, vol. 38(3), *Archaeology at Altitude*, Taylor & Francis, 2006, pp. 436-454.

Walsh *et al.* 2005 : WALSH (K.), MOCCI (F.), COURT-PICON (M.), PALET-MARTINEZ (J.-M.) et TZORTZIS (S.) – avec la collaboration de DUMAS (V.), PY (V.), SEGARD (M.) et TALON (B.). – Dynamique du peuplement et activités agro-pastorales durant l'âge du Bronze dans les massifs du haut Champsaur et de l'Argentiérois (Hautes-Alpes). *Documents d'Archéologie Méridionale*, vol. 28, Lattes, Association pour la diffusion de l'archéologie méridionale, 2005, pp. 25-44.

Walsh, Mocci 2007 : WALSH (K.), MOCCI (F.). – Champcella, *Rama*. *B.S.R. P.A.C.A.*, 2006, pp. 60-63.

Walsh, Mocci 2003a : WALSH (K.), MOCCI (F.) – avec la collaboration de DUMAS (V.), DURAND (A.), TALON (B.), TZORTZIS (S.). – 9000 ans d'occupation du sol en moyenne et haute montagne : la vallée de Freissinières dans le Parc national des Écrins (Freissinières, Hautes-Alpes), *Archéologie du Midi médiéval*, t. 21, Dossier spécial montagne, 2003, pp. 185-198.

Walsh, Mocci 2003b : WALSH (K.), MOCCI (F.). – Prospection inventaire diachronique et sondages archéologiques sur trois sites d'altitude de la haute Vallée de Chichin : Chichin II et III. *D.F.S.*, décembre 2003.

Walsh 2002 : WALSH (K.), MOCCI (F.). – Sondages archéologiques sur trois sites d'altitude de la Montagne de Faravel et de l'Abri Fangeas : Faravel XIX, Fangeas VI et Fangeas VII et prospection-inventaire dans la haute vallée de Chichin. *D.F.S.*, décembre 2002. 28 p.

Walsh, Mocci 1998 : WALSH (K.), MOCCI (F.). – Rapport de prospection-inventaire sur la commune de Freissinières, juin 1998. *D.F.S.*, juillet 2008. 22 p. et annexes.

Waterbolk, Zeist 1991 : WATERBOLK (H. T.), ZEIST (W. van). – *Niederwil, eine Siedlung der Pfyner Kultur, 4. Holzartefakte und Textilien.* Academica Helvetica, 1, Bern, Haupt, 1991.

Wegmüller 1977 : WEGMÜLLER (S.). – *Pollenanalytische Untersuchungen zur spät und postglzialen Vegetationgeschichte der französischen Alpen (Dauphiné).* Bern, Verlag Paul Haupt, 1977. 185 p.

Weisgerber, Willies 2001 : WEISGERBER (G.), WILLIES (L.). – The use of fire in prehistoric and ancient mining : firesetting. *Paléorient*, vol. 26/2, CNRS, 2001, pp. 131-149.

Werneck 1949 : WERNECH (H. L.). – *Ur- und frühgeschichtliche Kultur- und Nutzpfianzen in den Ostalpen und am Ostrande des Böhmerwaldes.*…Weis, Landesverlag, 1949. 288 p.

Willcox 1974 : WILLCOX (G. H.). – A History of deforestation as indicated by charcoal analysis of four sites in Eastern Anatolia. *Journal of the Bristish Institute of Archaeology at Ankara*, 1974, pp. 117-133.

Willems 1997 : WILLEMS (M.). – *Le vocabulaire du défrichement dans la toponymie wallonne.* Volume I, Bibliothèque de la Faculté de Philosophie et Lettres de l'Université de Liège, Fascicule CCLXVI, 1997. 713 p.

Willies 1994 : WILLIES (L.). – Firesetting technology. *Bulletin of the Peak District Mines Historical Society*, v. 12, n° 3, Summer 1994, pp. 1-8.

Wilsdorf 1987 : WILSDORF (H.). – *Kulturgeschichte des Bergbaus : ein illustrierter Streifzug durch Zeiten und Kontinente.* Essen, Glückauf-Verlag, 1987. 409 p.

Wyss 1976 : WYSS (R.). – *Das jungsteinzeitliche Jäger-Bauerndorf von Egolzwil 5 im Wauwilermoss.* Zürich, Schweizerisches Landesmuseum (Archäologische Forschungen), 1976. 162 p.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TOME I

CARTES

Carte n°1 : Carte des Hautes-Alpes. On y retrouve la localisation des principaux noms de lieux cités dans le texte (d'après V.-A. Malte-Brun), p. 29

Carte n°2 : Extensions successives du diocèse d'Embrun d'après Humbert 1972, p. 78

Carte n°3 : Le comté de Forcalquier en 1200 d'après Humbert 1972, p. 90

Carte n°4 : Le Dauphiné au milieu du XIIIe siècle (carte tirée de Falque-Vert 1997, p. 15), p. 166

Carte n°5 : Carte géologique simplifiée de la région de l'Argentière (réalisation L. Granger), p. 210

FIGURES

Fig. n°1 : Boisages installés à l'entrée de la galerie d'accès de la Pinée (cl. B. Ancel), p. 202

Fig. n°2 : Rigole d'écoulement de la Galerie d'exhaure Primitive (cl. B. Ancel), p. 203

Fig. n°3 : Localisation des points d'extraction (réalisation B. Ancel), p. 214

Fig. n°4 : Localisation des exploitations sur les flancs de la montagne des Têtes (cl. B. Ancel), p. 215

Fig. n°5 : Amorce de galerie de recherche en face de la fonderie moderne (cl. B. Ancel), p. 216

Fig. n°6 : Localisation du quartier de Lauzebrune qui surplombe le Fournel (cl. B. Ancel), p. 217

Fig. n°7 : Vue du ravin de Combe Blanche (cl. B. Ancel), p. 219

Fig. n°8 : Décapage des affleurements de la Pinée (cl. B. Ancel), p. 221

Fig. n°9 : Vue des haldes (cl. V. Py), p. 222

Fig. n°10 : Vue de l'aire de préparation mécanique sur le carreau du travers-bancs de Saint-Roch (cl. B. Ancel), p. 224

Fig. n°11 : Localisation et relevé des cinq exploitations du Fournel sur un extrait de la carte IGN au 1/10000 (relevés et dessins B. Ancel *in* Py 2006a), p. 226

Fig. n°12 : Plan des Vieux Travaux (réalisation B. Ancel), p. 229

Fig. n°13 : Restitution de la dynamique opératoire des Vieux Travaux : en rose, travaux descendants, en vert foncé, première galerie d'exhaure, en bleu foncé, deuxième galerie d'exhaure, en bleu clair, troisième niveau d'exhaure (réalisation B. Ancel), p. 233

Fig. n°14 : Relevé en coupe et en plan du Réseau de Salon (Lauzebrune) (B. Ancel, 1998), p. 236

Fig. n°15 : Restitution de la dynamique opératoire à Combe Blanche / Saint-Roch. En rouge, les ouvrages d'aérage, en vert, les niveaux de circulation, en bleu, emplacement supposé du niveau d'exhaure (réalisation B. Ancel), p. 242

Fig. n°16 : Relevé en coupe et en plan du réseau de la Pinée (B. Ancel 2002), p. 245

Fig. n°17 : Puits vertical de la Pinée ouvert par le feu (cl. B. Ancel), p. 247

Fig. n°18 : Foncée verticale à Combe Blanche (cl. B. Ancel), p. 248

Fig. n°19 : Puits à section quadrangulaire de Saint-Roch (cl. B. Ancel), p. 248

Fig. n°20 : Galerie d'aérage dans les Vieux Travaux (Galeries Noires) (cl. B. Ancel), p. 249

Fig. n°21 : Galerie d'exhaure primitive des Vieux Travaux (cl. B. Ancel), p. 250

Fig. n°22 : Travers-bancs à Saint-Roch (cl. B. Ancel), p. 251

Fig. n°23 : Galerie de traînage de Saint-Roch (cl. B. Ancel), p. 251

Fig. n°24 : Chantier remblayé avant fouille (Chantier Double, Réseau inférieur de Saint-Roch) (cl. B. Ancel), p. 253

Fig. n°25 : Salle d'Entrée des Vieux Travaux entièrement fouillée (cl. B. Ancel), p. 253

Fig. n°26 : Galerie de la faille sur le filon stérile après fouille (cl. B. Ancel), p. 267

Fig. n°27 : Galerie du Canal (cl. B. Ancel), p. 269

Fig. n° 28 : Galerie de la Recherche Ouest (cl. B. Ancel), p. 269

Fig. n°29 : Fouille de la Galerie primitive au niveau d'une lucarne (cl. V. Py), p. 274

Fig. n°30 : Coupe stratigraphique du Puits des Schistes (cl. Ch. Marconnet), p. 276

Fig. n°31 : Coupe Sud du Chantier Double (cl. Ch. Marconnet), p. 282

Fig. n°32 : Coupe nord au pied de la galerie d'extraction (cl. Ch. Marconnet), p. 283

Fig. n°33 : Localisation des coupes du Chantier du Double sur le plan et sur la coupe (réalisation Ch. Marconnet), p. 284

Fig. n°34: Coupe stratigraphique Nord du Chantier Double avec la répartition des prélèvements sédimentologiques et des charbons de bois (réalisation Ch. Marconnet), p. 285

Fig. n°35 : Coupe stratigraphique du grand Chantier Vertical de Combe Blanche (cl. B. Ancel), p. 289

Fig. n°36 : Coupes stratigraphiques du Chantier Vertical de Combe Blanche (remblais stockés contre la paroi ouest) (réalisation Ch. Marconnet), p. 296

Fig. n°37 : Reconstitution de la stratigraphie à partir de l'image texturale (réalisation Ch. Marconnet), p. 297

Fig. n°38 : Coupe stratigraphique du chantier de la Branche du Toit de Saint-Roch (cl. B. Ancel), p. 298

Fig. n°39 : Coupe stratigraphique de la Branche du Toit à Saint-Roch (réalisation Ch. Marconnet), p. 299

Fig. n°40 : Reconstitution de la stratigraphie à partir de l'image texturale (réalisation Ch. Marconnet), p. 300

Fig. n°41 : Coupe stratigraphique de la première partie de la coupe Nord du Chantier Double de Saint-Roch avec la répartition de la galène, de la gangue et de l'encaissant (réalisation Ch. Marconnet), p. 303

Fig. n°42 : Reconstitution de la stratigraphie à partir de l'image texturale (réalisation Ch. Marconnet), p. 304

Fig. n° 43 : Cliché de la coupe de la Galerie de Base (Pinée nord) et localisation des prélèvements sédimentologiques (cl. Ch. Marconnet), p. 305

Fig. n°44 : Séance de tamisage sous terre. Tri des mailles fines (6 et 4 mm) au pinceau (cl. Ch. Marconnet 2004), p. 326

Fig. n°45 : Localisation des différents secteurs ayant fait l'objet d'un échantillonnage (Combe Blanche), p. 331

Fig. n°46 : Localisation des différents secteurs ayant fait l'objet d'un échantillonnage lors des campagnes de fouilles dans Saint-Roch, p. 333

Fig. n°47 : Localisation des différents secteurs ayant fait l'objet d'un échantillonnage lors des campagnes de fouilles dans les Vieux Travaux, p. 340

Fig. n°48 : Courbe d'effort-rendement tracée pour l'échantillon de type I de la Galerie d'Exhaure Primitive (Vieux Travaux). Le palier est stabilisé à 100 fragments analysés, p. 348

Fig. n°49 : Courbe d'effort-rendement des échantillons prélevés dans le niveau d'exhaure de la Galerie de Base (Pinée Nord). Le palier se stabilise à partir de 50 fragments analysés, p. 350

Fig. n°50 : Courbe d'effort-rendement des échantillons prélevés dans le sol de circulation de la Galerie du Canal, p. 353

Fig. n°51 : Courbe d'effort-rendement des échantillons prélevés dans le sol de circulation de la Galerie de la Faille, p. 354

Fig. n°52 : Courbe d'effort-rendement des échantillons prélevés dans le sol de circulation de la Galerie de Recherche, p. 354

Fig. n°53 : Courbes d'effort-rendement tracées pour les trois prélèvements de la zone d'entrée supérieure de Saint-Roch, p. 356

Fig. n°54 : Courbes d'effort-rendement des échantillons prélevés dans sol de circulation du chantier du Réseau des Puits (Pi05 2-3-4). Le palier n'est pas stabilisé au-delà de 100 fragments analysés pour deux échantillons, p. 358

Fig. 55 : Courbe d'effort-rendement des prélèvements cumulés provenant du sol de circulation du chantier du Réseau des Puits. Le palier tend à se stabiliser à partir de 150 fragments analysés, p. 359

Fig. 56 : Courbes d'effort-rendement des échantillons prélevés dans sol de circulation à l'ouest de la Salle d'Entrée : 32(2), 33(2), 35(2) ; et à l'est : 34(2). Les paliers ne sont pas stabilisés, mais présentent une première inflexion significative au-delà de 50 fragments analysés, p. 362

Fig. n°57 : Courbe d'effort-rendement tracée pour les prélèvements du niveau de sol de la Galerie Médiane (Vieux Travaux), p. 363

Fig. n°58 : Courbe d’effort-rendement tracé pour les prélèvements réalisés dans les remblais superficiels de la Galerie Moyenne de la Pinée Nord, p. 367

Fig. n°59 : Répartitions des fréquences relatives des différents taxons au sein des différentes US avec charbons de bois qui constituent un amoncellement de remblais (stratigraphie du Puits des Schistes), p. 369

Fig. n°60 : Courbes d’effort-rendement tracées pour les différents prélèvements réalisés dans la zone de remblais du Puits des Schistes, p. 370

Fig. n°61 : Répartitions des fréquences relatives des différents taxons au sein des différentes US avec charbons de bois qui constituent un amoncellement de remblais (stratigraphie du Chantier du Mur), p. 372

Fig. n°62 : Courbes d’effort-rendement des prélèvements 21(2) et 22(2) réalisés dans la stratigraphie dressée dans les remblais du Chantier du Mur (Saint-Roch), p. 373

Fig. n°63 : Courbes d’effort-rendement des prélèvements réalisés 18(2) et 19(2) dans la stratigraphie dressée dans les remblais du Chantier du Mur (Saint-Roch), p. 373

Fig. n°64 : Courbes d’effort-rendement des prélèvements réalisés dans les remblais du Chantier de la branche du Toit, p. 375

Fig. n°65 : Courbes d’effort-rendement tracées pour les prélèvements réalisés dans les remblais des chantiers parallèles au mur et au toit, p. 376

Fig. n°66 : Spectres anthracologiques d’une partie des US identifiées dans les remblais du Chantier Double. Le premier diagramme concerne la Coupe Sud et le second, la Coupe Nord, p. 380

Fig. n°67 : Courbe d’effort-rendement de l’US 2 (Sondage Halde Blanche). La courbe n’est pas stabilisée et poursuit sa progression au-delà de 200 fragments analysés, p. 382

Fig. n°68 : Courbe d’effort-rendement de l’US 3 (Sondage Halde Blanche). La courbe se stabilise au-delà de 200 fragments analysés, p. 383

Fig. n°69 : Courbes d’effort-rendement tracées pour les prélèvements de la Halde Dorée, p. 384

Fig. n°70 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour le spectre de la Galerie de Base (Pinée Nord), p. 391

Fig. n°71 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour le spectre du sol de circulation du chantier du Réseau des Puits (Pinée Nord), p. 391

Fig. n°72 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour le spectre des remblais superficiels de la Galerie Moyenne (Pinée Nord), p. 391

Fig. n° 73 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour les spectres cumulés des échantillons de la Coupe Sud du Chantier Double (Saint-Roch), p. 392

Fig. n°74 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour les spectres cumulés de la Halde Blanche, p. 393

Fig. n°75 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour les spectres cumulés de la Halde Dorée, p. 394

Fig. n°76 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour le spectre de la Galerie de la Faille (Combe Blanche), p. 394

Fig. n°77 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour le spectre des concrétions de la salle d'entrée des Vieux Travaux, p. 395

Fig. n°78 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour les spectres cumulés des échantillons du sol de circulation de la Salle d'Entrée (Vieux Travaux), p. 395

Fig. n° 79 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour le spectre de la Galerie Médiane (Vieux Travaux), p. 396

Fig. n°80 : *Larix decidua* d'après THOMÉ O. W., *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. 1885, éd. www.biolib.de, p. 410

Fig. n°81 : *Picea abies* d'après THOMÉ O. W., *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. 1885, éd. www.biolib.de, p. 411

Fig. n°82 : *Pinus sylvestris* d'après THOMÉ O. W., *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. 1885, éd. www.biolib.de, p. 414

Fig. n°83 : *Pinus uncinata* d'après THOMÉ O. W., *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. 1885, éd. www.biolib.de, p. 415

Fig. n°84 : *Abies alba* d'après THOMÉ O. W., *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. 1885, éd. www.biolib.de, p. 418

Fig. n°85 : Plan dressé en 1751 par l'Ordre de Malte (communication S. Tzortzis, SRA PACA), p. 441

Fig. n°86 : Paysage d'adret de l'Argentière au début du XXe siècle. On peut voir l'église Saint-Apollinaire en premier plan et les haldes en arrière-plan (collection Pogneaux), p. 444

Fig. n°87 : Paysage d'adret et d'ubac au début du XXe siècle (l'Argentière et entrée de la vallée de la Gyronde). À gauche, à l'adret, on peut voir les cultures s'élever jusqu'à la limite inférieure de la forêt (collection Pogneaux), p. 444

Fig. n°88 : Un adret de la haute Vallée de la Varaita (1422). Reproduction d'après l'original (A.D.I. B 3710) *in* Falque-Vert 1997, pp. 462-463, p. 456

Fig. n°89 : Un ubac de la haute Vallée de la Varaita (1422). Reproduction d'après l'original (A.D.I. B 3710) *in* Falque-Vert 1997, pp. 464-465, p. 457

Fig. n°90 : Carte de végétation de la Haute-Durance d'après Meyer 1981 (réalisation V. Py), p. 465

Fig. n°91 : Localisation des massifs forestiers au XVIIIe siècle dans les communes de l'Argentière, les Vigneaux, Freissinières et La Roche-de-Rame d'après la carte de Cassini, p. 493

Fig. n°92 : Localisation du site du Bois du Simon de l'Aigle sur l'extrait de la carte I.G.N. au 1 :25000, p. 505

Fig. n°93 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour le prélèvement de la place à charbon du Bois du Simon de l'Aigle, p. 507

PLANCHES

Planche n°1 : Clichés du *castrum argenteria*, p. 113

Planche n°2 : Clichés du site de *Rama*, p. 124

Planche n°3 : Mise en phase des courbes de datations radiocarbones de la mine du Fournel, p. 230

Planche n°4 : Localisation des zones de fouilles à Combe Blanche, p. 268

Planche n°5 : Coupe stratigraphique Pinée, Réseau des Puits, p. 272

Planche n°6 : Coupes stratigraphiques Vieux Travaux, Zone reculée, p. 277

Planche n°7 : Coupe stratigraphique Saint-Roch, Réseau supérieur, Branche du Mur, p. 279

Planche n°8 : Coupes stratigraphiques Saint-Roch, Réseau supérieur, Branche du Toit, p. 281

Planche n°9 : Coupe stratigraphique Saint-Roch, Réseau inférieur, Coude du Chantier Double, p. 287

Planche n°10 : Coupe stratigraphique Saint-Roch, Réseau inférieur, Galerie de Traînage, p. 288

Planche n°11 : Coupes stratigraphiques dans la Halde Rouille, p. 293

Planche n°12 : Diagrammes anthracologiques des prélèvements de type I, p. 325

Planche n°13 : Comparaison des spectres des prélèvements de type I et II, p. 344

Planche n°14 : Diagramme anthracologique des niveaux de sol, p. 364

Planche n°15 : Diagramme anthracologique des dépôts de halde, p. 385

Planche n°16 : Diagrammes anthracologiques des Vieux Travaux et de Lauzebrune, p. 399

Planche n°17 : Diagramme anthracologique de Combe Blanche, p. 402

Planche n°18 : Diagramme anthracologique de Saint-Roch, p. 404

Planche n°19 : Diagramme anthracologique de la Pinée, p. 406

Planche n°20 : Diagramme anthracologique de synthèse, p. 408

Planche n°21 : Clichés site Champ des Ans, p. 451

Planche n°22 : Clichés site Champ des Ans (suite), p. 452

Planche n°23 : Clichés site du Sapet, p. 453

TABLEAUX

Tabl. n°1 : Prélèvements de type I provenant des remblais de la zone d'entrée A des Vieux Travaux (fin IXe-début XIe siècles), p. 319

Tabl. n°2 : Prélèvements de type I provenant du sol de la zone d'entrée A des Vieux Travaux (fin IXe-début XIe siècles), p. 319

Tabl. n°3 : Prélèvements de type I provenant du sol de la Galerie d'Exhaure Primitive des Vieux Travaux (fin IXe- 1ère 1/2 du XIe siècles), p. 320

Tabl. n°4 : Prélèvements de type I provenant de la Galerie d'aérage sud des Vieux Travaux (1050-1150 ap. J.-C.), p. 320

Tabl. n°5 : Prélèvements de type I provenant de la Galerie d'Exhaure (1ère 1/2 du XIIIe siècle) et des Mille et une Nuits (Fin XIIIe siècle), p. 320

Tabl. n°6 : Prélèvements de type I provenant des remblais de Salon (descente éboulis) (fin IXe-début XIe siècles) et de l'Erbstollen de Lauzebrune (909-1138 ap. J.-C.), p. 321

Tabl. n°7 : Prélèvements de type I provenant des remblais à la jonction des réseaux inférieur et supérieur de Saint-Roch (E 16) (XIIIe siècle) et du Chantier Double (1206-1293 ap. J.-C.), p. 322

Tabl. n°8 : Prélèvements de type I provenant de la Salle des Fleurets de Combe Blanche (2ème 1/2 du XIIIe s.), p. 322

Tabl. n°9 : Prélèvements de type I provenant des remblais du Puits haut de la Pinée : E 55, dépôts du 1er gradin et E 58, dépôts du fond du puits (XIe-XIIe siècles), p. 323

Tabl. n°10 : Prélèvements de type I provenant des remblais de la Galerie de Base de la Pinée : E 61, entrée et E 62,, mi-chemin (XIe-XIIe siècles), p. 323

Tabl. n°11 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans les sols des galeries de recherche de Combe Blanche, p. 329

Tabl. n°12 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans le sol et les remblais du grand Chantier vertical de Combe Blanche, p. 330

Tabl. n°13 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans les sols et remblais des ouvrages du Réseau supérieur de Saint-Roch : sol de l'entrée supérieure, sol du chantier de la zone d'entrée, remblais du chantier de la Branche du Mur (section parallèle au toit) et remblais de la base du chantier de la Branche du Mur, p. 332

Tabl. n°14 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans la portion terminale du Réseau supérieur de Saint-Roch, p. 334

Tabl. n°15 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans les ouvrages de la première phase d'exploitation et d'appronfondissement du Réseau inférieur de Saint-Roch, p. 335

Tabl. n°16 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans les ouvrages de la deuxième phase d'exploitation et d'appronfondissement du Réseau inférieur de Saint-Roch, p. 336

Tabl. n°17 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans les ouvrages de l'ultime phase d'exploitation et d'approfondissement du Réseau inférieur de Saint-Roch, p. 337

Tabl. n°18 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans les ouvrages de la Pinée Nord, p. 338

Tabl. n°19 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans le réseau de Lauzebrune, p. 339

Tabl. n°20 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans les ouvrages de la première phase d'exploitation en souterrain du réseau des Vieux Travaux, p. 341

Tabl. n°21 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans les ouvrages de la seconde phase d'exploitation en souterrain du réseau des Vieux Travaux, p. 341

Tabl. n°22 : Résultat de l'analyse anthracologique des prélèvements de type II réalisés dans les ouvrages de la dernière phase d'exploitation en souterrain du réseau des Vieux Travaux, p. 342

Tabl. n°23 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans chaque prélèvement de 10 l provenant du niveau de circulation de la Galerie du Canal, p. 352

Tabl. n°24 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans chaque prélèvement de 10 l provenant du niveau de circulation de la Galerie de recherche (Combe Blanche), p. 353

Tabl. n°25 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les trois prélèvements réalisés dans le sol de circulation de la zone d'entrée supérieure de Saint-Roch, p. 356

Tabl. n°26 : Fréquences absolues et relatives des prélèvements réalisés dans le niveau de sol du chantier du Réseau des Puits (Pinée), p. 357

Tabl. n°27 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les quatres prélèvements réalisés dans le niveau de circulation du chantier de la zone d'entrée, p. 361

Tabl. n°28 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les deux prèlements réalisés dans le sol de circulation de la Galerie médiane, p. 362

Tabl. n°29 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les quatre prélèvements de la stratigraphie du Puits des Schistes, p. 369

Tabl. n°30 : Fréquences absolues et relatives des taxonx déterminés dans les différents prélèvements réalisés dans les remblais du Chantier du mur (Saint-Roch), p. 372

Tabl. n°31 : Fréquences absolues et relatives des taxons déterminés dans les prélèvements des remblais du chantier de la Branche du Toit, p. 374

Tabl. n°32 : Fréquences absolues et relatives des taxons déterminés dans les prélèvements des remblais du Chantier parallèle au mur et du Chantier parallèle au toit, p. 375

Tabl. n°33 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les prélèvements du Chantier Double, Coupe Sud (Saint-Roch) (deux tableaux), p. 378

Tabl. n°34 : Fréquences absolues et relatives des taxons déterminés dans les différents prélèvements réalisés dans la Coupe Nord du Chantier Double (Saint-Roch), p. 379

Tabl. n°35 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les prélèvements du sondage de la Halde Blanche, p. 382

Tabl. n°36 : Fréquences relatives et absolues des taxons identifiés dans les prélèvements de la Halde Dorée, p. 384

Tabl. n°37 : Analyse anthracologique et xylologique des charbons de bois et bois provenant de la mine de Saint-Véran (d'après Talon 2006), p. 431

Tabl. n°38 : Fréquences absolues des différents taxons déterminés dans les dépôts miniers et domestiques au Goutil-L'Argentario (Ariège) (d'après Dubois 1996), p. 432

Tabl. n°39 : Fréquences absolues (FA) des taxons déterminés dans les remblais de la mine de VIII Sfera d'après Castelletti, Castiglioni 1993, p. 436

Tabl. n°40 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans le prélèvement d'une place à charbon du Bois du Simon de l'Aigle, p. 506

TOME II

CARTES

Carte n° 1 : Carte physique des Hautes-Alpes et localisation des mines, p. 541

Carte n° 2 : Localisation des sites mentionnés dans le texte sur un extrait de la carte IGN au 1/25000, p. 547

FIGURES

Fig. n°1 : Localisation des mines de Faravel-Fangeas sur la carte IGN au 1/10000, p. 556

Fig. n°2 : Localisation des secteurs miniers sur la carte géologique du secteur de Dormillouse au 1/25000, p. 560

Fig. n°3 : Courbe de concentration de Pareto (ou Gini-Lorenz) dessinée pour le prélèvement de l'Orifice Supérieur (Faravel I, versant est), p. 673

Fig. n°4 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée par le prélèvement de la tranchée des Attaques Supérieures (Faravel I – versant Est), p. 674

Fig. n°5 : Courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour l'US 2 de la coupe 1 de la Galerie 3 (Faravel I – versant Est), p. 675

Fig. n°6 : Courbe de concentration de Gini-Lorenz tracée pour l'US 3 de la coupe 2 de la Galerie 3 (Faravel I – versant Est), p. 677

Fig. n°7 : Courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour la couche 3 de la Halde Supérieure. L'indice de concentration égal à 25/75 est faible, p. 681

Fig. n°8 : Courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour la couche 4 de la Halde Supérieure, p. 682

Fig. n°9 : courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour la couche 6 de la Fosse ouest, p. 684

Fig. n°10 : Courbe de concentration de Gini Lorenz tracée pour la couche 3 de la Tranchée Amont. L'indice de concentration est de 28/72, p. 686

Fig. n°11 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'US 2 de la Tranchée Supérieure, p. 689

Fig. n°12 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'US 4 de la Tranchée Moyenne, p. 690

Fig. n°13 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'US 6 de la Tranchée Moyenne, p. 691

Fig. n°14 : Scènes minières peintes par maître Mathis sur la page de garde du graduel de Kutna-Hora, 1490 (conservé au musée national de Vienne), p. 730

Fig. n°15 : Retable de l'église Sainte-Anne d'Annaberge, 1521 (reproduction d'après Braunstein 2003, v°couverture). À gauche, panneau central du retable, à droite, détail de la voie de roulage du panneau de gauche, p. 732

Fig. n°16 : Scènes minières peintes par maître Valentin, page de titre de l'antiphonaire de Kutna-Hora, 1490 (conservé à la Bibliothèque Nationale de Prague), p. 733

Fig. n°17 : Ouvriers de martel au travail, détail de la page de titre enluminée de l'antiphonaire de Kutna-Hora, p. 734

Fig. n°18 : Détail du porche boisé représenté en bas à gauche de la page aux scènes minières du Graduel de Saint-Dié, p. 735

Fig. n°19 : Détail du porche boisé représenté en haut à droite de la page aux scènes minières du Graduel de Saint-Dié, 1514, conservé à la bibliothèque municipale de Saint-Dié (ms 74), p. 735.

Fig. n°20 : Détail du puits cuvelé représenté dans la marge gauche de la page aux scènes minières du Graduel de Saint-Dié, p. 736

Fig. n°21 : Puits et treuil, détail de la planche consacrée au travail souterrain dans le recueil de dessins d'Heinrich Groff, 1530 (conservé à la Bibliothèque de l'École nationale supérieure des Beaux-Arts de Paris). Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992, p. 737

Fig. n°22 : Tableau de l'église de Roznava Slovaquie (1513). Reproduction tirée de Heilfurth 1981, p. 740

Fig. n°23 : Détail de la scène de bûcheronnage représentée sur la page aux scènes minières du Graduel de Saint-Dié, p. 741

Fig. n°24 : « Les charpentiers et charpenteries », recueil de dessins d'Heinrich Groff, 1530. Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992, p. 742

Fig. n°25 : Scène de bûcheronnage dans la planche intitulée « Les charbonniers », recueil de dessins d'Heinrich Groff. Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992, p. 745

Fig. n°26 : «La manière d'amener le boys », dessin du recueil de dessins d'Heinrich Groff, 1530. Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992, p. 746

Fig. n°27 : «Les ouvriers menant le boys en la montaigne », dessin du recueil de dessins d'Heinrich Gross, 1530. Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992, p. 747

Fig. n°28 : Détail des ouvrages de soutènement dans la mine de Saint-Nicolas, tiré du recueil de dessins d'Heinrich Groff, Reproduction d'après Brugerolles et al. 1992, p. 748

Fig. n°29 : Voie de traînage de Brandes (Bailly-Maître 2008, p. 50, fig. 2), p. 752

Fig. n°30 : Vues de la tête de puits de Brandes (Bailly-Maître 2008, p. 52, fig. n° 6 et 7), p. 755

Fig. n°31 : Treuil en bois dans la mine de Rosia Montana en Roumanie au début du XXe siècle, (tiré de Slotta et *al.* 2001), p. 758

Fig. n°32 : Reconstitution du système de boisage complexe mis en place dans les chantiers inclinés des Fouilloux (tiré de Cauuet 2008, p. 58), p. 760

Fig. n°33 : Plancher Brandes (Bailly-Maître 2008, p. 53, fig. 9), p. 763

Fig. n°34 : *Kletterbaum* équipant un chantier dans la mine moderne de Rosia-Montana en Roumanie (tiré de Slotta et al. 2001), p. 765

Fig. n°35 : Enfants chargés d'opérations minéralurgiques (traitement des sables) sur le carreau de mines d'or de Rosia Montana (tiré de Slotta et al. 2001), p. 770

Fig. n°36 : Les charpentiers de mine d'après le *De Re Metallica* de G. Agricola (livre VIII, gravure 12), 1528 (reprod. d'après HOOVER (H. C.) et HOOVER (L. H.), New-York, 1950, p. 780

Fig. n°37 : Fréquences relatives des différentes classes de diamètres, p. 813

Fig. n°38 : Longueurs en cm des 32 rondins provenant de la Grande Fosse. Les longueurs sont en ordonnée et le nombre de bois mesurés en abscisse, p. 814

Fig. n°39 : Équarrissage ou blanchissage traditionnel d'une grume à la hache avec un large tranchant évasé (Roumanie, XIXe s.), p. 817

Fig. n°40 : Longueurs des planches. Les mesures de longueurs des pièces GF 2, GF 24, GF 29, GF 35, GF 47, GP 4 sont relatives car leur conservation est partielle, p. 824

Fig. n°41 : Représentation de l'évidage d'une mortaise avec un piochon et une tarière. Les trous sont préparés avec la tarière. Image tirée de *Zimmerleute an der Arbeit. Aus Jost Amman's Stände und Handwerker* (1568). Wikipédia : Jost Amman Zimmermann, p. 831.

Fig. n°42 : Diamètres en cm des branches provenant de la Grande Fosse et du Grand Puits (un point = un échantillon), p. 873

Fig. n°43 : Longueurs en cm des branches provenant de la fosse du Grand Puits (un barre = un échantillon), p. 873

Fig. n°44 : Graphique du haut : largeurs en cm des menus bois et des déchets provenant des remblais noirs ; Graphique du bas : épaisseurs en cm des menus bois et des déchets provenant des remblais noirs (un point = un échantillon), p. 875

Fig. n°45 : Rapport largeur en cm / épaisseurs en cm des menus bois et des déchets provenant des remblais noirs (un point = un échantillon), p. 876

Fig. n°46 : Largeurs en cm des menus bois et des déchets provenant de la couche tapissant le sol rocheux à l'entrée et sur la margelle de la Grande Fosse, p. 877

Fig. n°47 : Épaisseurs en cm des menus bois et des déchets provenant de la couche tapissant le sol rocheux à l'entrée et sur la margelle de la Grande Fosse, p. 878

Fig. n°48 : Relevé topographique et localisation des structures du site de Coste de Tonis I, p. 913

Fig. n°49 : Branche de fer à mulet de Replat aux tertres (Thuaudet 2007), p. 915

Fig. n°50 : Vue de la cabane depuis le nord, avant la fouille (cl. V. Py), p. 916

Fig. n°51 : Relevé des murs de CTI-1, p. 917

Fig. n°52 : Relevé en plan de l'US 105 avec localisation des lauzes et d'un bois à demi-carbonisé, p. 919

Fig. n°53 : : Mortier en pierre in situ (cl. V. Py), p. 919

Fig. n°54 : Vue du site depuis le NO avant la fouille (cl. V. Py), p. 920

Fig. n°55 : Relevé des murs NO et NE, p. 921

Fig. n°56 : Relevé de la stratigraphie au niveau du mur SO, p. 922

Fig. n°57 : Sondage dans la structure Fangeas VI par l'équipe de K. Walsh, p. 925

Fig. n°58 : Plan de Fangeas VI (*in* Walsh, Mocci 2002), p. 926.

Fig. n°59 : Plan de Fangeas VI (*in* Walsh, Mocci 2002), p. 927

Fig. n°60 : Fangeas X en cours de fouille, pièce agricole (cl. V. Py), p. 928

Fig. n°61 : Vue du mur ouest (cl. V. Py), p. 929

Fig. n°62 : Mobilier métallique de Fangeas X et de Fangeas IV (Thuaudet 2007), p. 930

Fig. n°63 : Mobilier céramique de Fangeas X (Guionova 2007), p. 931

Fig. n°64 : Pièce annexe en cours de fouille (cl. V. Py), p. 933

Fig. n°65 : Fangeas IV, implantation du sondage et décapage (cl. V. Py), p. 934

Fig. n°66 : Fangeas IV en cours de fouille, vue de la banquette (substrat) contre mur est (cl. V. Py), p. 934

Fig. n°67 : Faravel XII, plan des structures (tiré de Walsh 1999), p. 937

Fig. n°68 : Plan de Faravel VII (tiré de Walsh 1998), p. 939

Fig. n°69 : Plan du site Faravel VIIIb (tiré de Walsh 1998), p. 940

Fig. n°70 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'unité 107. L'indice de concentration (78/22) est proche de l'indice idéal 80/20, p. 952

Fig. n°71 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'unité 108. L'indice de concentration 82/18 est légèrement supérieur à l'indice idéal 80/20, p. 953

Fig. n°72 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'unité 103. L'indice de concentration 76/24 est légèrement inférieur à l'indice idéal 80/20, p. 954

Fig. n°73 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 3 (ou 103) du site Fangeas X, p. 956

Fig. n°74 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'interface des unités 105-106 du site Fangeas X, p. 957

Fig. n°75 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 106 du site Fangeas X, p. 958

Fig. n° 76 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 5 du site Fangeas VI, p. 961

Fig. n°77 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 6 du site Fangeas VI, p. 963

Fig. n°78 : Courbe de concentration de Pareto tracée pour l'échantillon de l'unité 7 du site Fangeas VI, p. 964

Fig. n°79 : Foyer 2 de Coste de Tonis I-1 (cl. V. Py.), p. 1018

Fig. n°80 : Diamètre minimal en cm des brindilles provenant des foyers de la structure CT1-1 (US 107 et 108), p. 1022

Fig. n°81 : Diamètre minimal en cm des brindilles provenant des foyers de la structure Fangeas VI (US 5).

Fig. n°82 : Diamètre minimal en cm des brindilles provenant des foyers de la structure Fangeas VI (US 6), p. 1024

Fig. n° 83: Diamètre minimal en cm des brindilles provenant des foyers de la structure Fangeas VI (US 7), 1025

Fig. n°84 : Nombre de fragments par taxons pour chaque rang d'âge. En ordonnée, le nombre d'échantillons mesurés, en abscisse les classes d'âges. On peut noter une très forte concentration des échantillons âgés de 1 à 3 ans avec un pic à 2 ans, p. 1025

Fig. n°85 : Forge portative décrite et illustrée dans les Poliorcétiques d'Apollodore de Damas, p. 1056

Fig. n°86 : Utilisation du « *prägelkatze* » d'après L.-L. Simonin, La vie souterraine ou la mine et les mineurs, 1867, fig. 120, p. 1069

Fig. n°87 : Adaptation de l'appareil de Hugon pour l'abattage par le feu en souterrain. Illustration tirée de l'ouvrage de SERLO (A.), *Leitfaden zur Bergbaukunde*, 1875, pp. 275-279, d'après PAYEN (.), op. cit., pp. 156-161. La combustion de la coke placée dans un fourneau sur rail est activée par de l'air comprimée, p. 1070.

Fig. n°88 : Brûleurs à gaz testés par B. Stoces dans les mines d'étain de Zinnwald et d'Hodrusa (Stoces 1927), p. 1070

Fig. n°89 : Représentation d'une salle ouverte par le feu à Falun (XIXe siècle) (communication de cette iconographie par B. Ancel), p. 1072

Fig. n°90 : Scène d'abattage par le feu tirée du *De Re Metallica* de G. Agricola (1556) (éd. A. France-Lanord 1987), p. 1092

Fig. n°91 : Scène minière d'après A. Ryff (1594) (gravure 1), p. 1093

Fig. n°92 : Détail du bûcher d'abattage d'après A. Ryff (1594) (gravure 1), p. 1093

Fig. n°93 : Scènes minières d'après A. Ryff (1594) (gravure 2). En bas à gauche, une scène d'abattage par le feu inspirée de la gravure du traité de G. Agricola, p. 1094

Fig. n°94 : Détail d'une scène minière d'après Z. Koch (1606), p. 1096

Fig. n°95 : Détail d'une scène minière d'après G. Loehneyss (1617), p. 1096

Fig. n°96 : Détail de scènes d'abattage d'après Jenish 1620 (gravure 1), p. 1097

Fig. n°97 : Détail d'une scène minière avec feu d'abattage d'après Jenish 1620 (gravure 2), p. 1097

Fig. n°98 : Scène souterraine d'abattage par le feu d'après H. Ranie (Map of Falun) (1687), p. 1098

Fig. n°99 : Histogramme à barres avec en abscisse les fréquences en % des charbons contaminés et, en ordonnée, les échantillons (Fournel), p. 1115

Fig. n°100 : Pourcentage de fragments contaminés par échantillon.. Un point représente un échantillon (Fournel), p. 1116

Fig. n°101 : Histogramme à barres avec en abscisse les fréquences en % des charbons contaminés et, en ordonnée, les échantillons (Faravel-Fangeas), p. 1117

Fig. n° 102 : Pourcentage de fragments contaminés par échantillon.. Un point représente un échantillon (Faravel-Fangeas), p. 1117

Fig. n°103 : Diamètres en cm des brindilles et branchettes retrouvées dans les charbons de bois de la mine du Fournel. Un point représente un fragment, p. 1121

Fig. n°104 : Proportions de bois de compression identifié dans les échantillons du Fournel, p. 1122

Fig. n° 105 : Proportions de bois de compression identifié dans les échantillons de Faravel-Fangeas, p. 1123

Fig. n°106 : Détail d'un bûcher d'abattage dans une galerie d'après G. E. Lohneiss (1617), p. 1127

Fig. n°107 : Scène d'abattage par le feu dans des chambres d'exploitation d'après B. Rossler (1700), p. 1128

Fig. n°108 : L'abattage par le feu avec des séries de bûchers tours surélevés ou non sur des échafauds couverts de remblais d'après C.-F. Delius (1778), p. 1132

Fig. n°109 : Scène d'abattage par le feu, tirée de l'Encyclopédie du Baron J. H. d'Holbach et de D. Diderot (1751-1772), p. 1133

Fig. n°110 : Bûcher composés de bûches arrangées verticalement, surélevé sur un lit de bûches empilées en croix (d'après W. Leo 1861), p. 1135

Fig. n°111 : Séance de tamisage et de tri des produits de l'abattage (cl. B. Ancel), p. 1157

Fig. n°112 : Relevé de l'avancée frontale du front de taille au laser-mètre (cl. B. Ancel), p. 1158

Fig. n°113 : Fiche d'enregistrement « recto » - première partie de l'expérience, p. 1159

Fig. n°114 : Fiche d'enregistrement « verso » - deuxième partie de l'expérience, p. 1160

Fig. n°115 : Plateforme expérimentale (cl. B. Ancel), p. 1161

Fig. n°116 : Aire de stockage du combustible expérimental (cl. B. Ancel), p. 1163

Fig. n°117 : Poids moyen des quartiers en kg pour les expériences 1 à 139, p. 1165

Fig. n°118 : Nombre de quartiers utilisés pour les expériences 1 à 139, p. 1165

Fig. n°119 : Section moyenne des quartiers pour les expérimentations 1 à 139, p. 1166

Fig. n°120 : Positionnement des sondes sur le front de taille, p. 1168

Fig. n°121 : Variantes du bûcher adossé. La troisième photo en partant de la gauche représent un bûché adossé couché ou horizontal, p. 1170

Fig. n°122 : Bûcher tour surélevé avec des blocs, p. 1171

Fig. n°123 : Étonnement avec projections de fines plaquettes de roche et de charbons de bois incandescents, p. 1173

Fig. n°124 : Enregistrement thermique de l'expérience 87 : bûcher adossé, 66 kg de bois. En ordonnée, les températures, en abscisse, le temps en minutes. Pour la courbe des étonnements, en abscisse, le temps, en ordonnée, le nombre d'étonnements, p. 1177

Fig. n°125 : Résultat de l'expérience 87 : vue du front de taille après abattage par le feu, purge, et nettoyage du front de taille, et relevé en coupe du front de taille avec en bleu les zones d'avancement et en rouge l'emplacement des sondes thermiques, p. 1178

Fig. n° 126 : Enregistrement thermique de l'expérience 85 : bûcher adossé couché, 49 kg de bois. En ordonnée, les températures, en abscisse, le temps en minutes, p. 1180

Fig. n° 127 : Expérience 85 : vue du bûcher 85 en cours de combustion et relevé en coupe du front de taille après abattage, purge et nettoyage du foyer, p. 1181

Fig. n°128 : Foyer résiduel d'un abattage par le feu, p. 1182

Fig. n°129 : Courbes comparatives du ratio (en bleu) et de la production de charbons de bois (charbons/bois) (en rose), p. 1183

Fig. n°130 : Courbes comparatives du bois brûlé (en rose) et de la production de charbons de bois (en bleu), p. 1184

Fig. n°131 : Purge et préparation du combustible. Maillons de la chaîne opératoire pouvant se dérouler de façon simultanée, p. 1185

Fig. n°132 : Indication sur les croquis des fiches d'enregistrement des zones du front de taille travaillées par le feu, puis la purge, p. 1186

Fig. n° 133 : Produits tamisés de l'abattage par le feu et de la purge, p. 1186

Fig. n°134 : Courbes comparatives du poids des matériaux obtenus par le feu (en bleu), du poids des matériaux obtenus par la purge (en rose) et du poids totale de roche abattue (en rouge), p. 1187

Fig. n°135 : Progression du front de taille en coupe longitudinale depuis 1998. En haut, l'année de la campagne, plus bas, le nombre d'expériences, et en bas, le ratio moyen, p. 1189

Fig. n°136 : Courbes granulométriques des résidus de l'étonnement des expériences 1 à 29 (Marconnet 2002), p. 1192

Fig. n°137 : Courbes granulométriques des résidus de la purge des expériences 1 à 29 (Marconnet 2002), p. 1193

Fig. n°138 : Charbon scoriacé expérimental (x 100) (cl. V. Py), p. 1201

Fig. n°139 : Ratios en fonction des différents grands types de bûchers, p. 1203

Fig. n° 140 : Comparaison des courbes des ratios (en rose), poids du bûcher (en rouge) et nombre de bûches (en bleu), p. 1204

Fig. n°141 : Courbes comparatives du nombre de bûches (en bleu foncé), de la section (en rose), du bois brûlé (en jaune et des ratios (bleu ciel), p. 1208

Fig. n°142 : Fagot de grosses bûches liées entre elles par des cordes et acheminées à dos d'homme vers un front de taille où un bûcher d'abattage de type tour est en cours de préparation d'après J.-F.W. Charpentier (1778), p. 1216

PLANCHES

Planche n° 1 : Ouvrages du versant ouest (La Grande Fosse), p. 553

Planche n°2 : Relevé général de surface (plan) du secteur de Fangeas (1/500), p. 558

Planche n°3 : Relevé en plan et en coupe des ouvrages des versant ouest et est, p. 564

Planche n°4 : Plan et coupe des travaux du versant est, p. 565

Planche n°5 : Ouvrages du versant est (Faravel I), p. 566

Planche n°6 : Plan et coupe des travaux du Versant ouest (Faravel I), p. 568

Planche n°7 : Ouvrages du versant ouest (Faravel I), p. 569

Planche n°8 : Ouvrages du versant ouest (Faravel I), p. 570

Planche n°9 : Ouvrages de Faravel II, p. 573

Planche n°10 : Plan et coupe des ouvrages de Faravel II, p. 574

Planche n°11 : Ouvrages Faravel II, p. 575

Planche n°12 : Ouvrages Faravel II (suite), p. 576

Planche n°13 : Localisation des ouvrages de Fangeas, p. 580

Planche n°14 : Ouvrages de recherche du secteur de Fangeas, p. 581

Planche n°15 : La marmite (secteur de Fangeas), p. 584

Planche n°16 : Ouvrages de la Grande Fosse, p. 586

Planche n°17 : Relevé en plan de la Grande Fosse, p. 587

Planche n°18 : Relevé en coupe de la Grande Fosse, position des bois du côté du mur, p. 588

Planche n°19 : Ouvrages du Grand Puits (secteur de Fangeas), p. 590

Planche n°20 : Coupe longitudinale du Grand Puits avec localisation des derniers grands bois dégagés, p. 591

Planche n°21 : Ouvrages du Grand Puits (secteur de Fangeas), p. 592

Planche n°22 : Ouvrages du Grand Puits (secteur de Fangeas), p. 594

Planche n°23 : Relevé en plan du réseau de la Cascade, p. 596

Planche n°24 : Ouvrages du réseau de la Cascade, p. 597

Planche n°25 : Coupe stratigraphique longitudinale du sondage réalisé dans la halde supérieur (Faravel I, versant ouest), p. 602

Planche n°26 : Coupes stratigraphiques 1 et 2 de la Tranchée Amont (Faravel II), p. 604

Planche n°27 : Coupes stratigraphiques 3 et 4 de la Tranchée Amont (Faravel II), p. 605

Planche n°28 : Fosse ouest (Faravel I) coupe stratigraphique 1, p. 608

Planche n°29 : Fosse ouest (Faravel I) coupe stratigraphique 2, p. 609

Planche n°30 : Fosse ouest (Faravel I) coupre stratigraphique 3, p. 610

Planche n°31 : Fosse ouest (Faravel I) coupe stratigraphique 4, p. 611

Planche n°32 : Coupe longitudinal de la Fosse ouest (Faravel I), p. 612

Planche n°33 : Plan et coupe de la Galerie n°3 (versant est), p. 615

Planche n°34 : Galerie n°3 (versant est) coupes stratigraphiques 1 et 2, p. 616

Planche n°35 : Coupes stratigraphiques de la Tranchée Supérieure (Faravel II), p. 619

Planche n°36 : Coupes stratigraphiques de la Tranchée Moyenne (Faravel II, p. 621

Planche n°37 : Coupe stratigraphique de la Tranchée inférieure (Faravel II), p. 625

Planche n°38 : Relevé en coupe de la Grande Fosse avec position des bois du côté du toit, p. 629

Planche n°39 : Relevé en plan des bois de la Grande Fosse, p. 630

Planche n°40 : Premier niveau de bois rencontrés dans la Grande Fosse, p. 631

Planche n°41 : Le plancher de la Grande Fosse (montage photographique), p. 633

Planche n°42 : Coupe stratigraphiques dans les remblais du plancher de la Grande Fosse, p. 634

Planche n°43 : Compartiment III du plancher de la Grande Fosse, p. 638

Planche n°44 : Plancher, barrage et front de taille de la Grande Fosse, p. 640

Planche n°45 : Grand Puits coupe stratigraphique transversale n°3, p. 647

Planche n°46 : Grands Puits coupe stratigraphique transversale n°1, p. 648

Planche n°47 : Grands Puits coupe stratigraphique transversale n°2, p. 649

Planche n°48 : Abords du Grand Puits, coupe BC, p. 654

Planche n°49 : Abords du Grand Puits, coupe AB, p. 657

Planche n°50 : Abords du Grand Puits, coupe AD, p. 659

Planche n°51 : Mise en phases des fourchettes de datations radiocarbones pour le secteur de Faravel-Fangeas, p. 663

Planche n°52 : Spectres anthracologiques des échantillons prélevés dans les ouvrages du versant est (Faravel I), p. 678

Planche n°53 : Spectres anthracologiques des échantillons prélevés dans les ouvrages du versant ouest (Faravel I) p. 683

Planche n°54 : Spectres anthracologiques des échantillons prélevés dans les ouvrages de Faravel II, p. 692

Planche n°55 : Spectres anthracologiques des échantillons prélevés dans les ouvrages de Fangeas, p. 698

Planche n°56 : Diagramme anthracologique de synthèse des mines de Faravel-Fangeas, p. 704

Planche n°57 : Déchets et chutes prélevés dans le départ des remblais noirs, p. 787

Planche n°58 : Bois du Grand Puits 1 à 20, p. 792

Planche n°59 : Bois du Grand Puits GP21 et poutres, p. 793

Planche n°60 : Bois du Grand Puits GP22 à 27, p. 794

Planche n°61 : Bois de la Grande Fosse GF1 à GF 9, p. 795

Planche n°62 : Bois de la Grande Fosse GF20 à GF30, p. 796

Planche n°63 : Bois de la Grande Fosse, GF31 à GF50, p. 797

Planche n°64 : Bois de la Grande Fosse GF 51 à GF 65, p. 798

Planche n°65 : Bois de la Grande Fosse GF 66 à GF 78, p. 799

Planche n°66 : Bois de la Grande Fosse GF 80 à GF 91, p. 800

Planche n°67 : Bois de la Grande Fosse GF 92 à GF 54, p. 801

Planche n°68 : Menus bois de la fosse du Grand Puits, p. 822

Planche n°69 : Pièce GF 18, détail des orifices d’insertion, p. 834

Planche n°70 : Pièce à rainure et coupelle, p. 837

Planche n°71 : Chevilles charpentières (?) et/ou petits pieux, p. 840

Planche n°72 : Clés de blocage et demi fond de cuveau RN7, p. 842

Planche n°73 : La poulie de levage du Grand Puits, p. 845

Planche n°74 : Demi fond de cuveau (59) de la Grande Fosse, p. 853

Planche n°75 : Planchette, Kienspäne, bois à protubérance terminale, p. 855

Planche n°76 : Menus bois provenant de la fosse du Grand Puits, p. 856

Planche n°77 : Manches d'outils, p. 860

Planche n°78 : Semelage en cuir restauré (Grand Puits), p. 866

Planche n°79 : Traces d'outils, p. 891

Planche n°80 : Traces de tranchant de hache sur l'échantillon FP30, p. 897

Planche n°81 : Chutes, bois provenant de l'US 3 du Grand Puits, p. 898

Planche n°82 : Diagramme anthracologique des cabanes de la montagne de Faravel, p. 966

Planche n°83 : Diagramme pollinique et rapports isotopiques des tourbes du bas-marais de Fangeas, p. 968

Planche n°84 : Diagrammme anthracologique de synthèse de la montagne de Dormillouse, p. 994

Planche n°85 : Diagramme anthracologique de synthèse du Haut-Champsaur, p. 1043

TABLEAUX

Tabl. n°1 : Tableau de comptage des taxons déterminés dans les différents dépôts échantillonnés dans les ouvrages du secteur Est de Faravel I, p. 680

Tabl. n°2 : Tableau de comptage destiné à la construction du diagramme anthracologique de synthèse, p. 680

Tabl. n°3 : Tableau de comptage des taxons déterminés dans les différents dépôts échantillonnés dans les ouvrages du secteur Ouest de Faravel I, p. 687

Tabl. n°4 : Tableau de comptage destiné à la construction du diagramme anthracologique de synthèse, p. 687

Tabl. n°5 : Tableau de comptage des taxons déterminés dans les différents dépôts échantillonnés dans les ouvrages de Faravel II, p. 694

Tabl. n°6 : Tableau de comptage destiné à la construction du diagramme anthracologique de synthèse, p. 694

Tabl. n°7 : Tableau de comptage des taxons déterminés dans les différents dépôts échantillonnés dans les ouvrages de Fangeas, p. 697

Tabl. n°8 : Liste des documents législatifs mentionnés dans ce chapitre II, p. 710

Tabl. n°9 : Tableau présentant l'ensemble des rondins exhumés de la Grande Fosse, p. 815

Tabl. n°10 : Liste de dosses découvertes dans le Grand Puits et la Grande Fosse. Évaluation approximative du diamètre d'origine de l'arbre, p. 820

Tabl. n°11 : Liste des planches et des planchettes découvertes dans le Grand Puits et la Grande Fosse, p. 823

Tabl. n°12 : Liste des « quartiers » provenant de la Grande Fosse. La longueur correspond à la longueur de la pièce. La largeur correspond à la mesure de la distance entre les deux angles aigus du triangle ou du trapèze. L'épaisseur correspond à la mesure de l'axe perpendiculaire à la largeur rejoignant l'angle le plus ouvert ou le centre du petit côté parallèle du trapèze, p. 825

Tabl. n°13 : Liste des bois à section quadrangulaire provenant de la Grande Fosse, p. 825

Tabl. n°14 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts du site Faravel XIX, p. 950

Tabl. n°15 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts des unités 107 et 108 du site Coste de Tonis I-1, p. 951

Tabl. n°16 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts de l'unité 203 du site CTI-16, p. 955

Tabl. n°17 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts des unités 103, 105-106 et 106 du site Fangeas X, p. 956

Tabl. n°18 : Fréquences relatives et absolues des taxons identifiés dans les dépôts échantillonnés des unités 5, 6 et 7 du site Fangeas VI, p. 960

Tabl. n°19 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés dans les dépôts de l'unité 307 de Jujal III et de l'unité 104 de Jujal I, p. 979

Tabl. n°20 : Période de coupe des brindilles (BI = bois initial, BI-BF = transition bois initial – bois final, fin BF = fin bois final), p. 1029

Tabl. n°21 : Occurrence des attaques parasitaires relevées dans les échantillons des structures CTI-1, CTI-16, Fangeas X et VI, p. 1031

Tabl. n°22 : Liste des mines où l'abattage par le feu était pratiqué durant les Temps Modernes (parfois depuis le Moyen Âge) d'après la documentation écrite dépouillée (B. Ancel, V. Py inédit), p. 1071

Tabl. n°23 : Pouvoir calorifique du bois en fonction de l'humidité d'après les données de l'UCFF, p. 1082

Tabl. n°24 : Temps de séchage et humidité moyenne du bois d'après Deville, p. 1084

Tabl. n°25 : Résultats des expérimentations menées au Goutil-L'Argentario d'après Dubois 1996, p. 44.. Rendement = Roche totale abattue / bois, p. 1141

Tabl. n°26 : Résultats des expériences d'abattage par le feu conduites à Melle d'après Téreygeol 2001, I, p. 147, p. 1144

Tabl. n°27 : Bilan synthétique des expérimentations du Fournel réalisés en 1997 d'après Ancel 1997c, p. 1148

Tabl. n°27bis : Résultats des expériences menées en 1998-1999 dans les mines du Fournel (communication B. Ancel, données inédites), p. 1149

Tabl. n°28 : Bilan synthétique des différentes campagnes d'expérimentations, p. 1158

Tabl. n°29 : Essences de bois et expériences. Par exemple, pour les expériences 1 à 15, nous avons utilisé de l'épicéa, et pour l'expérience 20, du pin, p. 1163

Tabl. n° 30 : Bilan thermique des expériences avec les durées d'enregistrements, la durée pour arriver à la température de 500 °C et la durée de maintien à cette température dans la moitié supérieure et la moitié inférieure du front de taille, p. 1169

Tabl. n°31 : Expériences 1 à 139 et types de bûchers mis en œuvre. Par exemple, pour les expériences 1 à 7, nous avons confectionné des bûchers adossés et pour l'expérience 54 un bûché adossé couché, p. 1172

Tabl. n°32 : Données brutes de la première campagne d'expérimentations, p. 1191

Tabl. n°33 : Bilan des expériences (67 à 88) pour lesquels le taux d'humidité des bois a été précisément mesuré, p. 1207

Conventions graphiques des planches de dessins des bois, p. 791