



HAL
open science

Stratigraphie et sédimentologie de la grotte des Romains, de l'abri Gay et de l'abri de la Colombière (Ain) : essai de climatologie du Tardiwürm et du postglaciaire en Jura méridional

Andreas Loebell

► **To cite this version:**

Andreas Loebell. Stratigraphie et sédimentologie de la grotte des Romains, de l'abri Gay et de l'abri de la Colombière (Ain) : essai de climatologie du Tardiwürm et du postglaciaire en Jura méridional. Stratigraphie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1979. Français. NNT: . tel-00743940

HAL Id: tel-00743940

<https://theses.hal.science/tel-00743940>

Submitted on 22 Oct 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

205-142
1979
2

Triple

Doctorat de 3^{ème} Cycle
N° d'ordre

205142
1979
2

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE
THÈSE

présentée pour obtenir le grade de Docteur 3^{ème} Cycle

Spécialité: GÉOLOGIE APPLIQUÉE

Option: GÉOLOGIE DES CHAINES ALPINES

Stratigraphie et sédimentologie de la Grotte des Romains
de l'Abri Gay et de l'Abri de La Colombière (Ain)

Essai de climatologie du Tardiwürm et du Postglaciaire en Jura méridional

par Andreas LOEBELL

Thèse soutenue le 5 Janvier 1979 devant le Jury d'examen:

J. DEBELMAS	Président
J. PERRIAUX	Rapporteur
J. CL. MISKOVSKY	Examineurs
A. BOCQUET	
R. DESBROSSE	



Doctorat de 3eme Cycle

N° d'ordre : 205142

1979

2

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE

DE GRENOBLE

THESE

présentée pour obtenir le grade de

Docteur de 3eme Cycle

Spécialité : GEOLOGIE APPLIQUEE

Option : GEOLOGIE DES CHAINES ALPINES



0520174459

**Stratigraphie et sédimentologie de la
Grotte des Romains, de l'Abri Gay et de
l'Abri de La Colombière (Ain).**

Essai de climatologie du Tardiwurm et du Postglaciaire
en Jura méridional.

par

Andreas LOEBELL

T.79/43

Thèse soutenue le 5 Janvier 1979 devant le jury d'examen :

J. DEBELMAS

Président

J. PERRIAUX

Rapporteur

J. CL. MISKOVSKY

A. BOCQUET

Examineurs

R. DESBROSSE



TABLE DES MATIERES
=====

INTRODUCTION..... 7

PREMIERE PARTIE : LA GROTTTE DES ROMAINS

I - La grotte des Romains

 A. Situation..... 13

 B. Forme et dimensions..... 13

 C. Etats de la paroi..... 13

II - Le remplissage archéologique

 A. Stratigraphie du gisement..... 15

 1) Description des couches..... 17

 a- sédiments dans la zone à blocs..... 17

 b- sédiments dans la zone à faciès sableux..... 18

 2) Ordre de dépôt des couches..... 21

 B. Analyses sédimentologiques..... 25

 1) Méthodes..... 25

 a- prélèvements..... 25

 b- granulométries..... 25

 c- analyse morphoscopique des cailloux..... 27

 c1 - comptage pétrographique..... 27

 c2 - étude des formes..... 29

 c3 - étude de l'état de surface des cailloux..... 29

 d- analyse des fractions inférieures à 2 mm..... 31

 2) Faciès granulométrique du sédiment inférieur à 10 cm..... 31

 a- fréquences simples..... 31

 b- fréquences cumulées..... 33

 3) Analyse couche par couche..... 33

 C. Phases sédimentaires et climats..... 41

III - Le remplissage anté-magdalénien de la grotte des Romains

 A. Sables..... 43

 B. "Moraines"..... 45

 C. Sables remaniés et coulées à blocs..... 45

 1) Description de la stratigraphie..... 45

 a- coupe A'B' située vers la sortie..... 45

 b- coupe C'D' située plus vers l'intérieur de Romains I..... 47

 2) Interprétation..... 47

IV - Notes sur la stratigraphie des grottes P.C.V.1, P.C.V.2, P.C.V.3, Batteries Basses

 A. Grotte P.C.V.1..... 49

 B. Grotte P.C.V.2..... 49

 C. Grotte P.C.V.3..... 51

 D. Grotte des Batteries Basses (ou Sarrasins)..... 51

V - Conclusions..... 55



DEUXIEME PARTIE : L'ABRI GAY

I - INTRODUCTION	61
II - HISTORIQUE DES RECHERCHES	63
III - LES ELEMENTS DU REMPLISSAGE	64
1. Blocs	64
2. La matrice limoneuse	
3. Les galets cristallins	
4. Galets calcaires, sables et limons fluviatiles	69
5. Argile rouge	
IV - DESCRIPTION DES SEDIMENTS ET STRATIGRAPHIE	
1. La terrasse de l'Ain	71
a) partie inférieure de la formation	71
b) partie supérieure de la formation	73
c) dépôts fluviatiles devant l'abri	73
d) histoire des dépôts fluviatiles	75
2. Les limons à blocs	77
3. Les éboulis	77
A - Eboulis dans la partie interne de l'abri	79
B - Eboulis dans la partie extérieure de l'abri	81
a) coupe C	81
b) coupe ouest	83
V - ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES	
1. Méthodes	87
2. Anciens dépôts du plateau	89
a) limons	89
b) argiles	89
3. Sédiments fluviatiles	91
4. Limons à blocs	93
5. Eboulis de la coupe A	93
6. Analyses dans la coupe C et corrélations	103
7. Analyses dans la coupe E et corrélations	109
VI - HISTOIRE DU REMPLISSAGE	111

TROISIEME PARTIE : L'ABRI DE LA COLOMBIERE

I - INTRODUCTION	
A. Le site	115
B. Historique des recherches	115

II - STRATIGRAPHIE

A. Stratigraphie établie par L. Mayet et J. Pissot (1914)	115
B. Stratigraphie de H. Movius (1948)	117
C. Stratigraphie du témoin ouest (1975-1978)	121
D. Corrélation des fouilles de 1975-78 avec les résultats antérieurs	127
E. Stratigraphie des dépôts de pente à l'Ouest de l'abri	127

III - ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES

A. Méthodes	129
B. Les éléments du remplissage	129
C. Résultats des analyses	131
a. granulométrie globale	131
b. analyse de la fraction inférieure à 2 mm	131
1) granulométrie des sables en fonction des couches	131
2) granulométrie des sables fluviatiles lit par lit	133
3) granulométrie des niveaux profonds de la terrasse	133
4) courbes de fréquences cumulées et indices	133
4.1 - courbes cumulées	
4.2 - diagrammes - hétérométries-médianes	137
- sorting-index-médianes	
- triangulaire	
5) carbonatimétrie	139
6) exoscopie des grains de quartz	139
7) dosage semi-quantitatif des phosphates calciques	139
c. analyse de la fraction supérieure à 2 mm	
1) variations de la composition avec les couches	139
2) fréquences cumulées et indices	141
3) granulométrie de la fraction grossière exprimée en fréquences simples	141
4) analyses des formes, des états de surface, du concrétionnement des cailloux	145

D. Histoire du remplissage et variations climatiques	147
IV - CONCLUSION	151

CONCLUSIONS GENERALES	153
-----------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE	157
---------------	-----

REMERCIEMENTS

=====

Au moment de terminer ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui m'ont aidé à le réaliser.

Monsieur A. Bocquet, Président du Centre de Documentation de la Préhistoire alpine a guidé mon choix vers l'étude des remplissages de grottes. Il a suivi attentivement mes recherches, me donnant parfois des conseils sévères mais judicieux. Que ceci lui soit un témoignage d'amitié !

Le professeur J. Debelmas a bien voulu présider le jury. Je le remercie pour l'honneur qu'il me fait ainsi.

Monsieur J. Cl. Miskovsky, maître de recherche au C.N.R.S., m'a permis de prendre contact avec la sédimentologie de grottes lors d'un stage dans son laboratoire. Je lui suis très reconnaissant pour sa participation au jury et pour l'intérêt qu'il témoigne ainsi à cette étude.

Le professeur J. Perriaux a dirigé mon travail de manière fort libérale. Toujours disponible malgré ses nombreuses occupations, il m'a aplani bien des difficultés, et je lui en sais gré.

Je suis particulièrement reconnaissant à Monsieur R. Desbrosse pour toute l'aide qu'il m'a apportée, tant sur le terrain que pour l'élaboration de ce mémoire. Mettant à ma disposition les importants moyens matériels qu'il a réussi à réunir au fil des ans, il m'a donné toute liberté d'action sur les chantiers qu'il dirigeait, permettant ainsi une collaboration très fructueuse et amicale.

Merci à Monsieur P. Bintz pour sa participation aux chantiers de l'Ain et pour les longues discussions que nous avons menées sur des sujets scientifiques ou philosophiques !

Je remercie également J.P. Uselle et J.P. Revol pour m'avoir donné toutes les facilités et une aide efficace dans le laboratoire de sédimentologie.

De nombreuses personnes m'ont aidé sur le terrain ou en laboratoire, et je les en remercie sincèrement : Monsieur A. Silanelli, J.L. et J.P. Guillet, Mademoiselle Z. Ben Amar, Monsieur Cl. Michaud, Mademoiselle D. Gérard. Un merci tout spécial à Monsieur René Horiot pour avoir inlassablement dosé le calcaire et les phosphates de mes échantillons !

Merci également à Monsieur L. Basq pour m'avoir réussi d'excellentes photos au microscope électronique.

Pour la réalisation du manuscrit, je suis reconnaissant à Mademoiselle S. Calley qui a effectué de longs travaux de dessin, et à mon collègue (et néanmoins ami) Monsieur A. Petra qui a férocelement critiqué mon texte.

Je remercie Madame et Monsieur Colardelle qui m'ont accueilli quand je débutais mes études à Grenoble. J'ai connu avec eux de nombreux chantiers de fouilles, acquérant peu à peu la formation qui devait me permettre de mener ce travail à bien.

Je suis reconnaissant envers mes parents qui ont toujours encouragé mes études malgré leur situation économique difficile.

Enfin, comment remercier mon oncle, Monsieur W. Loebell pour toute l'aide matérielle qu'il m'a apportée ? Il est probable que, sans son soutien, ce travail n'aurait pas vu le jour. Je salue son désintéressement et me permets de lui dédier ce mémoire.

INTRODUCTION
=====

Cette étude s'inscrit dans le cadre des recherches préhistoriques menées actuellement dans le Jura méridional et les Alpes du Nord par plusieurs équipes, sur l'évolution de l'environnement de l'homme depuis la fin des temps glaciaires.

Les trois sites que nous avons étudiés sont surtout intéressants par leur industrie du Paléolithique supérieur mais comportent également des éléments plus jeunes, étagés de l'Epipaléolithique à l'époque actuelle. Ces sites appartiennent à une même unité géographique, le Jura méridional (fig. 1), mais présentent peu de caractères communs :

- La grotte des Romains qui s'ouvre sur le défilé du Rhône à Pierre Châtel près de Belley (fig. 1) est une vaste cavité karstique. L'habitat du Magdalénien supérieur se situait assez loin de l'entrée, dans une grande salle humide et mal éclairée.

- Situés à 700 m l'un de l'autre, respectivement en rive gauche et droite de l'Ain, l'abri Gay (commune de Poncin) et la Colombière (commune de Neuville-sur-Ain) contiennent l'un une séquence continue depuis le Magdalénien supérieur jusqu'à l'époque actuelle, l'autre un Magdalénien moyen ou supérieur dont les oeuvres d'art sont célèbres. Le premier, abri de taille moyenne, s'ouvre au Nord et connaît peu d'ensoleillement. Le second, vaste abri bien proportionné, jouit d'un climat particulièrement doux du fait de son orientation au Sud.

La grotte des Romains et l'abri Gay ont été fouillés récemment (fouilles non achevées à l'abri Gay) sous la direction de R. Desbrosse. Il était souhaitable qu'une analyse sédimentologique vint compléter les résultats déjà obtenus (ou en cours) dans diverses spécialités : étude des faunes, des industries, palynologie, 14C, etc. Cette étude semblait d'autant plus nécessaire que tous les problèmes de stratigraphie n'avaient pas pu être résolus lors de la fouille : dans la grotte des Romains des remaniements semblaient avoir eu lieu : dans certains secteurs, les silex de la couche profonde se recollaient à des silex des couches supérieures ! Dans l'abri Gay, la monotonie du remplissage et la forte dilatation de la séquence holocène rendaient la fouille difficile.

La Colombière, victime de sa célébrité, avait été presque complètement vidée de ses sédiments entre 1867 et 1948. En 1975, une équipe de l'Institut Dolomieu, composée de P. Bintz, A. Bocquet et moi-même entreprit de raviver une coupe à l'extrémité ouest de l'abri pour relever la stratigraphie et prélever des échantillons en vue d'analyses. Ici encore, la sédimentologie devait tenter de résoudre un problème stratigraphique : comment expliquer qu'une industrie qualifiée de "Magdalénien moyen ou supérieur" soit interstratifiée dans une terrasse que d'autres arguments datent du maximum glaciaire (Würm II) ?

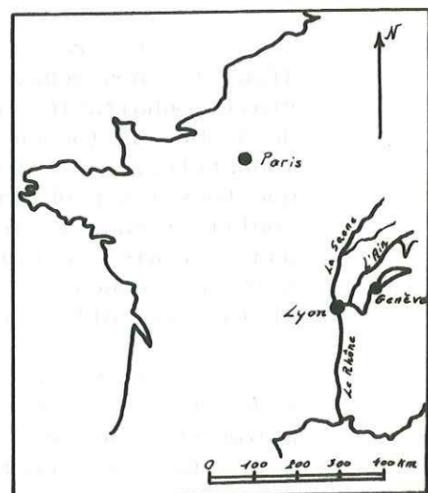
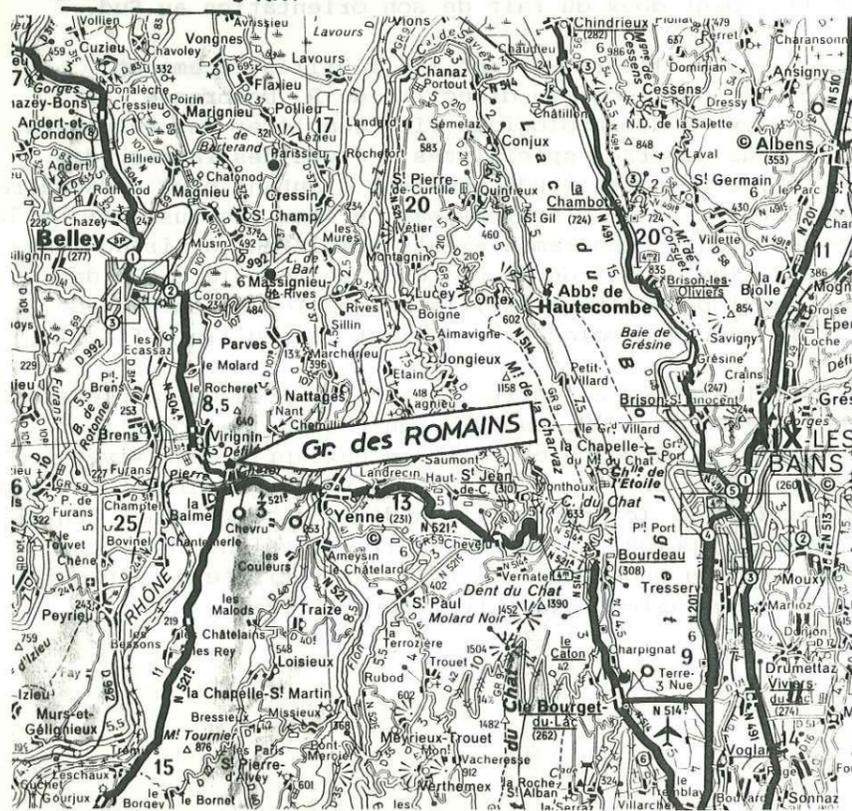
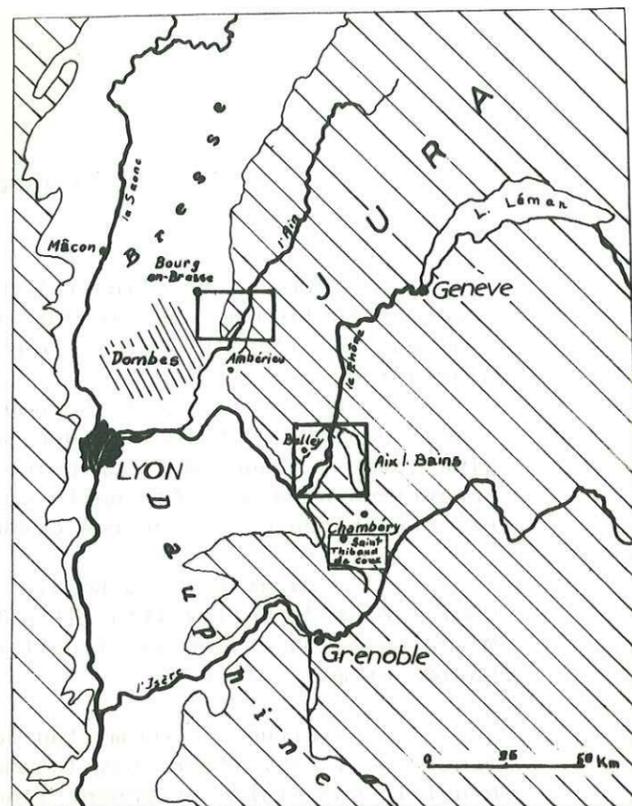
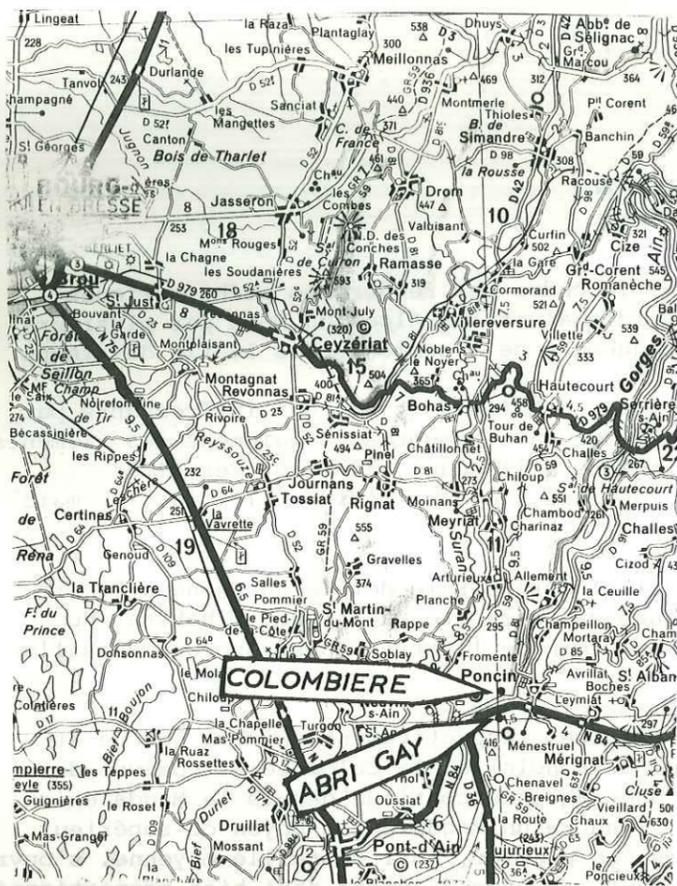


fig 1
localisation des
sites étudiés.

La sédimentologie, si elle ne fournit pas des résultats aussi précis et détaillés que certaines disciplines paléontologiques (par exemple la palynologie) ou archéologiques (succession des industries) constitue cependant un outil de travail important. En effet, l'étude du remplissage "minéral", indissociable d'une stratigraphie détaillée, fournit un cadre auquel toutes les autres analyses pourront se référer. Ceci est particulièrement vrai lorsque la géologie met en évidence des remaniements qui peuvent influencer l'interprétation des autres critères.

Malheureusement, les résultats de la sédimentologie ne sont pas toujours faciles à exploiter : un sédiment de grotte résulte de l'action de nombreux facteurs, climatiques, topographiques, biologiques, qu'on ne peut pas toujours isoler et quantifier. En particulier la notion de durée, qu'il nous est difficile d'appréhender joue ici un rôle important : on ne peut pas affirmer a priori que le taux de sédimentation est constant entre le moment où un abri est "libéré" de ses sédiments antérieurs, c'est-à-dire le début de la sédimentation, et le moment où celle-ci s'arrête.

Or, implicitement, ce postulat est toujours présent dans les analyses parce qu'on apprécie mal la durée des lacunes, qui ne sont d'ailleurs pas toujours visibles. Dans la réalité, il est très probable que le dépôt des sédiments soit tantôt régulier, tantôt par à-coups. On est amené à se poser une question importante : l'évènement climatique qui est "enregistré" par une couche donnée est-il représentatif du climat d'une période ou bien représente-t-il l'accident, l'exception ? Ainsi on pourrait imaginer que pendant une période très sèche, les seuls dépôts soient constitués par les alluvions d'un orage très violent : la période sèche serait ainsi représentée par un sédiment qui traduit des conditions humides (abondance des matériaux fins, usure des cailloux, etc...).

Une autre question sous-jacente aux analyses est de savoir à quel climat attribuer tel ou tel sédiment. On reprochera avec raison à la sédimentologie de grottes son manque de bases expérimentales. A cela on peut répondre que l'expérimentation existe bien (voir par exemple les publications du Centre de Géomorphologie de Caen) et qu'on essaie généralement de tenir compte de ses résultats. Mais cette expérimentation est souvent conduite dans une autre optique (celle du Génie Civil), et se heurte par ailleurs à un problème d'échantillonnage : il est très probable qu'un échantillon de roche soumis à un gel expérimental réagisse autrement qu'une paroi rocheuse dans laquelle d'autres phénomènes masquent le résultat de la simple fracturation thermique : hétérogénéité à toutes échelles, fracturation tectonique, micro-climats, phénomène de "fatigue" mécanique à grande échelle, etc... La meilleure manière de suppléer à l'expérimentation, est, évidemment, l'observation des phénomènes actuels dont on connaît les "circonstances" climatiques. Mais là encore, on devra tenir compte d'une difficulté : chaque site, et tout particulièrement les grottes et abris sous roche constituent un cas particulier, et la nature des dépôts dépendra non seulement du climat général ou régional, mais encore d'un micro-climat local, de la nature de la roche encaissante, des sédiments meubles susceptibles d'être remaniés, etc... Les trois gisements étudiés dans cet ouvrage illustrent bien ce dernier point.

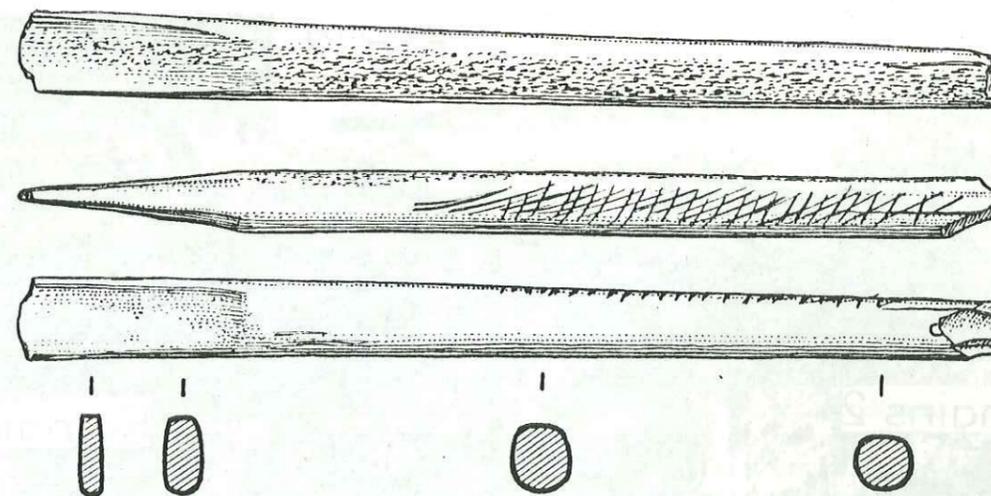
Il faut donc être très prudent dans l'interprétation des seules données de la sédimentologie. La courbe climatique que nous avons établie pour chaque gisement ne constitue qu'une proposition : il est probable que d'autres interprétations soient possibles. Pour chaque gisement, nous avons essayé d'adapter au mieux l'outil sédimentologique aux conditions locales, c'est-à-dire à la nature du remplissage, et de comprendre les mécanismes de la sédimentation.

La méthodologie qui sera précisée plus en détails au début de chaque analyse, suivra cependant toujours les mêmes lignes directrices :

- recensement des matériaux "disponibles" dans et autour de l'abri : paroi pouvant être gélivée ; anciens dépôts meubles situés au-dessus du site ou dans des fissures karstiques, susceptibles d'être mobilisés par le ruissellement ; sédiments pouvant être transportés par le vent.
- décomposition du sédiment en ses composantes "simples" selon deux critères : la "nature" (au sens large) et la taille. La "nature" sera précisée au moyen de différents comptages, tant sur les fractions grossières que sur les fractions fines : nature pétrographique des cailloux et des sables, formes et états d'altération des cailloux, état d'usure des grains de quartz. Les dimensions des particules seront établies par la granulométrie qui permettra, selon le type de diagramme choisi, de mettre en évidence les classes dimensionnelles présentes (granulométries globales) ou la distribution des particules à l'intérieur d'une même classe (granulométries partielles), ou encore de quantifier cette distribution (diagrammes cumulatifs).
- analyses complémentaires comme l'étude des argiles, les dosages chimiques ou l'exoscopie.
- enfin, la synthèse de toutes les observations qui cherchera à préciser au mieux les conditions de mise en place de chaque couche.

PREMIÈRE PARTIE

GROTTE DES ROMAINS



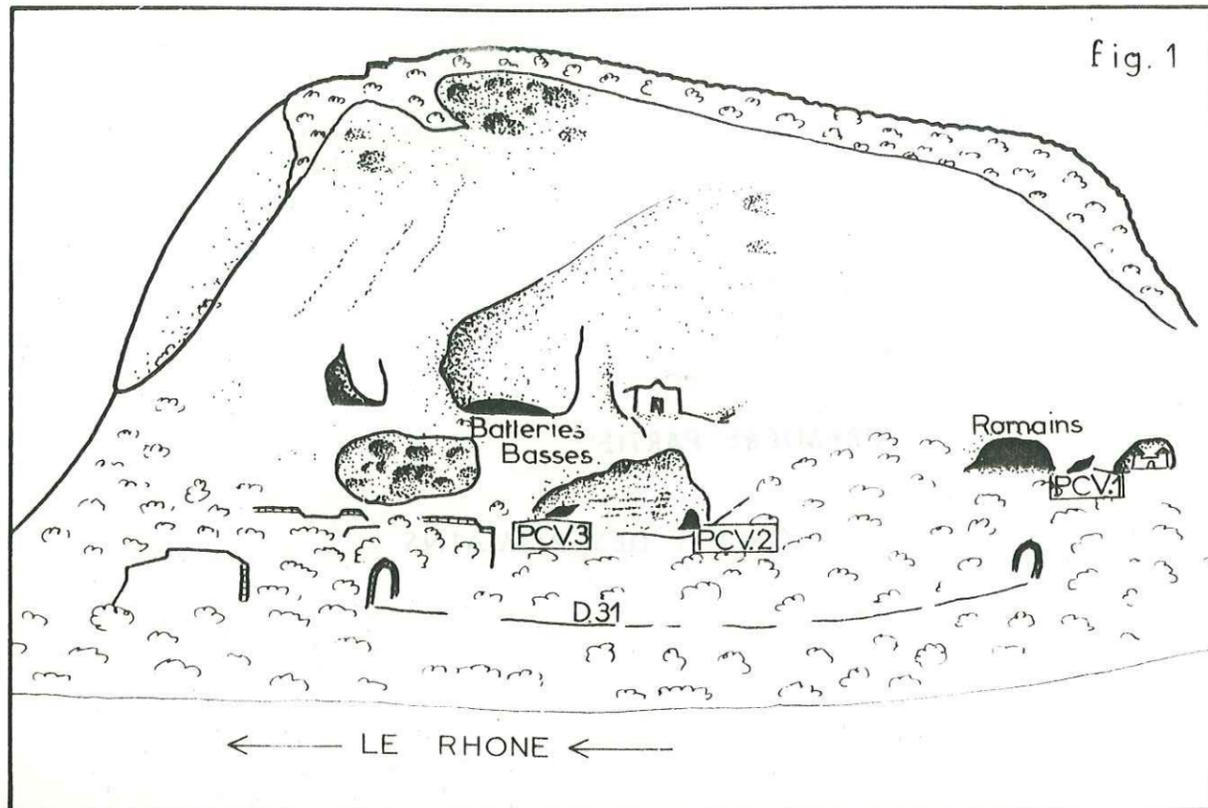


Fig 1 Défilé de Pierre-Châtel, rive droite. Emplacement approximatif des grottes PCV1, PCV2, PCV3, Les Romains, Batteries Basses

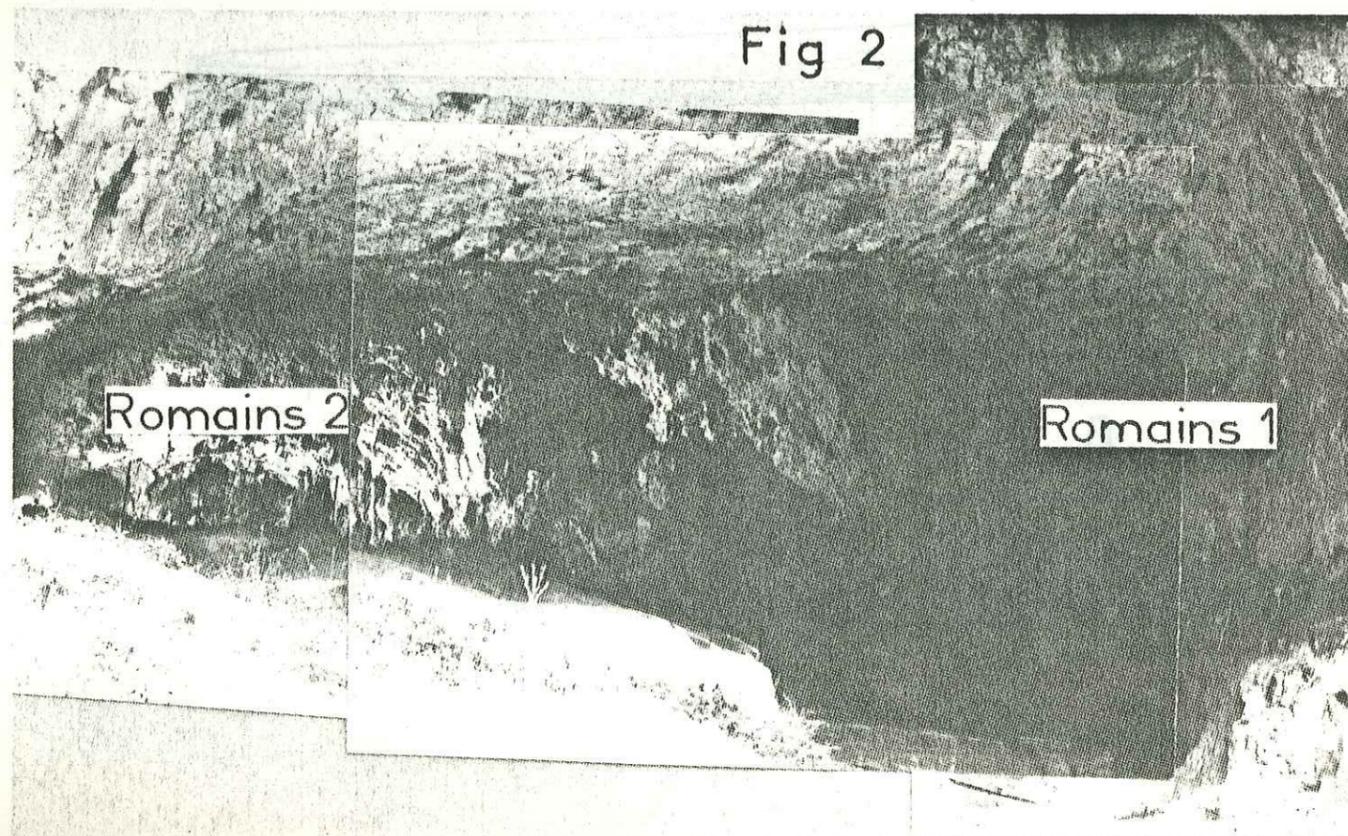


fig 2 Entrée de la grotte des Romains. Forme du plafond

I - LA GROTTÉ DES ROMAINS

A. Situation (fig. 1)

La grotte des Romains appartient à un karst très ancien affectant des calcaires du Jurassique supérieur, dans la région du défilé de Pierre-Châtel qui le recoupe.

A l'aval du pont de La Balme et en rive droite du Rhône, s'ouvrent ainsi plusieurs grottes de taille variable. La plupart débouchent vers le Sud à la base de la falaise kimméridgienne au contact d'un banc dolomitisé. Nous en avons examiné plusieurs : P.C.V. 1, P.C.V. 2, P.C.V. 3, Romains et Batteries Basses (fig. 1) La grotte des Batteries Basses ou des Sarrasins s'ouvre à mi-hauteur de la falaise, vers la sortie aval de la cluse. Pour des raisons topographiques, on peut penser qu'elle communique avec la grotte des Romains qui se trouve en contrebas, ainsi qu'avec les grottes P.C.V. 2 et P.C.V. 3. Mais les passages, s'ils existent, sont actuellement colmatés par des éboulis. Toutes ces cavités contiennent des sédiments plus ou moins hérités de l'époque glaciaire, à l'exception de P.C.V. 1, dans laquelle on ne trouve que des argiles rouges tertiaires.

B. Forme et dimensions (fig. 3)

Longue de 70 m environ, la grotte des Romains présente un tracé légèrement sigmoïde. Sa largeur passe progressivement de 25 m sous le porche à 14 m au-delà de la zone fouillée. Dans les 25 premiers mètres après l'entrée (Romains I) le plafond est une voûte surbaissée, modelage probablement dû à un délitage cryoclastique (fig. 2). Dans la partie médiane (Romains II), la morphologie du plafond révèle le passage d'une faille (orientée N 80 à pendage N 80) et ses fractures satellites, ainsi que de grands alvéoles et niches de corrosion. La zone profonde (Romains III) ascendante, montre plusieurs accidents et fractures, c'est aussi la plus concrétionnée.

C. Etats de la paroi

Les parois de la grotte présentent des états d'altération très variables :

Romains I : Dans les parties non protégées par le remplissage, la paroi porte les traces d'une cryoclase relativement récente. Les anciennes concrétions (draperies, stalagmites) sont complètement démantelées. Dans les parties protégées par le sédiment et dégagées récemment, la paroi est lisse. *Son poli, de type fluviatile, recouvre d'anciens alvéoles de corrosion* (fig. 4).

Romains II : *Le plafond porte quelques stalagmites démantelées. Quelques stalagmites, vers le fond, sont de taille respectable (2 à 3 m). Certaines sont encore actuellement en croissance. On observe que d'autres sont profondément fissurées, ces fissures peuvent être colmatées par de la calcite qui forme une "côte" en surface. En coupe ces concrétions présentent une allure étoilée recoupant les cernes de croissance. Cet éclatement s'explique peut-être par un gel intense, par analogie avec les "cailloux fissurés par le gel", mais on peut aussi imaginer qu'il s'agit là de l'effet d'une dessiccation rapide* (fig. 6).

Dans la zone des fouilles, la roche est peu concrétionnée. Certaines parties de la paroi nord sont profondément altérées et creusées d'alvéoles de tailles variables : 1 m à 1 cm (fig. 5). La paroi nord et certaines parties de la paroi sud sont recouvertes par des lambeaux d'un enduit rouge-noir, épais de 2 mm environ. Les analyses ont montré que cet enduit est un "grès" à ciment ferrugineux. En effet, il s'agit d'un ciment de goethite qui lie de petits grains de quartz très évolués : ce sont essentiellement des émoussés luisants avec quelques ronds mats et des émoussés luisants éolisés. Le sédiment est à rapprocher de certains dépôts "sidérolithiques" que l'on peut observer dans des grottes voisines : les Argiles Rouges de P.C.V. 1 contiennent des sables quartziques très semblables, et certaines cavités proches de la grotte des Batteries Basses sont colmatées avec des sables du même type.

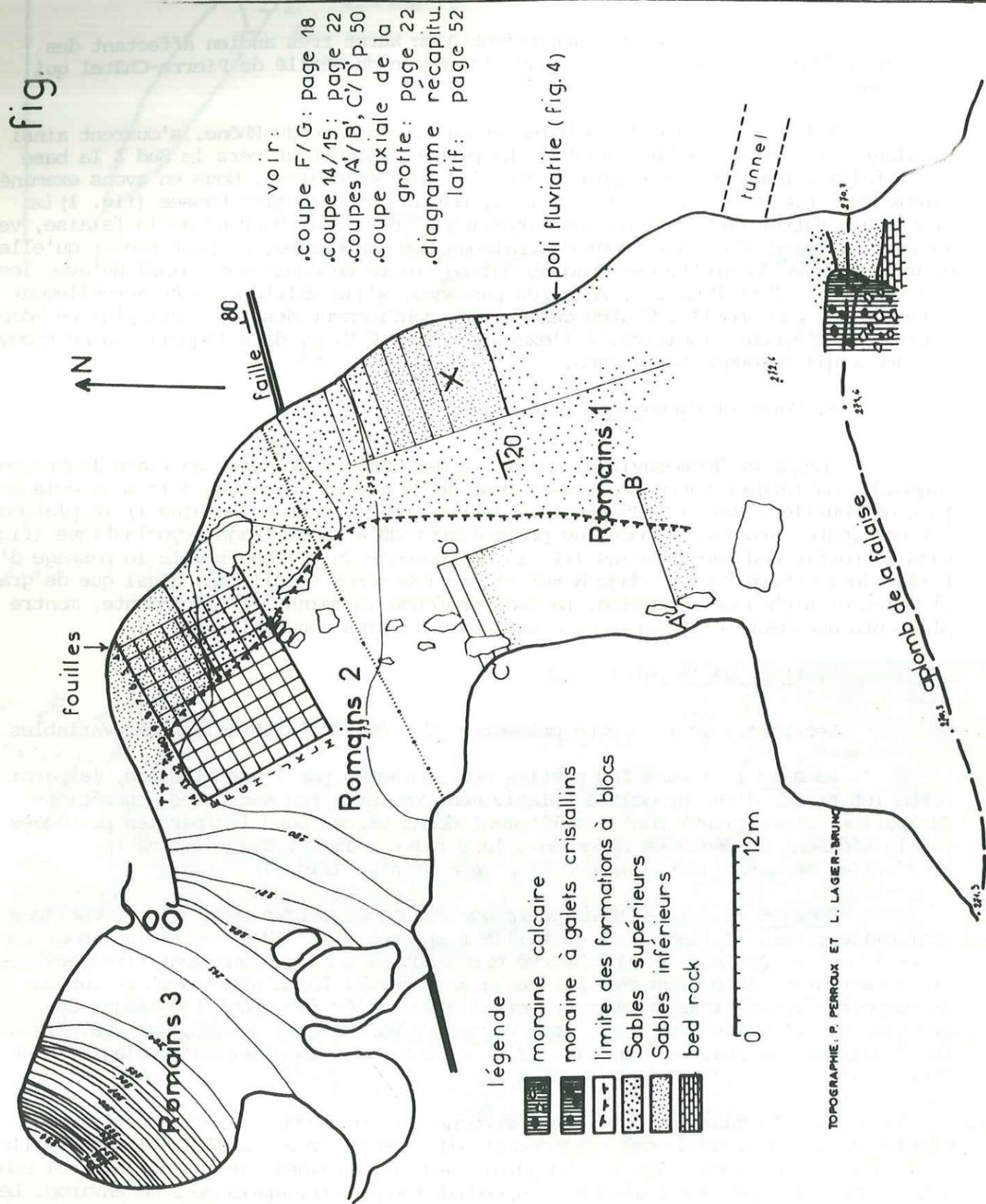


fig.

voir :
 .coupe F/G: page 18
 .coupe 14/15: page 22
 .coupes A/B, C/D p.50
 .coupe axiale de la grotte: page 22
 .diagramme récapitu- larif: page 52

fig. 2 Schéma de la grotte avec limites des principales formations

Dans ces cavités, le contact entre la roche et le sable est souligné par un liseré de goethite (fig. 6 bis). On est donc amené à penser que la grotte des Romains était initialement remplie par un sédiment tertiaire évacué par la suite. A l'appui de cette hypothèse, on trouve un placage d'Argiles Rouges à la base du remplissage, contre le bed-rock. On en conclut que la forme de la grotte (Romains II) ne s'est guère modifiée depuis le Tertiaire. En particulier il ne s'est produit aucun délitage des parois qui surplombent la zone fouillée.

Romains III : Dans cette partie profonde de la grotte, le concrétionnement a été intense, créant des stalagmites, des gours, des "cascades pétrifiées". A certains endroits cependant, le rocher et les concrétions qui le recouvraient ont été découpés et creusés par des eaux agressives "Romains III" est la partie la plus haute et la plus chaude de la grotte.

En résumé : L'étude des états de la paroi révèle un façonnage de la grotte en plusieurs phases, dont on peut établir la succession approximative :

- dépôt d'un enduit ferrugineux et d'un sédiment tertiaire de type sidéro-lithique
- vidange du sédiment tertiaire
- lustrage de la paroi par le fleuve
- concrétionnement
- délitage local des parois par le gel et éclatement des concrétions
- nouveau concrétionnement.

II - LE REMPLISSAGE ARCHEOLOGIQUE

Notre étude sédimentologique à la grotte des Romains commençait alors que la fouille proprement dite était terminée depuis 2 ans. L'étude ne pouvait donc se faire que sur les coupes-témoins qui bordent le secteur exploré (fig. 3). Sur la coupe nord, les couches sont toutes bien visibles et suffisamment dilatées pour permettre des prélèvements précis. Cette coupe résume toute la stratigraphie du "remplissage magdalénien". Notre but était de reconnaître l'empreinte des paléoclimats sur les sédiments, et par là, de compléter les analyses faites dans d'autres spécialités (paléontologie, palynologie). L'analyse des sédiments du gisement même fournit quelques bons résultats mais souleva surtout de nouvelles questions. Il apparut que notre recherche devait plus s'intéresser à la dynamique de mise en place des sédiments qu'à leur façonnage par les facteurs météoriques. Notre champ d'investigations s'élargit donc à tout le remplissage géologique de la grotte des Romains et à celui des grottes voisines. Cette étude a permis d'appréhender certains événements climatiques antérieurs à l'installation de l'homme dans la grotte : elle replace l'épisode magdalénien dans un contexte plus vaste.

A. Stratigraphie du gisement (fig. 3, 7, 8, 9)

Au cours de la fouille, les vestiges magdaléniens ont été dégagés dans deux types de sédiments très différents. La partie sud-ouest du remplissage est essentiellement constituée par une blocaille très hétérométrique, liée par une matrice sablo-limoneuse dont la couleur varie du brun-beige au rouge-brun (fig. 3). Dans le reste de la fouille (partie nord-est), les couches archéologiques sont formées de sables à menus débris de calcaire et de concrétions. Dans cette zone, leur épaisseur est très inférieure à celle des zones à blocs. La limite entre ces faciès suit d'abord la limite 9-10 du carroyage, puis recoupe quelques carrés jusqu'en L 7. Les relations entre ces deux zones soulèvent des problèmes. Nous avons effectué des prélèvements complets dans les deux types de sédiments.

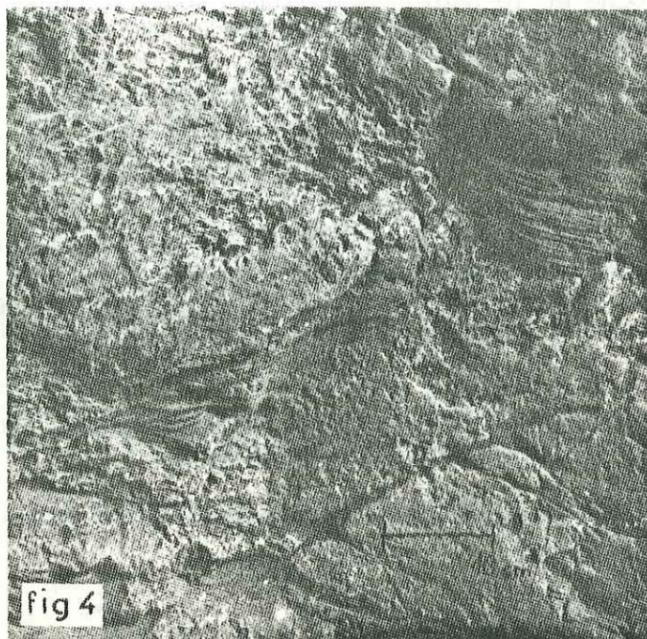


fig 4

fig 4 Paroi est de Romains I. Le poli fluviatile recouvre des cupules de corrosion. Les placages de sables appartiennent aux Sables supérieurs

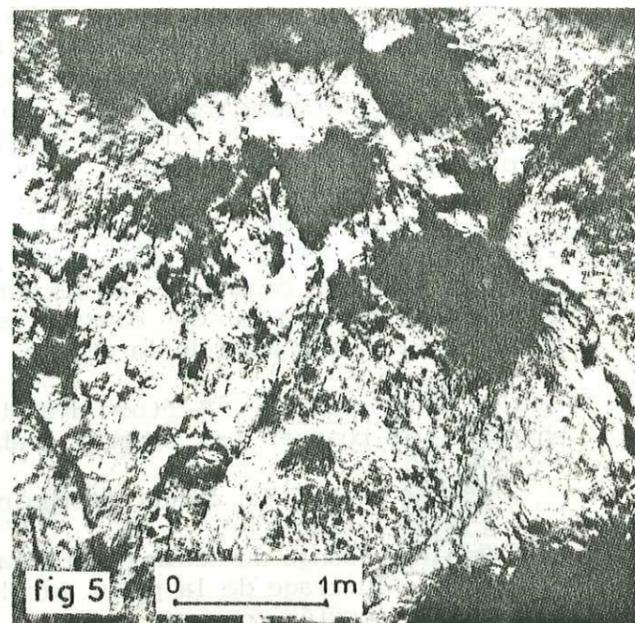


fig 5

fig 5 Plafond de Romains II au-dessus des carrés EF, 13 et 14. Les dimensions des alvéoles de corrosion vont du centimètre au mètre. On remarque les placages ferrugineux au fond des alvéoles

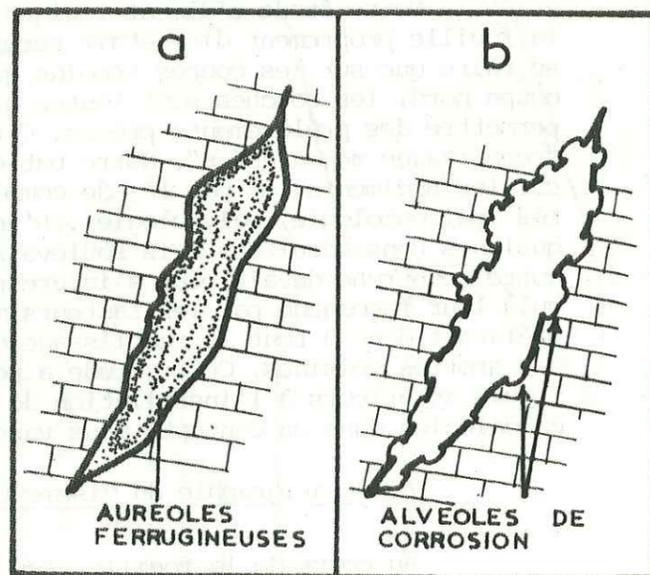


fig 6

fig 6 Grotte des Batteries Basses. Stalagmites "éclatées". Le concrétionnement a repris récemment

fig 6 bis Formation et altération de l'enduit ferrugineux.

- fissure karstique avec son remplissage sableux. La goéthite forme des auréoles parallèles aux parois
- fissure après vidange : il ne subsiste qu'un enduit ferrugineux recoupé par des alvéoles de corrosion



0 20 cm fig 6 bis

1) Description des couches (fig. 7)

(Les couleurs ont été déterminées à l'aide du Code Expolaire de Tricart sur la fraction inférieure à 50 microns, humide).

Couche I

Sédiment riche en matière organique, recélant des vestiges protohistoriques et historiques. Il n'en subsiste que de petits lambeaux. Ces niveaux ont été trop influencés par l'action de l'homme pour se prêter à une analyse sédimentologique. Nous avons cependant étudié ce sédiment pour obtenir des valeurs de comparaison. Couleur : gris-brun clair D 61.

Massif stalagmitique

Le plancher stalagmitique auquel le gisement doit en partie d'avoir été préservé, est irrégulièrement développé. Il atteint son épaisseur maximale en D, E 12 : 60 cm. Dans d'autres secteurs, il est pratiquement absent, ou remplacé par une couche tuffeuse qu'il a été possible d'analyser. En certains endroits, la calcite a migré vers la profondeur cimentant la totalité des sédiments. Le plancher stalagmitique est blanc en cassure, il se présente comme un empilement de feuillets millimétriques. Il est généralement très dur. Signalons que certaines stalagmites de la grotte sont actuellement en pleine croissance. L'eau qui tombe du plafond est très incrustante.

a) Sédiments dans la zone à blocs (fig. 7, mailles E8 à E 14) de haut en bas :

Tuf à concrétions roulées (T)

Épaisseur 5 cm environ. Cailloux emballés dans une matrice limoneuse blanchâtre. Induration par la calcite. Sédiment friable. Brun très pâle B 62.

Couche à blocs supérieure (CBs)

Au sommet, niveau assez mince (5 à 15 cm) de cailloux et de petits blocs. La matrice est pratiquement inexistante. Quelques blocs sont éclatés sur place. Couleur : Brun très pâle C 63.

A la base, sur 20 à 25 cm, blocs et cailloux sont liés par une matrice sablo-limoneuse brune (couleur : brun D 64). Quelques blocs sont éclatés sur place. Les blocs ne présentent aucune orientation préférentielle.

Cette couche n'a pas d'équivalent dans les zones à sédiments fins.

Couche II a

Niveau discontinu (10 à 15 cm), observable en E 11, E 12, E 13, qui disparaît en E 14. Sable limoneux brun-rose à débris de concrétions. Ne contient que peu de cailloux. A quelques interruptions près, ce niveau correspond au niveau II a de la zone à faciès sableux. Couleur : brun très pâle B 62.

Couche à blocs inférieure (CBI)

Épaisseur 30 à 40 cm. Constituée pour l'essentiel de gros blocs dont la longueur va de 10 à 50 cm. La matrice est un sable limoneux brun-jaune (D 63). Quelques blocs sont éclatés par le gel. Aucune orientation préférentielle des blocs. En E 11, un début de stalagmite recouvre les blocs sur quelques décimètres carrés.

Couche III 1

Blocs et cailloux noyés dans une matrice sablo-limoneuse brun-foncé (F 54) contenant de nombreux petits fragments de charbon de bois. La disposition de cette couche pose un problème. En effet, la limite III - CBI recoupe de

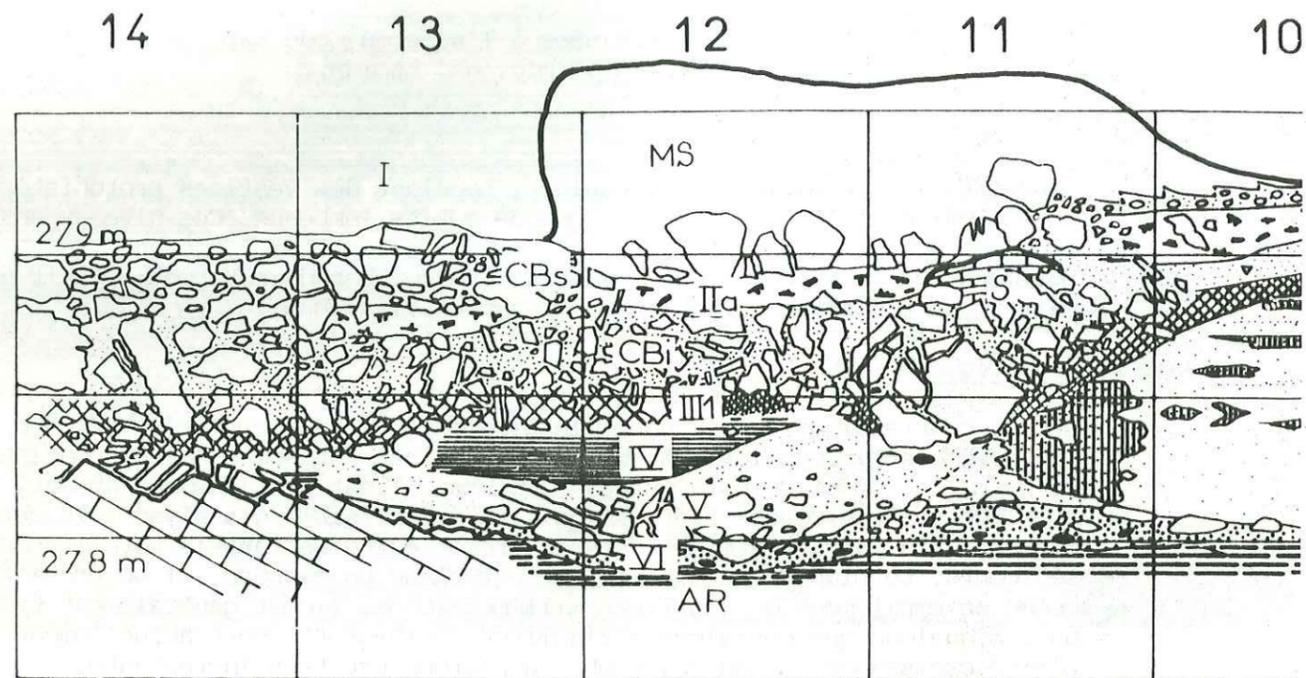


fig 7 Coupe dans le plan D.E.

Bed-rock

Le bed-rock calcaire a été atteint en un point de la fouille (carrés E 13-14). Sa surface très diaclasée a été attaquée par le gel et de nombreux blocs s'en détachent. En D 13 les blocs de la couche V sont encore partiellement en connexion avec la roche-mère.

b) Sédiments dans la zone à faciès sableux (fig. 7, mailles E 5 à E 9), de haut en bas :

Tuf à concrétions roulées (T)

Épaisseur 3 à 15 cm. Conglomérat blanchâtre à débris de concrétions et contenant de nombreux éléments arrondis. Se désagrège à la fouille. Couleur (code expolaire) : B 62.

Couche II a

Sables limoneux à débris de concrétions et rares cailloux. Légère cimentation par la calcite, avec quelques zones à cimentation intense. Couleur : brun pâle D 61. Épaisseur entre 10 et 20 cm. Cette couche est recoupée par la topographie actuelle et disparaît dès le carré 7.

Couche II b

Sables limoneux à cailloux. Couleur brune (brun pâle D 61). Épaisseur entre 5 et 15 cm. Au contact de la zone à blocs cette couche s'interrompt.

Couche III

Sables limoneux avec quelques cailloux. Sa teinte sombre (brun foncé H 41) lui est conférée par des vestiges de foyers. Les limites en sont assez nettes.

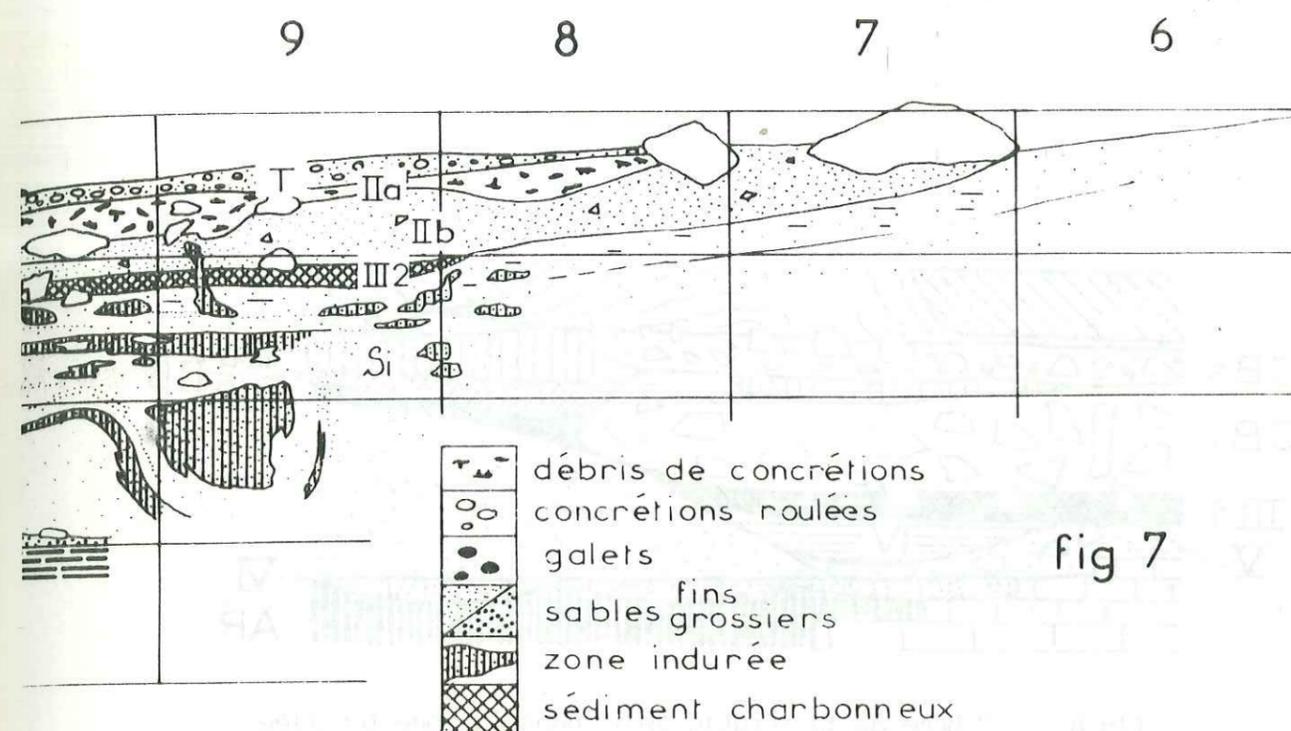


fig 7

nombreux blocs, et on constate que c'est la moitié inférieure des blocs qui porte la patine de III. Ceci suggère un enfoncement des blocs dans la couche III et amène à penser que celle-ci n'est pas vraiment en place. La limite inférieure de III est progressive. En certains secteurs, (I,J) 14 et G 12, la couche III présente un épaississement considérable au contact d'un bloc métrique sous lequel elle s'engage.

Couche IV

Limons jaunes (code expolaire : brun E 72) à cailloux. Épaisseur 5 à 25 cm. Cette couche contient beaucoup moins d'éléments grossiers que les couches sous-jacentes. Les cailloux ne sont pas anguleux mais présentent des arêtes arrondies et des faces lisses.

Couche V

Sables limoneux, brun-olive clair (E 74), contenant cailloux, galets et quelques blocs. Les éléments grossiers sont posés à plat, et présentent une usure analogue à ceux de la couche IV.

Couche VI

Sables très grossiers avec galets centimétriques et cailloux. (code expolaire brun-jaune D 72). Le sédiment est plaqué contre le bed-rock dont il remplit les anfractuosités.

Argiles rouges

Des témoins d'argiles rouges, manifestement identiques à celles qui remplissent certaines poches karstiques voisines, sont plaqués au contact immédiat du rocher et dans ses diaclases. Il s'agit d'argiles très compactes à débit prismatique. Couleur : brun-rouge F 44.

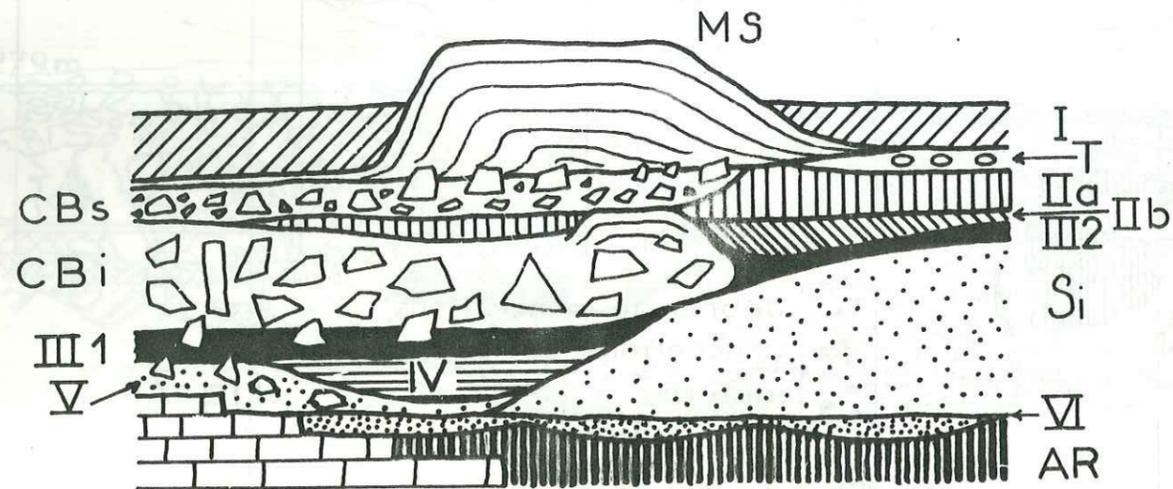


fig 8 Schéma de la stratigraphie dans la zone fouillée



fig 9 Log stratigraphique

Épaisseur variable, généralement autour de 10 cm. Au contact de la zone à blocs, la couche s'épaissit à 35 cm. Vers l'Est du gisement, elle se termine rapidement.

Substratum sableux (Si)

La couche III repose sur des sables limoneux jaunes (brun-jaune D 72) stériles en vestiges à litage diffus et contenant quelques gros blocs (1 m ou plus). Dans le carré F 9 nous avons pu observer une figure de charge métrique qui est sans doute à mettre en relation avec la chute d'un bloc. Les sables présentent une induration discontinue qui affecte en particulier les lentilles plus grossières.

2) Ordre de dépôt des couches (fig. 8)

La juxtaposition de faciès fins et de faciès très grossiers soulève des problèmes et nous a conduit à adopter une séquence stratigraphique légèrement différente de celle du fouilleur. Ainsi, le log qui sert de base à la présentation des résultats d'analyse est une superposition synthétique qui n'est réalisée en aucun point du remplissage, mais repose sur certaines hypothèses stratigraphiques justifiées par le contexte sédimentaire du gisement qui sera précisé plus loin.

Du bas vers le haut (fig. 8)

Les Argiles Rouges (AR) et les Sables Grossiers (VI) qui les surmontent forment la base actuellement observable du remplissage concerné par la fouille. Il faut cependant préciser que celle-ci s'est généralement arrêtée à la base de la couche III et que nous ignorons la quasi totalité de la stratigraphie sous-jacente. Argiles Rouges et Sables Grossiers constituent deux phases sédimentaires nettement distinctes entre elles et distinctes du reste du remplissage.

En 10 on observe la superposition des sables limoneux (Si), sur les Sables Grossiers. En 12 et 13, ces mêmes sables grossiers sont surmontés par des sables limoneux à cailloux qui se distinguent de Si par leur texture, leur couleur, leur hétérométrie et leur absence de litage. La géométrie du dépôt (biseau de Si) parle en faveur de la superposition "V sur Si" en l'absence d'une limite observable. Le passage latéral semble peu probable. Nous plaçons donc une limite de ravinement au sommet de Si et de VI. A la première arrivée des Magdaléniens, il existait un petit thalweg dans la zone 12, 13, 14, qui devait se diriger vers la sortie de la grotte : ce thalweg n'a pas été totalement comblé par les couches V et VI. Nous reparlerons des Sables limoneux (Si) à propos du remplissage "géologique" de la grotte.

La couche V est localement (en 12 et 13) surmontée par des limons (couche IV) formant une lentille imprécise.

La couche III (Magdalénien), par sa nature de sable charbonneux est bien repérable dans la stratigraphie. Elle repose sur deux substrats différents : sur les sables Si de 7 à 11 et sur les limons IV de 11 à 14. Nous avons exposé plus haut sa disposition dans la zone à blocs : elle se présente soit en petits paquets aux contours très nets, soit comme une bande sombre aux limites floues. Nous pensons que dans la zone à blocs, la couche III est entièrement bouleversée par la mise en place de la couche à blocs inférieure CBi et qu'elle s'est mélangée à la base de cette dernière. Nous estimons par ailleurs que la mise en place de la CBi a dû être assez brutale, et en une seule fois : il s'agirait d'une véritable "coulée de blocs" qui serait arrivée par l'intérieur du karst. Plusieurs arguments parlent en faveur de cette hypothèse. Arguments stratigraphiques, par analogie avec des coulées du même type que l'on observe dans le remplissage de Romains I ; arguments sédimentologiques puisqu'on peut démontrer le caractère allochtone de ce sédiment grossier ; arguments topographiques : une coupe effectuée parallèlement à l'axe de la grotte (fig. 10) montre que le remplissage grossier (blocs) étudié dans la fouille n'est que le pied d'un cône important qui remonte dans le karst avec une pente de plus en plus raide à profil concave. La grotte est malheureusement obturée par le concrétionnement. Ce cône de matériel détritique qui constitue le plancher de Romains III porte d'ailleurs la même patine rose que les

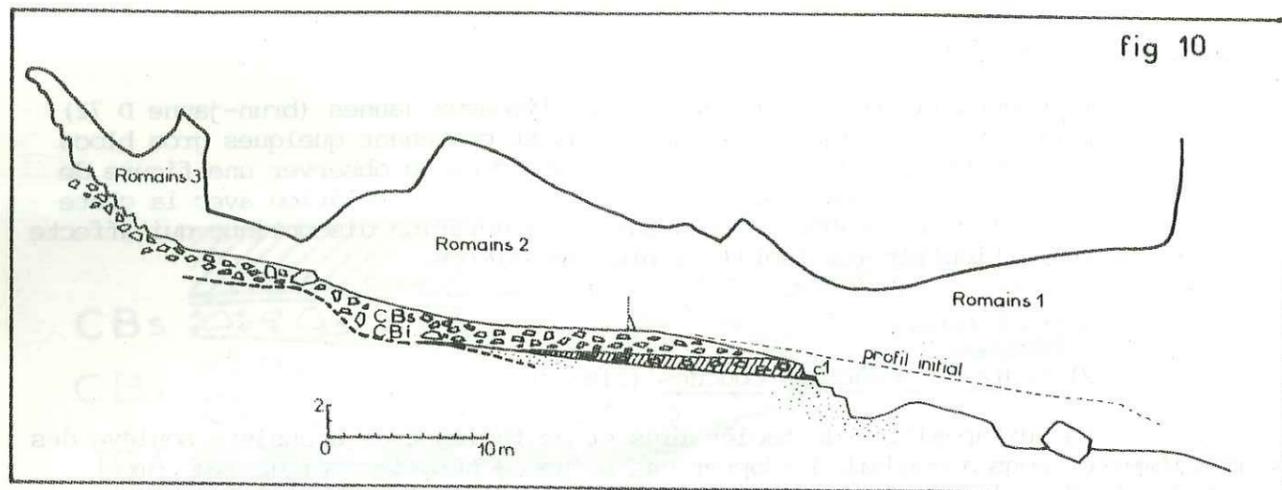


fig 10 Profil longitudinal de la grotte des Romains. On a figuré les formations à blocs CBs, CBI et la couche 1 de Romains 1. Dans Romains I, le profil a été modifié par des excavations récentes

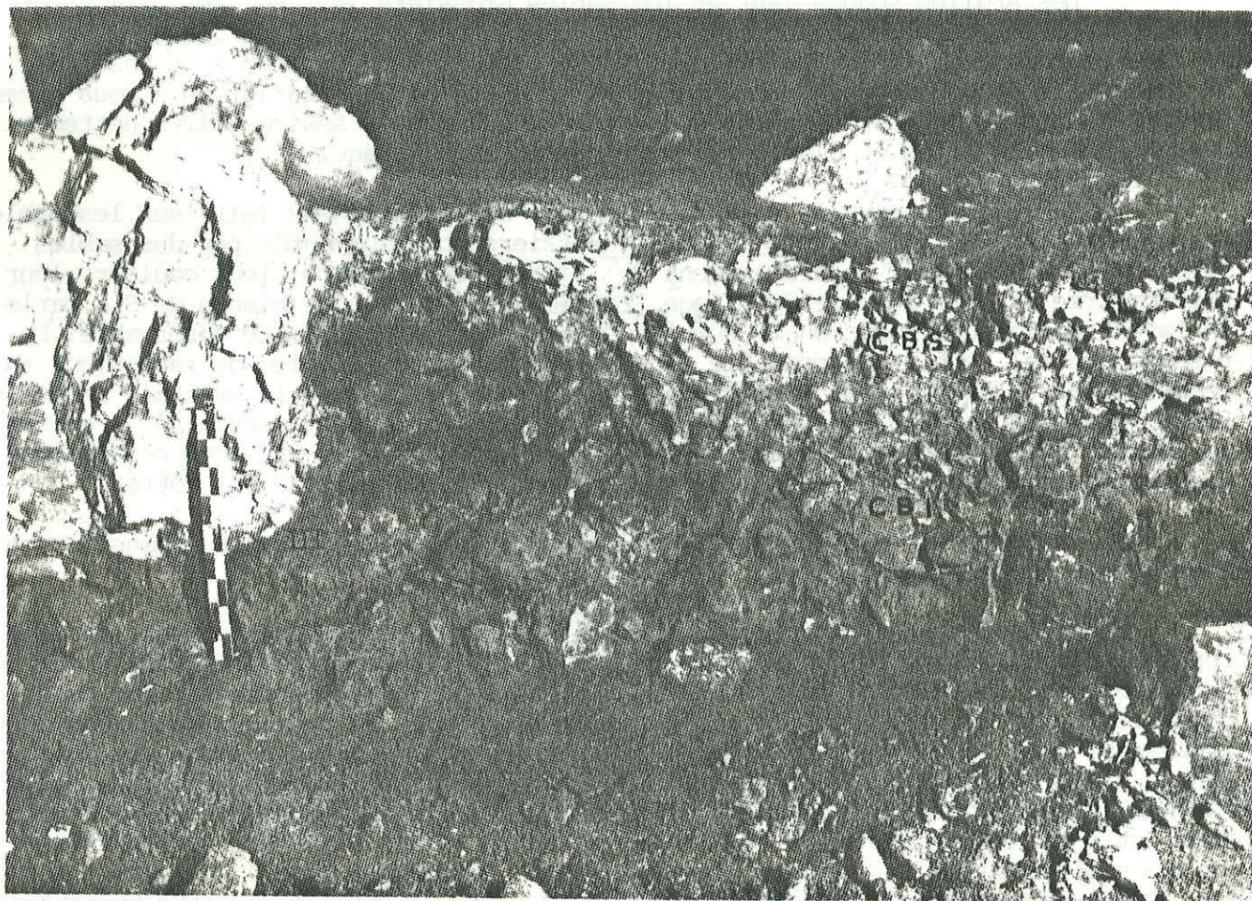


fig 11 Romains II. Coupe dans le plan 14-15. Epaisseur de la couche III au contact d'un bloc sous lequel elle s'engage. Cette structure est due au remaniement de III par la couche à blocs inférieure

blocs de CBI. L'existence d'une coulée de blocs semble donc bien confirmée, même si son mécanisme n'est pas entièrement expliqué. Les blocs ont occupé la partie la plus basse du gisement : le thalweg de la zone 12, 13, 14. L'entraînement de la couche III est encore illustré par ses épaisissements locaux : l'un s'observe en 11, à la limite de la zone à blocs. D'autres ont été observés contre de gros blocs qui avaient percuté la couche III au préalable et que la coulée n'a probablement pas pu déplacer (voir fig. 11). Sur le log stratigraphique nous avons donc distingué deux couches III : l'une qui repose sur les sables (III 2) et qui est en place ; l'autre qui est remaniée et qui constitue en quelque sorte la transition vers la couche CBI. A propos de la couche III 2 (sables charbonneux), rappelons qu'elle se termine brutalement à la limite entre 8 et 9. On n'en trouve plus aucune trace au-delà. Cette position suggère qu'elle a été érodée en partie. La base de III 2 n'est pas horizontale mais remonte vers la paroi en une pente de quelques degrés. *Un faible ruissellement sur cette pente n'est pas à exclure.*

La couche CBI constitue l'un des points de désaccord avec la stratigraphie adoptée pour la fouille. En effet, par analogie avec la couche II b de la zone sableuse, il semblait logique de l'appeler II b, puisque toutes les deux étaient encadrées par la couche II a au sommet, III à la base. Nous estimons cependant que le dépôt de CBI est antérieur à celui de II b. En effet, dans la zone 11, le sommet de la couche à blocs a été cimenté par de la calcite. A cet endroit, on observe un début de stalagmite régulièrement litée comme celles qui constituent le plancher stalagmitique. Cette concrétion est recouverte sur une moitié par les sables de II b et sur l'autre moitié par la couche II a ce qui exclut l'idée selon laquelle elle se serait formée par infiltration d'eau lors de la croissance du plancher stalagmitique. Ces observations justifient la superposition adoptée : CBI sous la concrétion, concrétion surmontée par II b, II b inférieur à II a. Notre interprétation de la nature de CBI se trouve cependant en butte à une difficulté : la présence de vestiges magdaléniens dans sa masse. Il faut penser que ces éléments se sont "introduits" dans la couche par deux moyens : par remaniement, pour la base ; par "percolation" à travers les blocs lors du dépôt de II b. Ceci serait en accord avec la faible concentration en vestiges dans toute cette zone. Un autre problème, relatif à la matrice, sera vu dans l'analyse sédimentologique. Notre schéma implique que la couche II b n'existe pas en tant que telle dans la zone à blocs.

L'extension de la couche II a dépasse celle des couches précédentes et elle apparaît comme un véritable niveau-repère, bien que dans la zone 14 elle ne soit pas discernable. Il est remarquable que cette couche soit inclinée vers le fond de la grotte, c'est-à-dire un pendage de sens opposé à celui des couches à blocs, ce qui confirme l'existence de ruissellements dans le sens "6 vers 14". La surface de CBI a donc été régularisée par le dépôt de sables qui avaient une autre origine.

La couche II a a été légèrement perturbée par la mise en place de la couche à blocs supérieure (CBs). Un certain nombre de blocs ont percuté ce sédiment relativement fin. Il s'agit probablement d'une nouvelle coulée à blocs, bien que ses caractéristiques sédimentologiques ne soient pas tout à fait identiques à celles de CBI. Actuellement, certains blocs de cette formation, en particulier dans le carré E 11 se trouvent placés plus haut que le toit de la couche en E 14. Comme CBI, la couche à blocs supérieure s'arrête à la limite 10/11.

La position stratigraphique du tuf à concrétions roulées par rapport au grand massif stalagmitique n'est pas très claire. De part et d'autre du massif stalagmitique, ce tuf s'est plus ou moins infiltré dans la partie supérieure des couches qui affleuraient lors de sa formation, et en a remanié les éléments. En E 10, il passe insensiblement au type de concrétion plus dure qu'est le plancher stalagmitique. A défaut d'arguments plus précis, on peut supposer qu'il est contemporain de ce dernier. Son faciès cependant permet de croire qu'il s'est formé dans des circonstances particulières qui n'ont dû être réalisées que pendant un certain temps : dans cette optique, il se placerait plutôt à la base du massif stalagmitique. Dans le log stratigraphique nous avons opté pour cette solution.

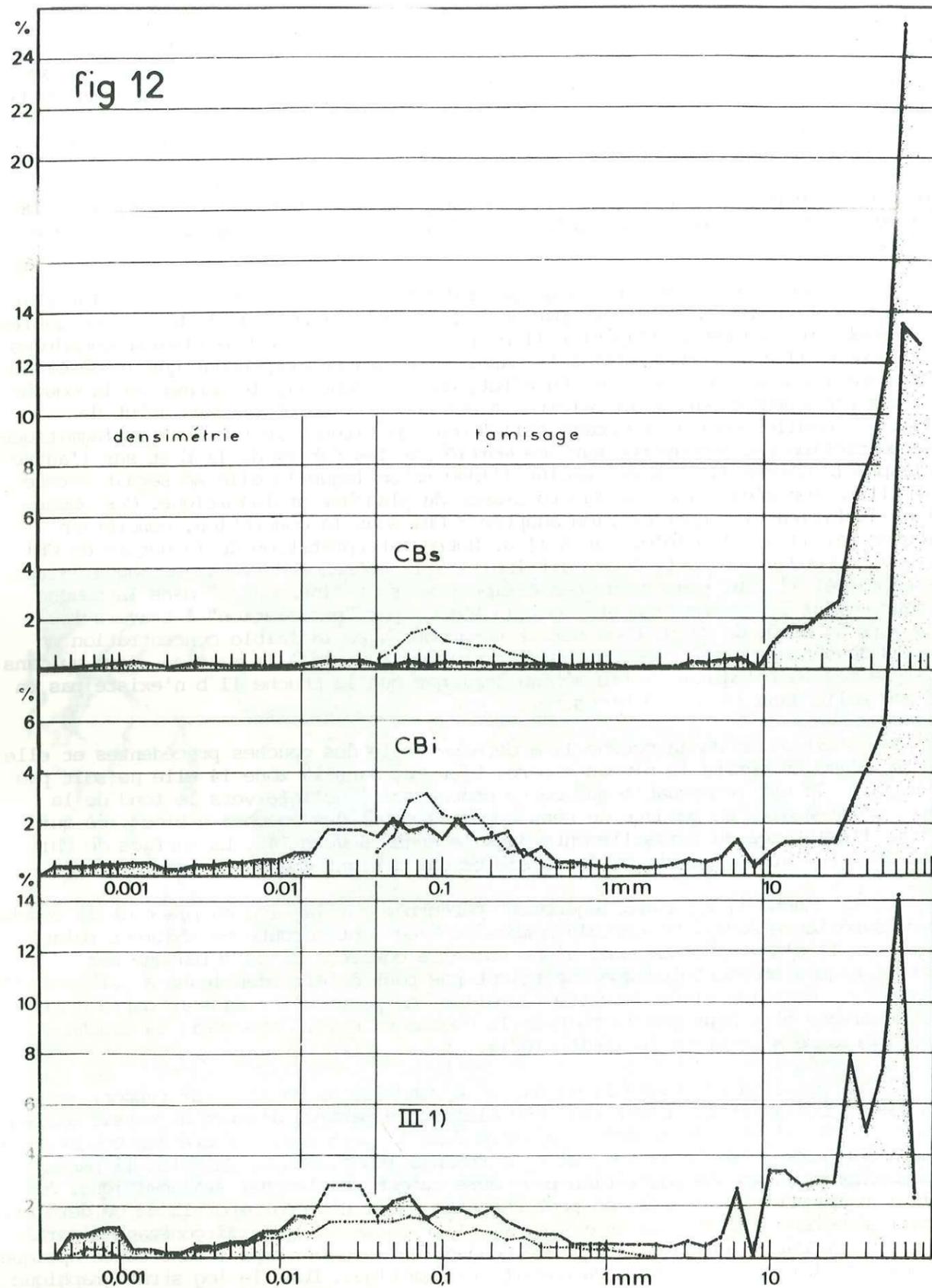


fig 12 Fréquences simples du sédiment inférieur à 10 cm de la zone à blocs : couches CBs, CBi, III 1). Les courbes en pointillés représentent le sédiment décalcifié (ramené au poids total).

On voit donc que, malgré la relative uniformité du matériel archéologique, la stratigraphie de la grotte des Romains pose maints problèmes. Les remaniements que l'on constate à l'analyse stratigraphique incitent à la prudence pour ce qui est de l'interprétation des analyses sédimentologiques. Les courbes de variations des caractères étudiés reflèteront l'opposition entre les deux faciès, grossier et fin, dont l'origine est très différente.

B. Analyses sédimentologiques

1) Méthodes

Nos analyses se sont inspirées des méthodes appliquées par J. Cl. Miskovsky aux gisements du Sud-Est de la France. Toutefois, nous avons cherché à adapter les critères aux conditions de la grotte des Romains.

a - Prélèvements

Devant l'importance de la fraction grossière (blocs et cailloux) nous avons essayé d'obtenir des échantillons représentatifs en prélevant des quantités importantes de matériel, ce qui est un pis aller : la théorie classique prévoit un prélèvement dont le poids égale au moins vingt fois le poids du plus gros élément. Dans un sédiment comportant des blocs de 50 kg ceci n'est plus possible. D'ailleurs, dans l'analyse pondérale, les différences de densité entre la matrice meuble et les blocs tendent à augmenter l'importance de ces derniers, d'autant plus que les pesées sont effectuées sur un matériel sec. Nos pourcentages de blocs constituent un moyen "semi-quantitatif" de représentation du sédiment global. Pour rendre les "granulométries globales" comparables entre elles, nous avons limité la taille supérieure à 100 mm.

b - Granulométries

Les cailloux (de 1 cm à 10 cm) ont été tamisés sur calibres à trous ronds ; (progression AFNOR).

Les sables ont été tamisés sur des tamis métalliques de type AFNOR, la dimension des mailles allant de 0,05 mm à 10 mm. La granulométrie des fractions inférieures à 0,05 mm a été obtenue par densimétrie. Limités par les possibilités techniques, nous plaçons le seuil "limons" - "sables fins" à 0,05 mm.

Les classes granulométriques sont donc réparties comme suit :

- cailloux de 100 à 10 mm.
- granules de 10 à 2 mm.
- sables grossiers de 2 à 0,2 mm.
- sables fins de 0,2 à 0,05 mm.
- limons de 0,05 à 0,002 mm.
- "argiles" pour des tailles inférieures à 0,002 mm.

Sur les diagrammes globaux, les raccords entre les différentes méthodes granulométriques sont généralement bien visibles. Nous avons exprimé la granulométrie sur différents types de diagrammes.

- fréquences simples et fréquences cumulées du sédiment "global" inférieur à 100 mm (fig. 12, 13, 14, 15) ;
- fréquences cumulées des fractions fines (inférieures à 2 mm) pour le sédiment naturel et après décalcification (fig. 16 à 20) ;
- granulométrie des cailloux en fonction des couches (fig. 21) établie uniquement sur les fragments de calcaire autochtone, après tri préalable ;
- granulométries globales (avec blocs et sans blocs) en fonction des couches (fig. 21) ;
- granulométrie du sédiment fin naturel et décalcifié en fonction des couches (fig. 22 et 23) ;

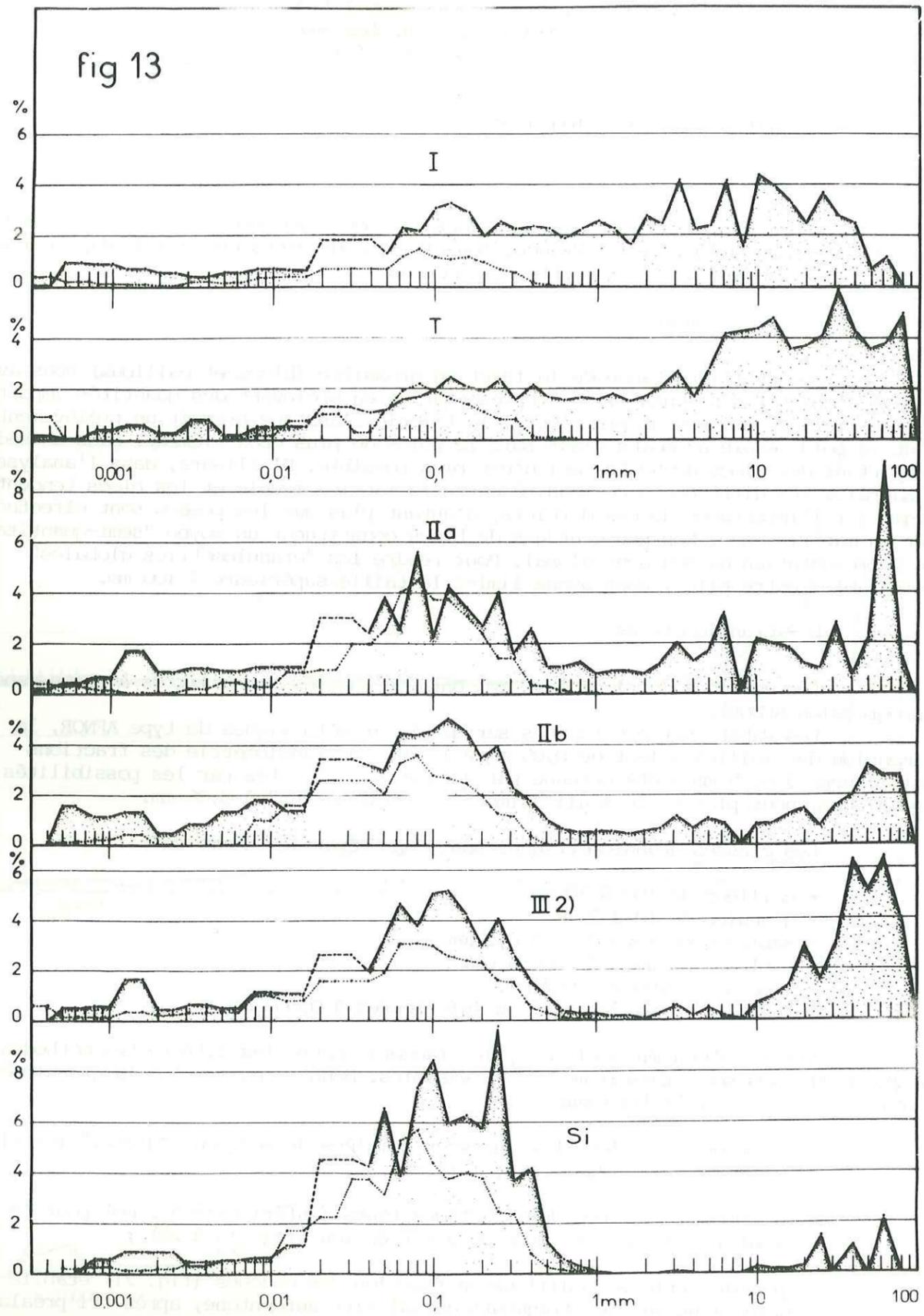


fig 13 Fréquences simples du sédiment inférieur à 10 cm de la zone sableuse : couches I, T, II a, II b, III 2, Si. Les courbes en pointillés représentent le sédiment décalcifié (ramené au poids total)

- variation des indices granulométriques en fonction des couches.

c - Analyse morphoscopique des cailloux

Pour chaque prélèvement et chaque classe granulométrique entre 12,5 mm (inclus) et 100 mm (exclus), les cailloux ont été divisés en différents lots. Ce classement d'effectuait sous trois points de vue différents :

- comptage pétrographique (fig. 24)
- forme (fig. 25)
- état de surface (fig. 25). Il s'agit de pourcentages numériques et non de pourcentages pondéraux : de cette manière les échantillons sont plus représentatifs. Les pourcentages sont calculés par rapport au nombre total de cailloux calcaires.

c1 - comptage pétrographique (fig. 24)

Les éléments sont classés selon leur nature, c'est-à-dire leur origine. On a distingué :

- les fragments de calcaire autochtone : (colonne B). C'est le calcaire dans lequel est creusée la grotte des Romains et qui constitue les falaises de Pierre-Châtel, calcaire spathique massif, de couleur jaune. Nous n'en avons pas étudié les faciès qui sont sujets à certaines variations.

- les fragments de concrétions tombées du plafond : (colonne E). Petites stalagmites ou plaquettes incurvées à structure feuilletée qui résultent du démantèlement de concrétions plus importantes. Blanc pur en cassure. Ce démantèlement peut être attribué à plusieurs causes :

- la desquamation lors de périodes particulièrement sèches ;
- les premiers gels importants qui succèdent à la période de croissance des concrétions ;
- la sursaturation en eau lors d'un changement dans le régime d'alimentation ;

Pour la grotte des Romains, nous retenons la seconde cause d'autant plus qu'il devait exister un courant d'air accélérant les effets du gel.

- les concrétions formées au sol : (colonne D) parmi lesquelles on distingue deux types :

- les concrétions formées dans le sol, qui cimentent les grains du remplissage et revêtent des formes de poupées ou de boules. On compte dans cette classe des feuilletts calcitiques formés à la surface de la couche qui englobent argiles et limons. Ce type de concrétionnement a produit des agrégats de toutes tailles, qui faussent évidemment les résultats granulométriques. Il aurait été possible d'éliminer les grosses concrétions par un tri à la main mais le problème serait resté entier pour les fractions fines, si bien que nous avons préféré laisser le sédiment "entier".

- les "concrétions roulées" (colonne C) qui sont des sortes de perles des cavernes grossières, de taille variable : de 2 mm à 6 cm. Ces concrétions ont une forme ovoïde. Elles sont rarement sphériques. Leurs coupes (fig. 26) se présentent comme celles des stalagmites : autour d'un noyau sans structure particulière (il peut s'agir d'un fragment de stalagmite) la calcite s'est déposée en couches concentriques. A la loupe binoculaire on observe que les couches se différencient les unes des autres par la taille des cristaux, par la teneur en limons et en grains de sable, ainsi que par leur coloration. Certains lits de calcite sont roses, d'autres gris ou blancs. Leur tracé peut être plus ou moins sinueux.

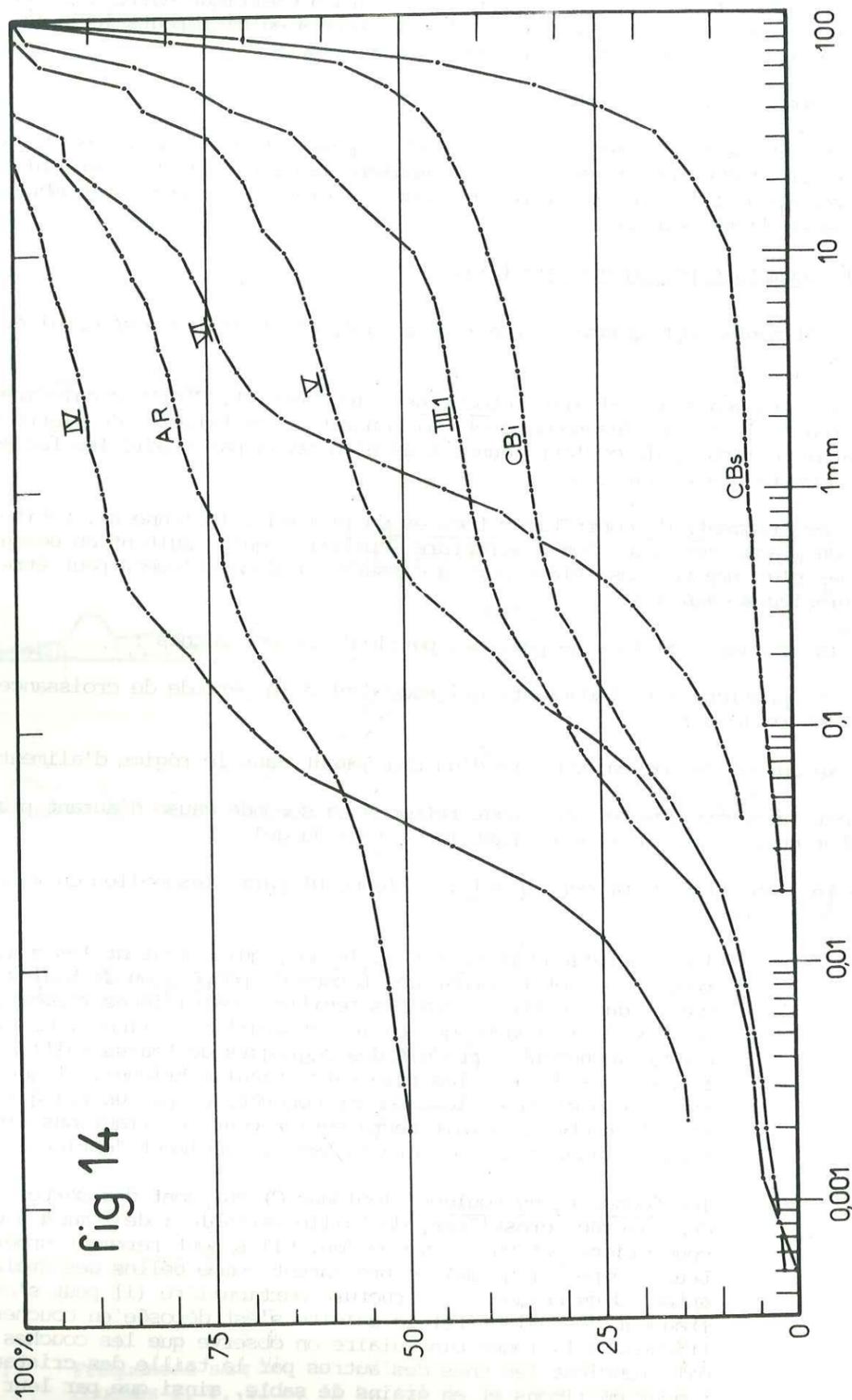


fig 14 Fréquences cumulées du sédiment inférieur à 10 cm de la zone à blocs :
 courbes CBs, CBi, III 1, IV, V, VI, AR

De tels pisolithes se sont sans doute formés dans les fossettes d'égouttement à la verticale des stalagmites : en tombant, les gouttes d'eau incrustante déplacent les graviers et les empêchent de se souder entre eux pendant que des films de calcite se déposent à leur surface. Ce type de formation nécessite donc une agitation constante, c'est-à-dire une assez forte humidité

- les cailloux de nature franchement allochtone : (colonne A). On a décompté dans cette catégorie tous les non-calcaires et les galets. En effet, on trouve dans presque toutes les couches des fragments de roches étrangères à la roche-mère du gisement.

- molasse jaune, friable, en petites plaquettes, que l'on trouve ailleurs associée aux Argiles Rouges. Elle forme généralement 60 % des éléments allochtones.
- galets de petite taille (1 à 2 cm) en calcaire noir, ou fragments de schiste et de galets siliceux. Ces deux derniers éléments ont peut-être en partie été apportés par l'homme. Le cas est moins certain pour des petits galets ou pour des fragments de molasse. En examinant le cône de cailloux dans Romains III nous avons trouvé des galets en faible nombre sur toute la hauteur. Leur présence semble intimement liée à celle des blocs. Nous voyons là un argument en faveur de l'allochtonie des couches à blocs.

c2 - étude des formes (fig. 25)

Nous avons dénombré les formes classiquement étudiées : polyèdres (cailloux trapus), prismes (cailloux allongés, en "frites"), plaquettes épaisses, plaquettes minces, plaquettes gélives, ces dernières étant caractérisées par des arêtes particulièrement vives. Ces comptages ne s'intéressaient qu'aux fragments de calcaire autochtone. Sur le même matériel nous avons calculé le pourcentage de "cailloux fissurés" par le gel dont la fig. 27 montre un exemple. La présence de plaquettes et de cailloux fissurés est généralement considérée comme un indice de gel.

c3 - étude de l'état de surface des cailloux (fig. 25)

Sur le même matériel que précédemment, nous avons cherché à préciser quel était l'état de "fraîcheur" ou d'altération des cailloux. Dans le remplissage étudié, il n'y a pas d'altération dans le sens d'une décomposition chimique pénétrant plus ou moins en profondeur et formant un cortex. Les cailloux présentent plutôt deux types de dissolution franche, l'une tendant à produire des alvéoles millimétriques ("corrosion"), l'autre faisant disparaître les aspérités de la roche ("usure"). On distingue :

- les cailloux non altérés (colonne F) : toutes leurs faces sont des cassures fraîches ;
- les cailloux usés (colonnes G, I) : les cassures présentent un aspect plus ou moins arrondi et lustré, les arêtes pouvant rester assez vives ;
- les cailloux corrodés (colonnes H, J) : les faces sont creusées d'alvéoles plus ou moins larges (0,5 à 3 mm). Les faces internes des alvéoles sont lisses, les cloisons de séparation sont arrondies.

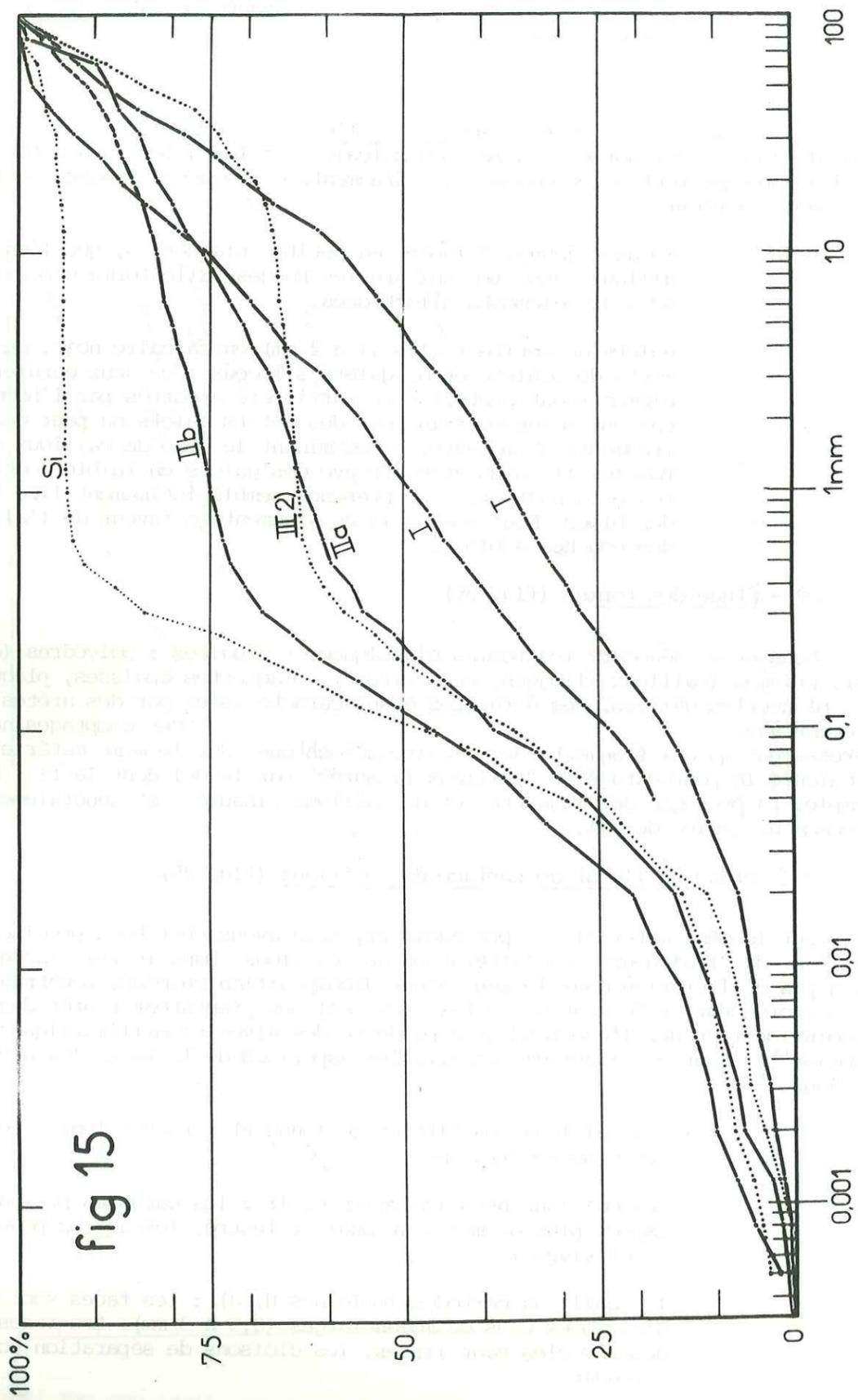


fig 15 Fréquences cumulée du sédiment inférieur à 10 cm de la zone sableuse :
I, T, II a, II b, III 2, Si

Dans les deux dernières classes on sépare les éléments altérés sur toutes leurs faces de ceux qui présentent au moins une face fraîche. Ces derniers témoignent d'une altération antérieure au fractionnement. L'altération exprime ici l'attaque de la roche par une eau agressive (donc plutôt froide), abondante. Les formes qu'elle revêt sont sans doute liées au faciès de la roche.

La somme des cinq pourcentages égale 100. Nous avons décompté en plus les cailloux "enrobés" par un enduit calcitique de teinte rose, étant donné que ce caractère est assez fréquent dans certaines couches.

d - analyse des fractions inférieures à 2 mm

Quelques analyses complémentaires ont été réalisées sur les fractions fines dans le but de confirmer les résultats de la granulométrie.

- calcimétries (fig. 22 et 30). Environ 300 g de sédiment séché à l'étuve sont attaqués à l'acide chlorhydrique jusqu'à la destruction complète des carbonates. Le sédiment est ensuite lavé plusieurs fois puis séché et pesé. La différence de poids correspond à la quantité de calcaire dissoute. Des analyses parallèles au manocalcimètre permettent de vérifier qu'il s'agit uniquement de $\text{CO}_3 \text{Ca}$. Les résultats sont présentés sur la figure 22. A titre de comparaison nous avons représenté la moyenne de 14 calcimétries effectuées sur les sables limoneux (couche Si) qui constituent le substrat de la couche III (voir étude plus loin). La bande représente la moyenne \pm l'écart-type des 14 valeurs.

- analyse des argiles. Les argiles ont été analysées par diffractométrie X pour les couches à vestiges magdaléniens.

- morphoscopie des grains de quartz. La morphologie des grains de quartz a été observée sur une quinzaine d'échantillons provenant de la zone sableuse, et pour la fraction (0,4 - 0,16). Nous avons distingué quatre catégories de grains :

- grains subanguleux luisants : grains anguleux ayant acquis un léger lustrage fluvial ;
- émoussés - luisants ;
- ronds - mats ;
- grains à façonnage glaciaire : il s'agit de grains présentant des cassures très fraîches plus ou moins conchoïdales. Les arêtes ont un aspect écaillé qui suggère un écrasement (fig. 28). Ces grains sont très fréquents dans le matériel de Pierre-Châtel, nous en avons donc fait une classe particulière. Nos comptages n'ont porté que sur les grains de quartz hyalins.

2) Faciès granulométriques du sédiment inférieur à 10 cm

Les courbes de fréquences (simples et cumulées) sont regroupées en fonction des zones sableuses ou à blocs. Nous les avons superposées pour faire apparaître certains points communs :

a - fréquences simples (fig. 12 et 13)

- un mode mal exprimé dans le domaine des argiles et limons fins ;
- une courbe en cloche très étalée dans les sables, entre 0,01 et 1 mm. Pour certaines couches (Si, III 2), cette courbe est plus abrupte du côté des sables grossiers, ce qui exprime un classement légèrement meilleur. La courbe en pointillés exprime le pourcentage de sables cristallins : le fait qu'en certains points les pourcentages "décalcifiés" soient supérieurs aux pourcentages "naturels" traduit la désagrégation des concrétions formées au sol ;

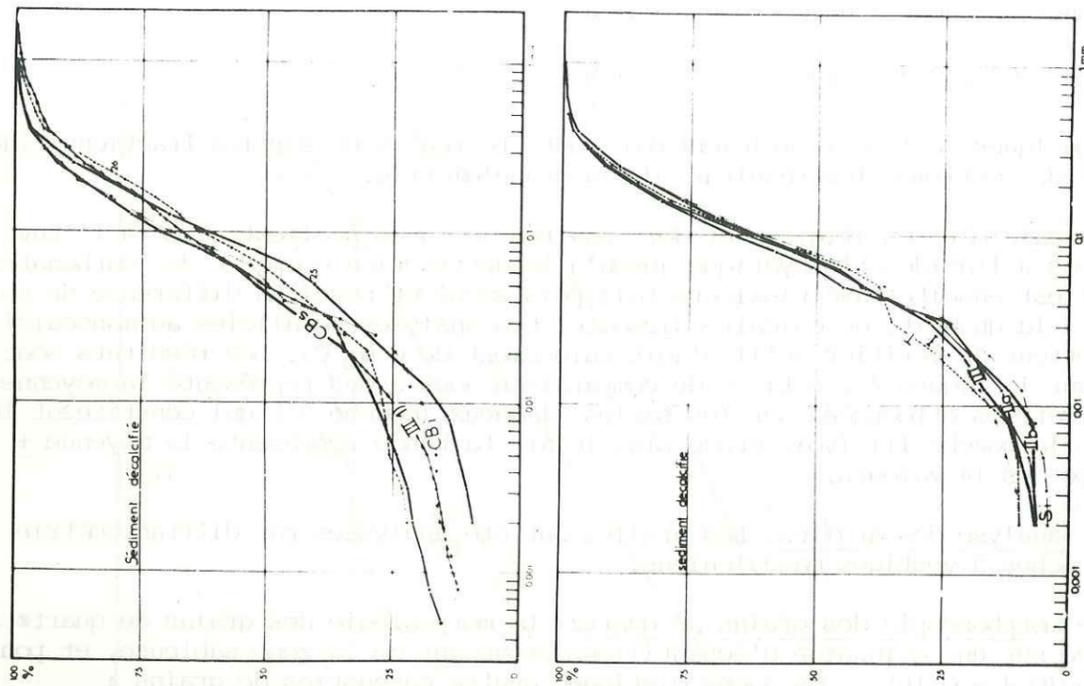


fig 16

fig 17

fig 16 Fréquences cumulées du sédiment inférieur à 2 mm de la zone à blocs : couches III 1, CBI, CBS, VI

fig 17 Fréquences cumulées du sédiment inférieur à 2 mm de la zone sableuse : couches I, T, II a, II b, III 2, Si. Les courbes du sédiment décalcifié sont particulièrement semblables : la matrice est identique d'une couche à l'autre

- une absence de sédiment entre 0,8 et 5 mm. Ce hiatus, qui n'est comblé que pour les couches supérieures en faveur du concrétionnement (IIa, T, I), traduit bien que l'on se trouve en présence de deux ensembles sédimentaires distincts (sables limoneux et fragments de calcaire). Les éléments intermédiaires sont très rares.
- des fréquences plus ou moins importantes dans les cailloux. A noter le palier plus ou moins bien exprimé entre 8 et 25 mm environ : il y a une proportion égale de matériau dans chacune de ces classes. L'aspect en zig-zag des courbes reflète l'imprécision relative de la méthode : l'échelle des ordonnées est très dilatée.

b - fréquences cumulées (fig. 14 et 15)

Ce mode de représentation fait apparaître une "famille" de courbes caractérisées par un palier entre 0,5 et 8 mm. Ce sont les couches V, III 2, IV 1, CBI, Si, II 2, II b. Le décalage vertical des paliers est dû à la plus ou moins grande proportion de cailloux.

Les couches à vestiges magdaléniens et leur substrat immédiat présentent donc des faciès granulométriques très voisins : la phase sableuse semble identique d'une couche à l'autre. L'analyse du sédiment fin a confirmé cette ressemblance.

3) Analyse couche par couche (fig. 12 à 23)

Argiles Rouges (AR). Ce sédiment est constitué par trois fractions :

- une fraction argileuse, composée d'une part importante (60 %) de kaolinite et d'une proportion moindre d'illite. Cette argile représente 40 % du sédiment total, 80 % du sédiment décalcifié inférieur à 2 mm ;
- une fraction limono-sableuse constituée de grains de quartz à morphologie évoluée : la plupart sont émoussés - luisants avec un indice d'arrondi élevé. On observe quelques ronds-mats, surtout pour les grains voisins de 1 mm, et des grains éolisés. Il est intéressant de faire le rapprochement avec le sable quartzique contenu dans l'enduit de goëthite cité plus haut (à propos des parois), et qui présente les mêmes caractéristiques morphoscopiques ;
- une fraction carbonatée (25 % du sédiment global), comprenant des sables et des cailloux. Les cailloux sont soit des fragments de calcaire très altérés (décalcifiés dans la masse) soit des plaquettes de molasse.

Ce sédiment est extrêmement mal classé. Il se distingue nettement de tous les autres sédiments de la grotte des Romains et paraît beaucoup plus ancien. Nous le rapprochons des "argiles sidérolithiques", sédiments tertiaires emprisonnés dans certaines poches karstiques.

Sables grossiers à galets (VI). Sédiment très pauvre en argiles et limons (moins de 10 %) formé de sables grossiers (médiane 0,8) assez bien classés (Hé : 0,8). La fraction grossière est représentée par quelques petits galets d'un calcaire allochtone, quelques blocs et cailloux de calcaire "autochtone", et des plaquettes de grès-molassique. Les fragments de calcaire sont presque tous fortement usés.

Un tel sédiment a pu être déposé par le Rhône mais il pourrait également résulter de ruissellements à l'intérieur du karst. En effet, on trouve des sables analogues dans la grotte des Batteries Basses, plus haut située.

Sables limoneux (Si). Ces sables constituent l'extrême avancée d'un autre ensemble sédimentaire que sont les sables fluviatiles de la grotte des Romains. A l'emplacement du prélèvement (D 9) c'est un sédiment fin, constitué à 36 % de calcaire et 64 % de matériau siliceux (quartz, feldspaths) qui ne contient pratiquement pas de cailloux (10 %). La partie inférieure à 2 mm comporte peu d'argiles (8 %), plus de limons (28 %) et surtout des sables fins (40 %). Le classement est médiocre, avec Qd = 1,4, Hé = 1,2. L'asymétrie est légèrement positive, ce qu'il faut surtout

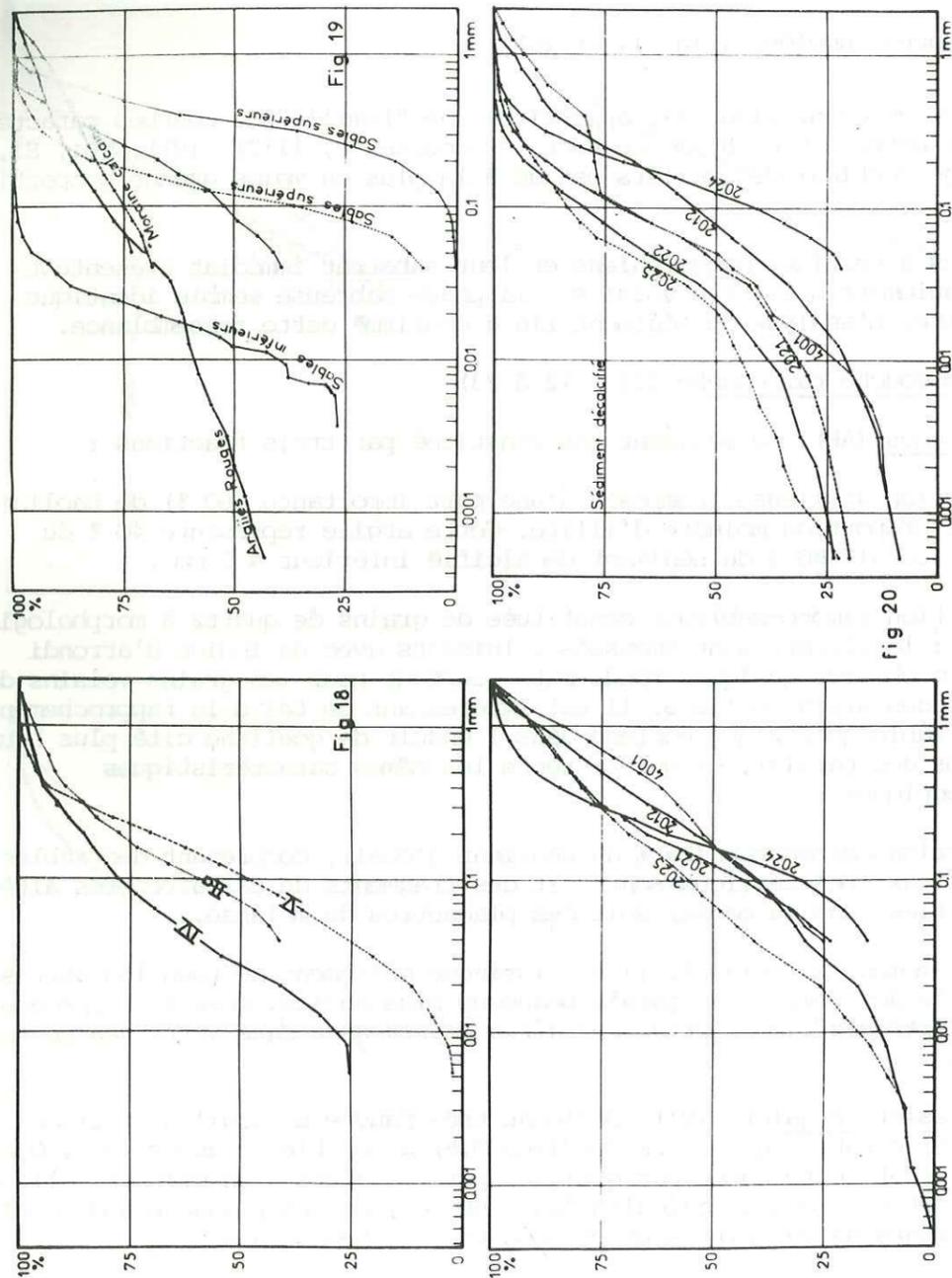


fig 18 Fréquences cumulées du sédiment inférieur à 2 mm. Couches II a, IV, V.

fig 19 Fréquences cumulées du sédiment inférieur à 2 mm. "Moraine calcaire" de Romains I, Sables inférieurs base, Sables inférieurs sommet, Sables supérieurs, Argiles Rouges

fig 20 Fréquences cumulées du sédiment inférieur à 2 mm. Sarrazins II : argiles rouges à galets et blocs (2021, 2022) placages de sables grossiers (2024), cailloutés cryoclastiques (2025) Sarrazins I : sables grossiers (2012) PCV2 : 4001

attribuer au fait que nos courbes de fréquences cumulées ne partent pas de 0. (Les sables sont cumulés à partir des argiles et limons). La courbe du sédiment décalcifié (fig. 17) est légèrement plus redressée. C'est un sédiment typiquement fluviatile. Sa teneur en carbonates se situe exactement sur la moyenne des valeurs trouvées pour tous les sables de la même origine dans la grotte, bien qu'il soit fortement cimenté par de la calcite. Cette dernière a dû cheminer selon des axes précis, indurant préférentiellement les sables plus poreux. L'induration, jointe à la rareté des cailloux, explique le fort pourcentage de "concrétions formées au sol" de la fig. 24. Les sables (Si) ne contiennent pas de cailloux allochtones. Les cailloux calcaires sont très usés.

Un rapide coup d'oeil sur les courbes cumulées des fractions fines (fig. 16, 17, 18) et la granulométrie des fines en fonction des couches (fig. 22, 23) montre que les matrices des couches archéologiques ne diffèrent pas notablement des sables que nous venons de décrire. En particulier les courbes des sédiments décalcifiés montrent qu'il s'agit d'un seul et même matériel. Les indices (médianes, Hétérométrie, Asymétrie) calculées sur ces dernières varient peu.

Dans la zone à faciès sableux nous avons étudié la morphoscopie des grains de quartz sur une vingtaine d'échantillons. Il s'avère que celle-ci varie très peu d'une couche à l'autre, et donne les proportions suivantes : 60 % environ de subanguleux-luisants (faciès fluviatile), 30 % de grains "écrasés" (faciès glaciaire), le reste étant des émoussés luisants très évolués qui sont sans doute hérités d'un autre sédiment, il n'y a pas d'intermédiaires avec les subanguleux luisants.

De même que la morphoscopie des quartz, la composition de la fraction argileuse varie très peu. On a les proportions (très approximatives) suivantes : illite 60 %, kaolinite 30 %, interstratifiés divers 10 %. Ces résultats montrent bien que les matrices sableuses des couches "archéologiques" sont identiques entre elles.

On peut donc envisager deux schémas de sédimentation : soit la matrice des couches archéologiques dérive des sables du type Si, ce que suggérerait l'inclinaison des couches IIA, IIB, etc., soit les sables Si et la matrice des couches ont une origine commune. La première hypothèse semble mieux fondée, mais se heurte au problème des couches à blocs : si l'on admet l'idée des coulées à blocs, on comprend mal comment leur matrice fine pourrait être identique à celle des couches sous-jacentes. Une substitution de matrice paraît peu probable, car un tel phénomène aurait laissé en place des témoins de la matrice primitive. La seconde hypothèse se fonde sur l'existence dans une partie plus haute du karst, de sables qui ressemblent beaucoup à ceux de la grotte des Romains. Nous reviendrons sur ce problème dans la suite de l'exposé.

Sables limoneux à cailloux (couche V). La partie fine de cette formation est encore identique aux sables Si. Stérile en vestiges humains, elle s'en distingue par plusieurs points :

- elle contient une proportion notable de cailloux et de blocs (33 %) ;
- parmi les éléments supérieurs à 1 cm, 15 % sont allochtones, parmi eux quelques galets ;
- le pourcentage de sables grossiers sur sédiment décalcifié est plus important ;
- elle ne présente aucun litage.

La proportion de cailloux "usés" est forte (50 %), le reste du matériel calcaire étant des "non usés" ou des "altérés avec une face fraîche" c'est-à-dire des cailloux brisés par le gel après leur altération. Dans le matériel grossier on dénote quelques concrétions formées au sol et quelques débris de stalagmites.

La couche V semble s'être déposée par ruissellement lent ; peut-être remanie-t-elle les éléments d'une ancienne coulée dont il ne resterait que les blocs et cailloux.

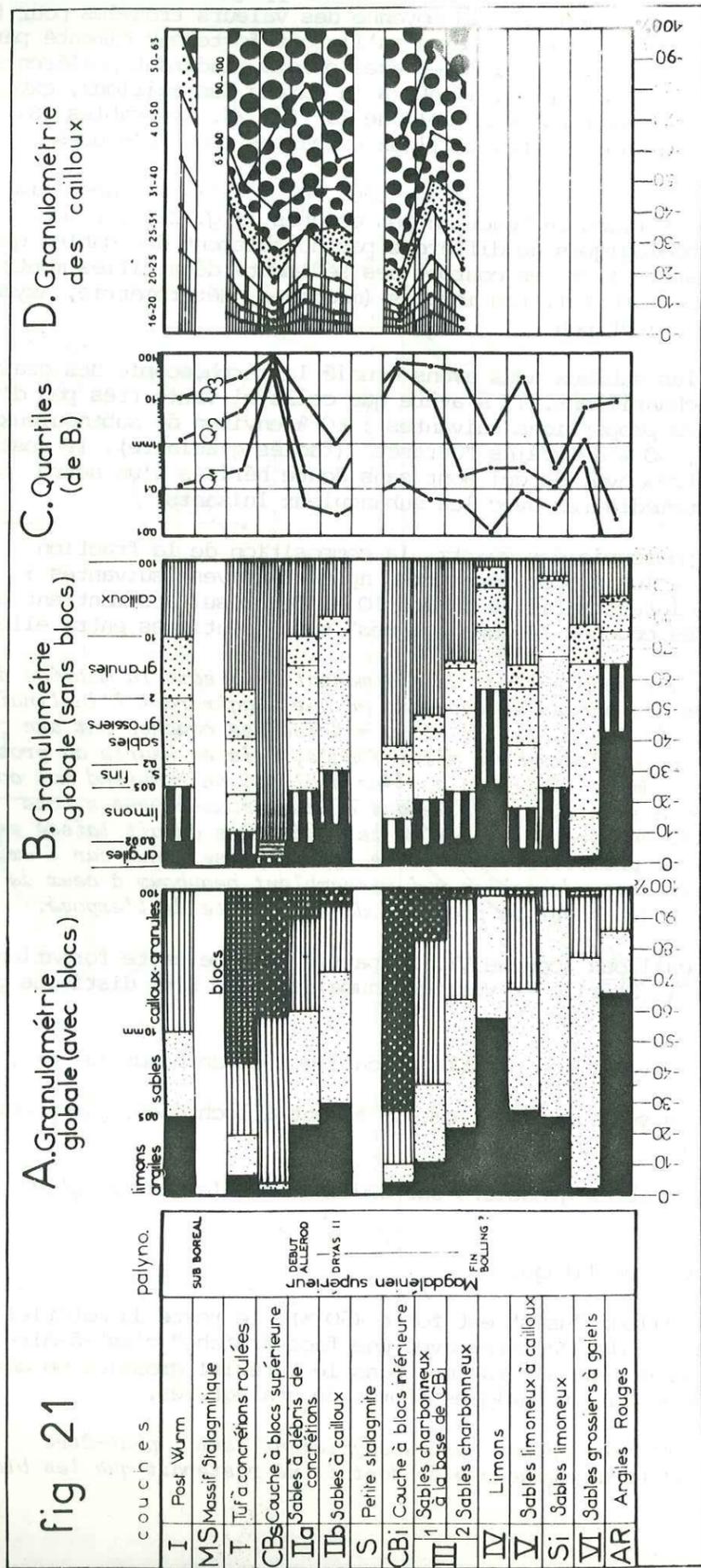


fig 21

(A et B) : Variation de la granulométrie globale (avec ou sans blocs) selon les couches. Un figuré plus clair a été adopté pour les couches très concrétionnées : leur pourcentage de blocs correspond à une bréchification.
 (C) : Variation des quartiles selon les couches.
 (D) : Granulométrie des cailloux selon les couches : pourcentages calculés, après tri, sur les fragments de calcaire

Limons (couche IV). Formation pratiquement sans cailloux, la couche IV est constituée à 60 % de limons et d'argiles. Ces matériaux fins sont mal classés (Qd 2,5, $Hé$ 1,5 sur sédiment décalcifié). La teneur en carbonates est voisine de celle des sables Si. Cette lentille fine a dû être déposée par un ruissellement lent, remaniant les matériaux du voisinage immédiat.

Sables charbonneux (couche III2). Ces sables qui contiennent les plus anciens vestiges magdaléniens de la grotte se distinguent des sables (Si) par l'abondance en cailloux (33 %) et blocs (3 %). Parmi les cailloux, les éléments allochtones sont nombreux (35 %) mais en ce point l'influence de l'homme n'est certainement pas négligeable. La présence de quelques fragments de stalagmites (13 %) montre que le plafond devait être concrétionné au moment du dépôt de la couche. L'analyse de cailloux calcaires a montré que presque tous présentaient au moins une face fraîche (fig. 25). Les plaquettes gélives sont peu nombreuses, l'ensemble des plaquettes (épaisses + minces + gélives) atteint 53 %. La granulométrie des cailloux (fig. 21) montre la dominance des cailloux de grande taille. Les éléments de taille moyenne (40 mm) sont également représentés. Ce sédiment s'est formé dans des conditions froides. Le froid est responsable d'un léger délitage du plafond et du façonnage des cailloux.

Sables charbonneux à la base de CBI (couche III1). Cette formation qui n'est pas une couche au sens chronologique du terme constitue un intermédiaire entre III2 et CBI. Il n'est donc pas possible d'interpréter son analyse sédimentologique en fonction du mode de dépôt. Elle présente certaines différences avec la "couche à blocs inférieure", différences qu'il faut attribuer au mélange du faciès "blocs" avec un substrat fin (qui est la couche IV). La fréquence des blocs et cailloux est moindre (17 et 50 % au lieu de 73 et 60 %, fig. 21 A et B). Par ailleurs dans les cailloux calcaires, le pourcentage de cailloux usés est moindre qu'en CBI. La matrice sableuse révèle une hétérométrie plus forte (Qd = 2, $Hé$ = 1,4 sur sédiment décalcifié) et une teneur en argiles et limons légèrement supérieure.

Couche à blocs inférieure (CBI). Formée à 73 % de blocs, cette couche constitue à nos yeux la bordure d'une coulée qui se serait avancée dans l'axe de la grotte. Deux arguments sédimentologiques étayent cette interprétation : d'une part le fait que le plafond au-dessus de ces dépôts ne présente aucune trace de cryoclase importante : la paroi est plutôt profondément corrodée et porte les placages de goethite que nous avons décrits plus haut et qui sont certainement anciens. Les blocs ne peuvent donc pas provenir du plafond de la grotte des Romains. D'autre part, on trouve parmi les cailloux un pourcentage d'éléments allochtones (plaquettes de molasse) qui est trop important (20 %) pour être dû uniquement à l'action de l'homme. Nous voyons là un indice de mélange entre un éboulis grossier formé dans une autre partie du karst, et un matériel très différent que nous rapprochons des Argiles Rouges (elles contiennent un très fort pourcentage de fragments de molasse). Il faut mentionner ici que les blocs de CBI portent une patine rose qui n'est pas la patine naturelle de la roche (fig. 24). Par ailleurs, la couche à blocs inférieure ne ressemble pas à un simple éboulis gravitaire : les blocs qui la constituent n'offrent aucune orientation préférentielle comme on s'attendrait à la trouver dans ce cas. Certaines dalles sont redressées à la verticale et traversent toute la couche. Le matériau est trop grossier pour que l'on puisse invoquer l'action du gel devant ce fait. Il faut également voir la disposition topographique de ce dépôt : la pente, évoquée dans le chapitre précédent, et l'étalement du sédiment sur toute la plateforme qui constitue Romains II. Il est possible que la neige ait joué un rôle important dans la mise en place de cette formation : elle aurait permis le cheminement de ces blocs dans le karst, à partir de la surface. Les très vastes dimensions de la cavité rendent cette explication plausible. La couche à blocs inférieure aurait ainsi été très lacunaire après son dépôt, ce qui est peut-être une réponse au problème de la matrice sableuse. Elle se serait mise en place dans une phase ultérieure, par percolation contemporaine de la couche IIb. Vue sous cet angle, la couche à blocs serait donc le témoignage d'une période froide très humide. La couche CBI ne contient pratiquement pas de concrétions. Parmi les fragments calcaires, 50 % sont usés sur toutes les faces, 40 % présentent au moins une face fraîche. Cette coexistence de deux types de cailloux peut sembler illogique : un même agent météorique devrait affecter autant tous les éléments d'une couche : la présence de facettes fraîches provient ici (comme dans les autres couches à blocs, CBs, III1, V) de l'action du gel sur le sédiment. On observe

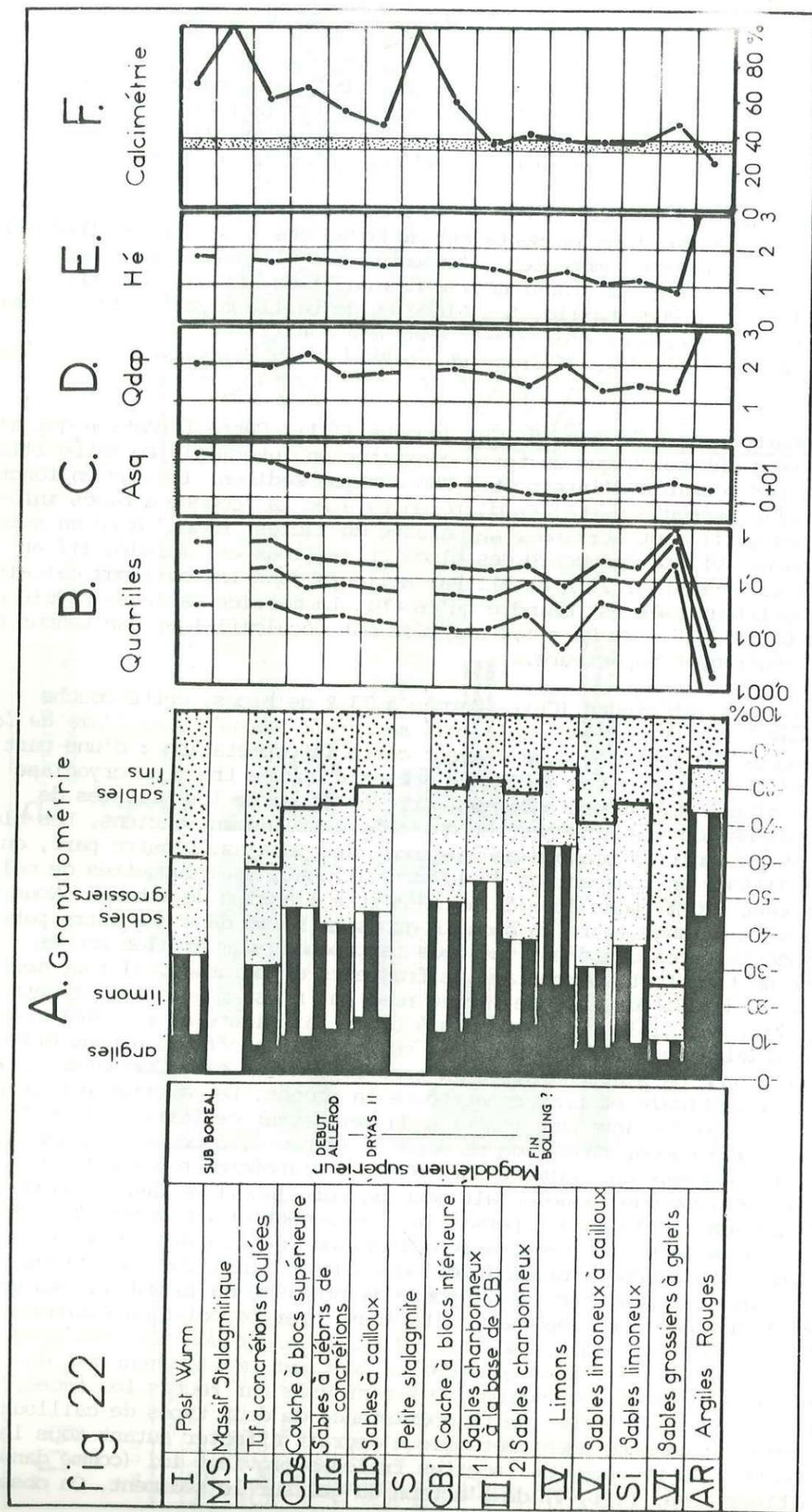


fig 22
Sédiment inférieur à 2 mm : A) granulométrie en fonction des couches. B) quartiles. C) asq. D) Qd. E) hétérométrie de Cailloux. F) calcimétrie d'après les différences de poids avant et après décalcification.

d'ailleurs dans la coupe des blocs éclatés sur place, dont certains sont de taille considérable (fig. 7, carré 11). L'analyse des formes montre que les cailloux fissurés sont un peu plus abondants qu'en III 2 et que la somme des indices de gel (plaquettes + cailloux fissurés) est maximale dans cette couche (65 %). La granulométrie des cailloux montre la nette dominance des "gros" cailloux. Il existe donc une certaine disparité entre le matériel grossier (blocs et "gros" cailloux) et les cailloux plus petits qui résulteraient de la gélivation des blocs.

La couche CBI serait donc le résultat de quatre phénomènes :

- mise en place des blocs sous climat froid très humide ;
- usure des cailloux par des eaux agressives froides contemporaines au dépôt. Il est également possible que l'usure soit antérieure au déplacement
- gélivation des blocs sur place. Il est probable que les trois premières phases sont plus ou moins contemporaines ;
- apport de la matrice par ruissellement lent (pendant que se dépose la couche II b ?).

Petite stalagmite (S.). Nous avons évoqué au chapitre précédent la place de la petite stalagmite au sommet de CBI. Elle implique un court épisode plus tempéré. Cette stalagmite est immédiatement antérieure au dépôt de II b, peut-être en partie contemporaine. Elle n'a pas été affectée par la gélivation qui a brisé les blocs de CBI et qui semble donc bien contemporaine de leur mise en place.

Sables à cailloux (couche II b). Pauvre en blocs (3 %), avec 20 % de cailloux, cette formation est assez hétérogène. La granulométrie des cailloux montre cette disparité, avec dominance de quelques gros éléments sur un matériel plus petit peu abondant. Ces fragments calcaires qui ne constituent que 30 % du sédiment supérieur à 1 cm semblent provenir d'apports accidentels, en partie par le faible délitage du plafond, en partie peut-être par l'homme. Ces cailloux ont un faciès relativement "gélif", avec 60 % d'éléments "ayant au moins une facette fraîche", et 35 % d'éléments "usés". Ces derniers pourraient provenir de la zone à blocs. La couche II b est assez riche en concrétions, avec 3 % de "perles", 23 % de concrétions formées au sol, 27 % de débris de stalagmites. Ces pourcentages indiquent un climat assez tempéré avec gel épisodique. Le refroidissement, succédant à une période tempérée, brise les concrétions qui s'étaient formées en même temps que la petite stalagmite.

Les sables de II b comme CBI sont enrichis en carbonates, ce qui se traduit également par leur moins bon tri (fig. 22). La granulométrie des sables décalcifiés, est encore identique à celle des sables Si.

Sables à débris de concrétions (couche II a). Comme la couche II b, celle-ci est pourvue en cailloux calcaires (25 %). La granulométrie globale (fig. 21 et 13) est perturbée par le concrétionnement. La granulométrie des cailloux montre que les tailles moyennes (40 à 80 mm) dominent. Le degré d'altération est à peu près identique à celui de la couche précédente, de même que les "indices de gel" (somme des plaquettes). Les éléments allochtones sont très rares. Par contre, ce sédiment est particulièrement riche (55 %) en débris de stalagmites qu'accompagnent quelques "perles" et 20 % de concrétions formées au sol. La calcimétrie du sable est plus forte qu'en II a (52 % contre 42 %). On a donc la confirmation d'une ambiance tempérée (concrétionnement) qui comporte des épisodes de gel (froid sec ?) assez violent (délitage des concrétions). D'après la disposition topographique il est possible que les couches II a et II b remanient III 2.

Couche à blocs supérieure (CBs). La proportion de blocs (40 %) est moins importante que dans CBI. Les cailloux par contre occupent une place nettement supérieure (93 % contre 60 %). Le matériel est donc plus fin que dans la couche à blocs inférieure. La répartition des classes granulométriques dans les cailloux est cependant très comparable : les gros cailloux ont une part importante. Ces cailloux sont usés sur toutes leurs faces pour la majorité. 15 à 20 % de cailloux à facettes fraîches attestent que la formation a été quelque peu gélivée après sa mise en place.

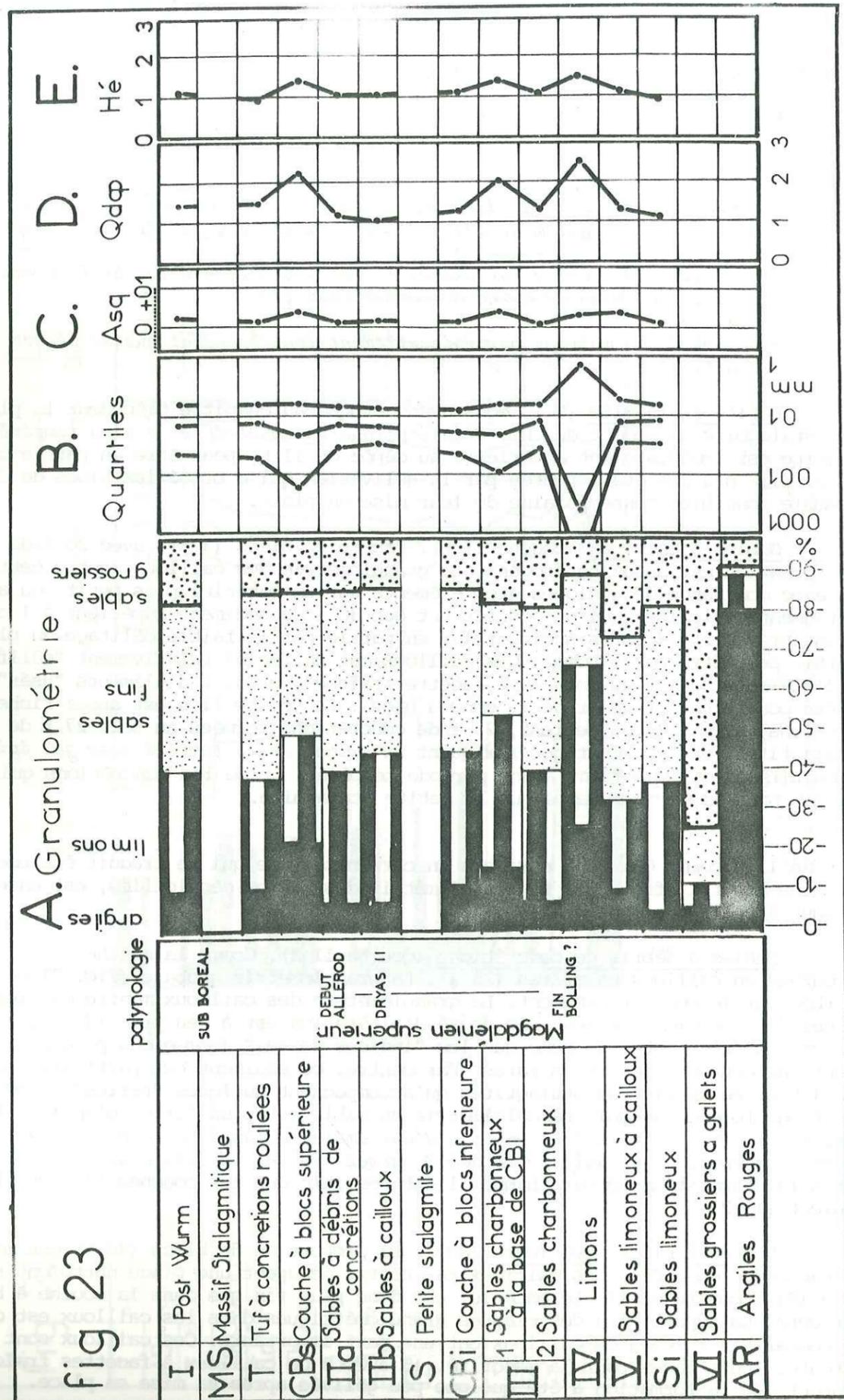


fig 23 Sédiments décalcifiés inférieurs à 2 mm : A) granulométrie. B) Asq. C) Qd.
D) hé. E) série de Cailleux

La courbe des indices de gel (plaquettes) fig. 25 marque un minimum à l'emplacement de CBS. L'amenuisement du matériel s'est donc effectué avant sa mise en place dans le gisement. Le mécanisme d'apport a certainement été le même que pour CBI (on remarque 20 % d'éléments "allochtones"). Il faut noter que la couche à blocs supérieure est restée dans son état original : les interstices entre les blocs n'ont pas été remplis par du sédiment fin, bien qu'une certaine quantité de débris de concrétions se soit infiltrée (surtout au sommet de la couche). La matrice sableuse se distingue des autres couches par sa forte teneur en argile (22 %). Le classement du sédiment fin décalcifié est particulièrement mauvais ($Qd = 23$, $Hé = 1,4$). La fraction fine est très calcaire (64 %). Nous interprétons ces données comme résultant d'un nouvel épisode froid très humide.

Tuf à concrétions roulées (T). Ce sédiment très carbonaté marque l'installation définitive d'un climat tempéré. L'humidité était encore forte, comme l'atteste la forte proportion de "perles" dans le sédiment (26 %). Un ruissellement faible devait permettre l'apport de sables fluviatiles dans le tuf en formation. Par ailleurs, le délitage des concrétions continuait plus faiblement (20 %) de concrétions de plafond.

Massif stalagmitique (MS). Nous n'avons pas effectué d'analyses sur cette formation. Il serait cependant intéressant de soumettre l'ensemble des concrétions de Pierre-Châtel à une analyse plus poussée.

C. Phases sédimentaires et climats (fig. 29)

L'évolution sédimentaire de Romans II se résume ainsi :

- 1) "Vidange" de la grotte avec érosion des Argiles Rouges.
- 2) Dépôt des sables grossiers (VI) par ruissellement.
- 3) Dépôt des sables (Si) dans toute la grotte (dépôt fluviatile). 1) 2) et 3) marquent la dernière phase glaciaire.
- 4) Erosion des sables, creusement d'une zone déprimée (thalweg) en D 13, 14. Phase humide froide.
- 5) Première coulée à blocs (couche V). Très froid, humide.
- 6) Dépôt de limons (couche IV). Froid humide.
- 7) Installation de la couche III à vestiges magdaléniens. Froid peu humide.
- 8) Deuxième coulée à blocs (CBI) remaniant partiellement III. Très froid et humide.
- 9) Formation de la petite stalagmite. Episode tempéré humide.
- 10) Dépôt de la couche II b. Infiltration de sables dans CBI. Remaniement partiel de III ? Fortes variations thermiques, avec périodes tempérées humides et épisodes trois secs.
- 11) Dépôt de la couche II a. Fortes variations thermiques avec froid plus accentué.
- 12) Troisième coulée à blocs. Phase très froide humide.
- 13) Formation du tuf à concrétions roulées, sous des conditions très humides et tempérées.
- 14) Formation du massif stalagmitique. Tempéré humide.

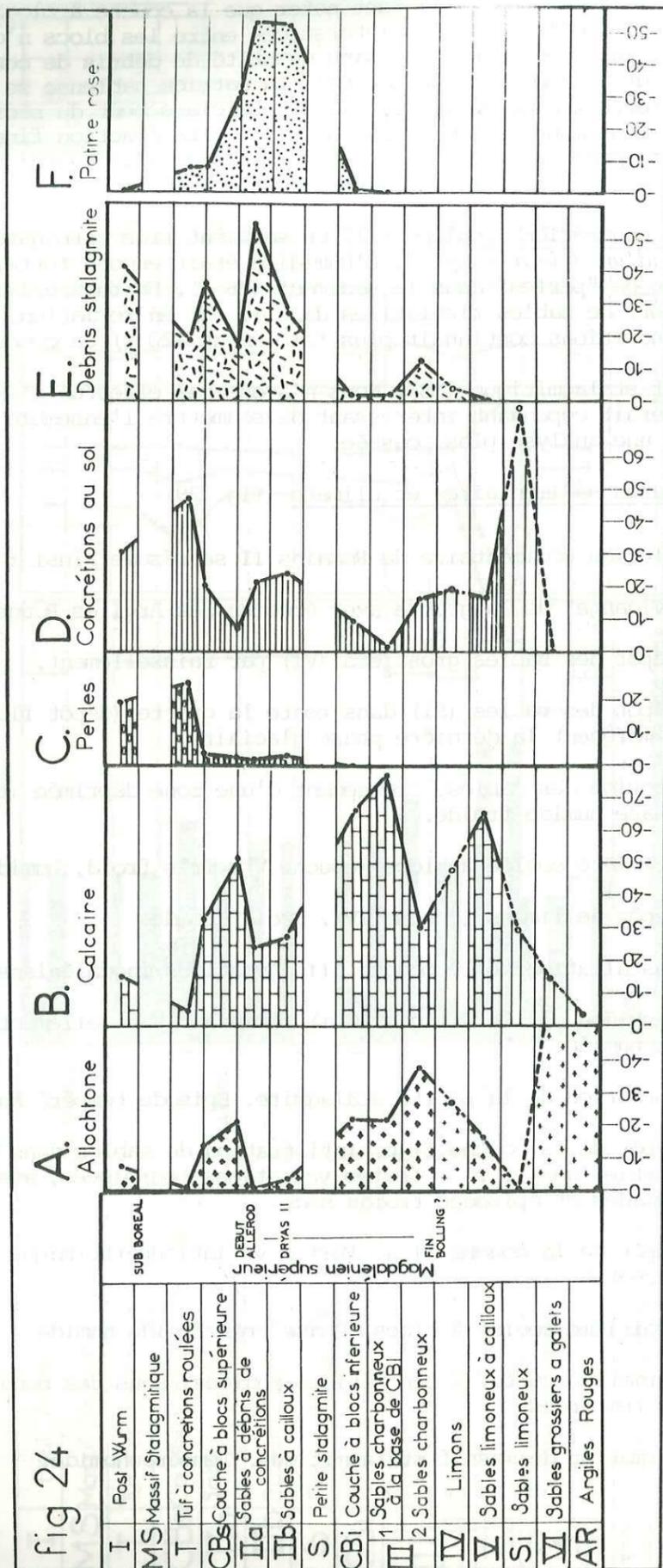


fig 24

Comptages pétrographiques (pourcentages numériques).

- A) éléments franchement allochtones. B) fragments calcaires. C) "perles".
 D) concrétions formées au sol. E) débris de concrétions tombés du plafond.
 F) éléments à patine rose.
 En pointillé, avec un figuré plus clair : quantités appréciées à partir d'un échantillon insuffisant

Nous ne chercherons pas à faire coïncider "à tout prix" ces résultats avec les phases palynologiques classiques. Il faut cependant insister sur le caractère très "humide" de tous ces dépôts, à l'exception peut-être de la couche III et dans une moindre mesure de II a. Des analogies nous sont suggérées par la comparaison avec la couche 9 de Saint-Thibaud-de-Couz (1). La dernière phase froide pourrait correspondre au Dryas III.

III - LE REMPLISSAGE ANTE-MAGDALENIEN DE LA GROTTÉ DES ROMAINS (fig. 30 à 34)

A. Sables

Une grande partie de la grotte est encore actuellement occupée par des sables fluviatiles qui ne contiennent ni vestiges d'industrie, ni pollens, ni restes d'ossements. Ils ont donné lieu à une publication (2) qui cherchait à en préciser le mode de dépôt.

Stratigraphiquement, ces sables s'intercalent entre les couches V et VI du remplissage "archéologique", où ils représentent environ 70 cm. Vers l'avant de la grotte (Romains I), cette épaisseur passe à environ 5 m. Les auteurs ont distingué deux ensembles de sables, séparés par une surface d'érosion qui remonte vers l'intérieur de la grotte avec une pente de 20 %. Les "Sables supérieurs" sont dans l'ensemble plus grossiers et présentent des litages entrecroisés très caractéristiques. Le pendage des lits est grossièrement parallèle à la surface d'érosion. Les "Sables inférieurs" comprennent deux parties : la partie supérieure, riche en sables fins, et la partie inférieure riche en limons. (La figure 30 résume les données fournies par l'analyse sédimentologique). Dans la partie supérieure, les lits plus ou moins fins ont des épaisseurs de quelques décimètres et des pendages subhorizontaux. On observe quelques figures de surcharge (fig. 31) qui indiquent que le dépôt a été relativement rapide. Dans la partie inférieure, sables fins et limons alternent en lits millimétriques qui rappellent des varves et qu'il faut attribuer aux débordements périodiques du fleuve. Les limons sont très riches en débris de mica (voir les courbes granulométriques fig. 19).

Vus dans leur ensemble, ces sables révèlent donc une augmentation progressive de la compétence du courant qui a présidé à leur dépôt ; en même temps le lit du cours d'eau s'est surélevé. Peut-être la topographie de la grotte a-t-elle joué un rôle dans le "piégeage" des sédiments. Il semble que les sables soient plus fins d'une façon générale, vers le fond de la cavité. La surface de contact entre les deux ensembles sableux recoupe la surface topographique vers le fond de Romains II où nous l'avons observée (fig. 3). Le gisement préhistorique repose donc à la fois sur les deux ensembles. Dans la coupe D, E il s'agit des sables inférieurs (Si). On ne retrouve pas à cet endroit les dépôts varvés qui semblent localisés vers la sortie.

Les conditions topographiques qui ont permis le dépôt de ces sables à quelque 60 m au-dessus du Rhône actuel posent un problème qui n'a pas encore été résolu. Il a été proposé (note 2) de les rattacher aux terrasses de la région de Cressin et de Vongnes (à l'amont).

(1) Bintz P. Communication orale.

(2) Bocquet A., Desbrosse R., Perriaux J., Uselle J.P., (1970) Etude du remplissage de la grotte des Romains à Virignin (Ain). Extrait de la Revue de Géographie Alpine, tome LVIII, fasc. 4.

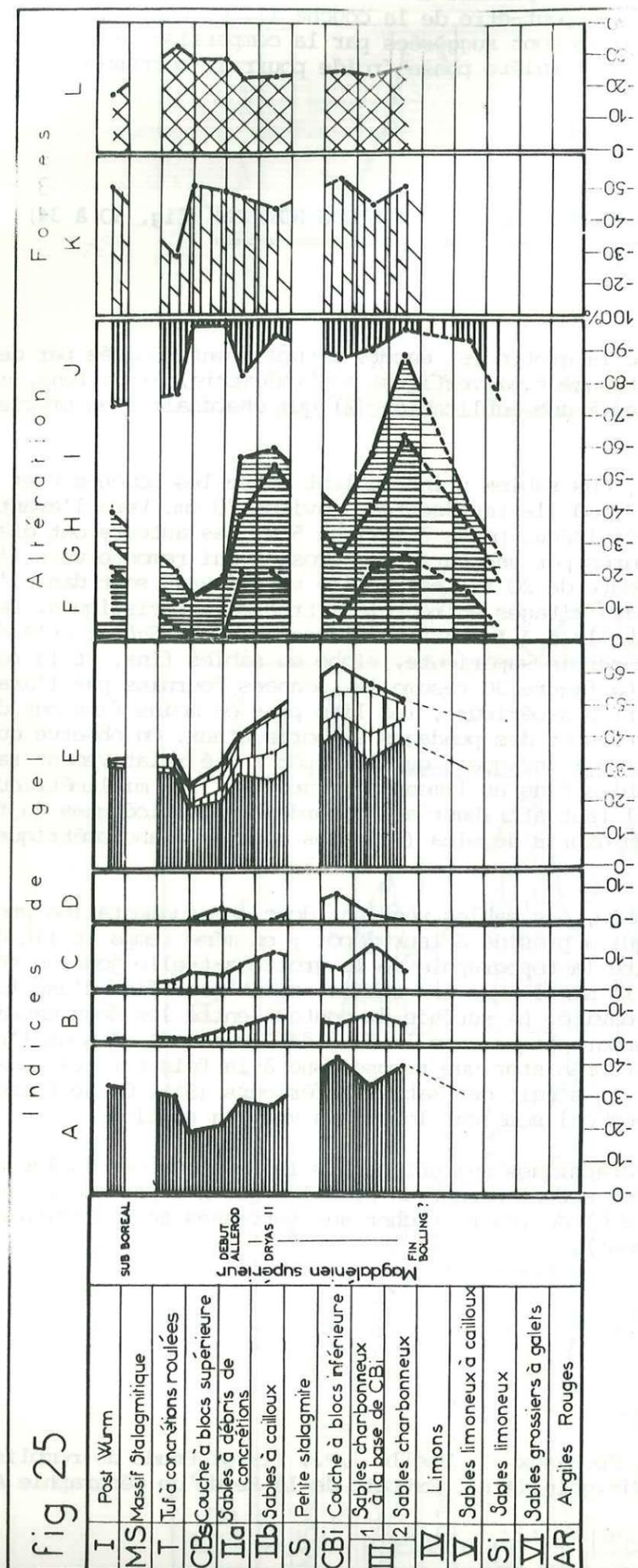


fig 25

Formes et états de surface.

A) plaquettes épaisses, B) plaquettes minces, C) plaquettes gélives, D) cailloux fissurés par le gel, E) somme des indices de gel, F) cailloux non altérés, G) cailloux usés avec une cassure fraîche, H) cailloux corrodés avec une cassure fraîche, I) cailloux usés, J) cailloux corrodés, K) prismes, L) polyédres.
En pointillés : quantités appréciables sur échantillon insuffisant

B. "Moraines" (fig. 19, 31, 34)

Un petit affleurement de sédiments morainiques a été dégagé au cours des fouilles à l'aplomb du porche, un peu vers l'intérieur de la grotte. Il s'agit de blocs et de galets très hétérogènes, liés par une matrice argilo-sableuse indurée. Ces sédiments reposent d'une part sur le seuil rocheux qui marque le retour de la paroi en cet endroit, d'autre part sur les sables qu'ils recouvrent par discordance. Nous avons cru pouvoir distinguer deux types de moraines :

- une "moraine cristalline" remaniant des galets de quartzite, cristallin et calcaire de faciès très allochtone ;
- par-dessus, une "moraine calcaire", remaniant surtout des blocs émoussés de calcaire.

Le comptage pétrographique effectué sur les éléments entre 1 et 10 cm (fig. 31) confirme cette distinction. Cependant, il peut s'agir d'une hétérogénéité locale sans importance. Il a été suggéré (note 2) que cette formation provienne de placages morainiques qui seraient tombés du haut de la falaise après le retrait glaciaire. En effet, il existe d'autres exemples de mobilisations de ce type. Il faut cependant signaler que les sables sous le matériel morainique présentent des structures de tassement, manifestement dues à une surcharge : micro-failles à rejet vertical dont l'importance diminue quand on s'éloigne du contact. S'agirait-il d'une surcharge glaciaire ?

C. Sables remaniés et coulées à blocs

Contre la paroi est de Romains I nous avons pu observer deux coupes perpendiculaires à l'axe de la grotte (fig. 3). Ces coupes montrent des sédiments hétérogènes qui reposent par discordance sur les sables et qui n'ont apparemment pas d'équivalent dans le remplissage de Romains II. Nous en décrirons brièvement la stratigraphie.

1) Description de la stratigraphie

a - Coupe A' B' située vers la sortie (fig. 32). De bas en haut :

- couche 5 sables fins compacts mal lités à petites passées argileuses. La finesse du sédiment indique qu'il s'agit des Sables Inférieurs.
- couche 4 b sables hétérogènes gris remaniant des fragments centimétriques d'argile plus compacte. Forme un petit chenal au sommet de 5.
- couche 4 a lentille fine (5 à 10 cm) de sables hétérogènes qui contiennent des galets centimétriques, des fragments d'argile et quelques rares cailloux anguleux. A la base, un liseré discontinu de sable limoneux.
- couche 3 sables fins avec, à intervalles réguliers, des lits centimétriques de limons. Epaisseur 40 cm environ. Ce sédiment a subi des compressions tant verticales que latérales qui ont provoqué des plis et des load-cast.
- couche 2 blocs et cailloux anguleux de calcaire local, enrobés dans une matrice sableuse. Ces matériaux occupent un load-cast à l'intérieur de 3. (largeur : 1,5 m environ). A leur sommet, ils sont recouverts par un fin liseré de limons.
- couche 1 cailloux et blocs de taille parfois importante (1 m) liés par une matrice limoneuse beige sans aucun litage. Epaisseur : 1 à 2 m. Vers la paroi, la matrice est orangée. Les blocs ne présentent aucune orientation préférentielle dans la formation.

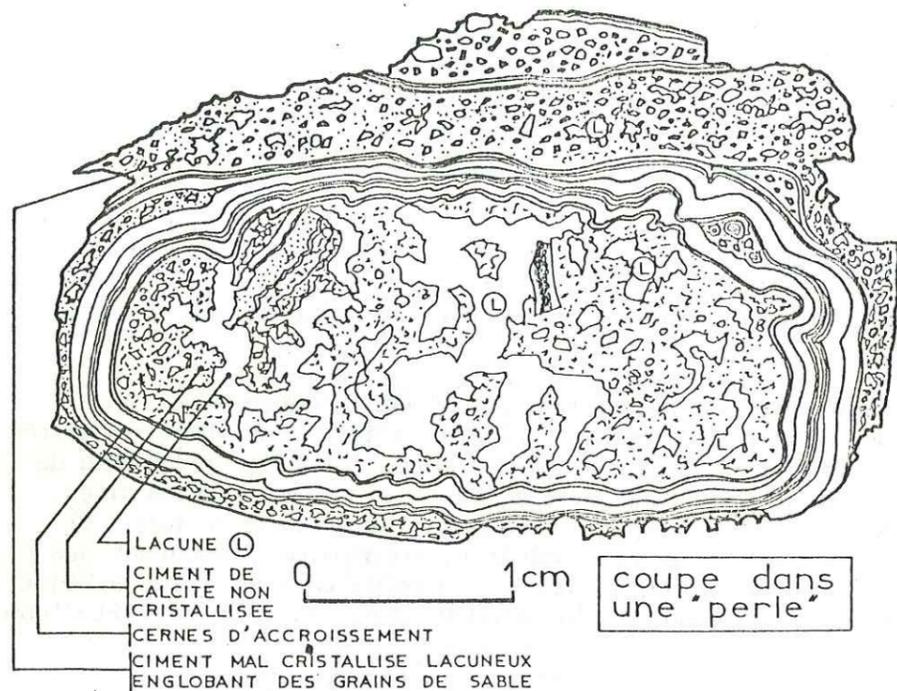


fig 26 Section dans une "perle". On remarque les alternances des lits de calcite avec des lits de grains cimentés, selon l'agitation du milieu

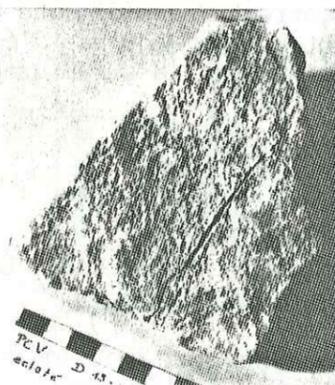
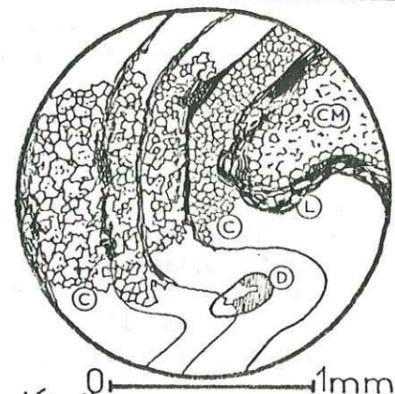
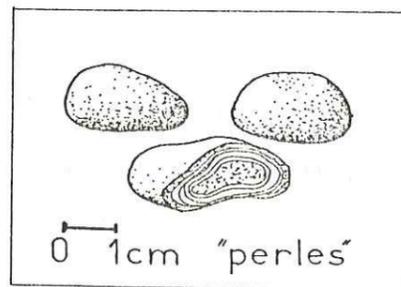
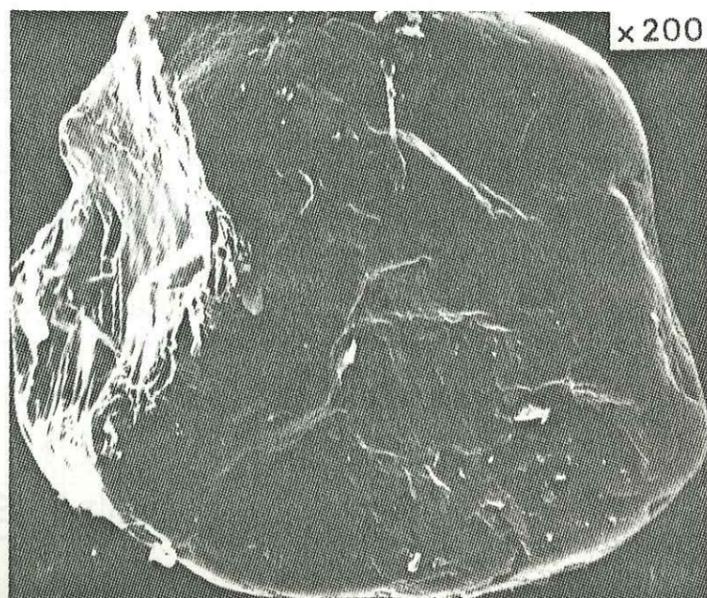
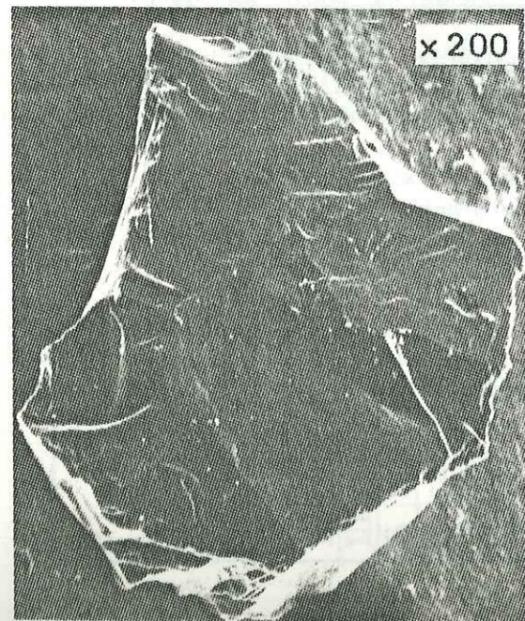


fig 27 Caillou fissuré par le gel

fig 28 Deux échantillons de grains de quartz à façonnage glaciaire. Les arêtes sont écrasées, les cassures sont conchoïdales, très fraîches (photo L. Basq, C.E.N.G. Grenoble)



détail des cernes d'accroissement

(C) CRISTAUX DE CALCITE
(L) LITS DE LIMONS
(D) DEBRIS DE ROCHE
(CM) CIMENT MAL CRISTALLISE

b - Coupe C' D' située plus vers l'intérieur de Romains I (fig. 33)

De bas en haut :

- couche 5 sables fins compacts, faiblement lités. (Sables Inférieurs). Figure de sand-dyke (?) à l'extrémité droite de la coupe.
- couche 4 son allure hétérogène en fait l'équivalent des formations 4 de la coupe A' B'. Elle repose sur les Sables Inférieurs qu'elle ravine. On peut distinguer plusieurs formations :
- couche 4 f sables à cailloux calcaires et fragments d'argile.
- couche 4 e sables faiblement lités comprenant de petites loupes d'argile replissées irrégulièrement.
- couche 4 d sables très riches en fragments "d'argile consolidée". Litage faiblement marqué.
- couche 4 c sables limoneux jaunes dont l'hétérogénéité est particulièrement accentuée. On y observe, outre des "fragments d'argile", des petits paquets (2 à 20 cm) à forme arrondie constitués par un sable différent, plus grossier et gris bleuté. Il est difficile de concevoir le mode de formation de telles structures à moins de penser que ces paquets de sable aient été transportés et déposés à l'état gelé. Peut-être s'agit-il d'une coulée liée au gel-dégel. Le sommet de cette formation est souligné par un liseré d'argile discontinu.
- couche 4 a les formations 4 sont limitées entre elles par des surfaces d'érosion. Elles sont recouvertes par des sables plus grossiers à fragments calcaires et petits galets que nous rapprochons de la formation 4 a de la coupe A' B'. La couche 4 a est affecté par des figures de surcharge très marquées.
- couche 2 blocs et fragments de calcaire local liés par une matrice sableuse, et remplissant un load-cast à l'intérieur de 4 a.
- couche 1 blocs liés par une matrice argilo-sableuse. Selon la couleur de la matrice nous distinguons :
- couche 1 a matrice gris-beige comparable à celle de la formation 1 de la coupe A' B'.
- couche 1 b matrice orangée comme celle qui affleure en A' B' près de la paroi.
- couche 1 c matrice rouge foncé, remaniant des paquets d'Argiles Rouges ayant conservé leur structure prismatique.

Il semble que ces trois formations à blocs se recouvrent avec des rapports de ravinement : chacune a partiellement remanié la formation précédente.

2) Interprétation

Les formations précédentes se sont déposées dans un chenal creusé dans les Sables Inférieurs et longeant la paroi est de Romains I. La formation de ce chenal suppose que les eaux fluviales s'étaient déjà retirées de la grotte et que des ruissellements arrivaient par l'intérieur du karst. Par intermittence, le chenal se remplissait, puis les dépôts étaient à nouveau ravinés par le ruissellement. L'extrême hétérogénéité du matériel sableux laisse à penser qu'il n'a pas été transporté sur des grandes distances. Ces couches témoignent certainement de la "vidange" brutale de la grotte. Ces sables proviennent peut-être de Romains II mais peut-être aussi de plus haut. La présence de nombreux fragments d'argile prouve qu'ils étaient bien lités à l'origine. Leur faciès évoque des conditions périglaciaires avec des dégels brusques

couches		INDUSTRIE	VESTIGES HUMAINS	TRES FROID	FROID	TEMPERE	TRES HUMIDE	HUMIDE	SEC	évènements sédimentaires
I	Post Würm		XXXXX							
MS	Massif Stalagmitique	SUB BOREAL								
T	Tuf à concrétions roulées									perles
CBs	Couche à blocs supérieure	DRYAS III?								coulée
IIa	Sables à débris de concrétions	DEBUT ALLEROD	XXXX							transport de sables et délitage des concrétions.
IIb	Sables à cailloux	DRYAS II	XXXX							concrétionnement
S	Petite stalagmite									coulée
CBi	Couche à blocs inférieure		X							
III 1	Sables charbonneux à la base de CBI	Magdalénien supérieur	X X							peu de dépôts
III 2	Sables charbonneux		XXXX							
IV	Limons	FIN BOLUNG ?								dépôts très fins
V	Sables limoneux à cailloux									coulée érosion dépôts fins
Si	Sables limoneux									dépôts grossiers érosion
VI	Sables grossiers à galets									
AR	Argiles Rouges									

fig 29 Tableau récapitulatif des phases climatiques dans le remplissage de Romains II

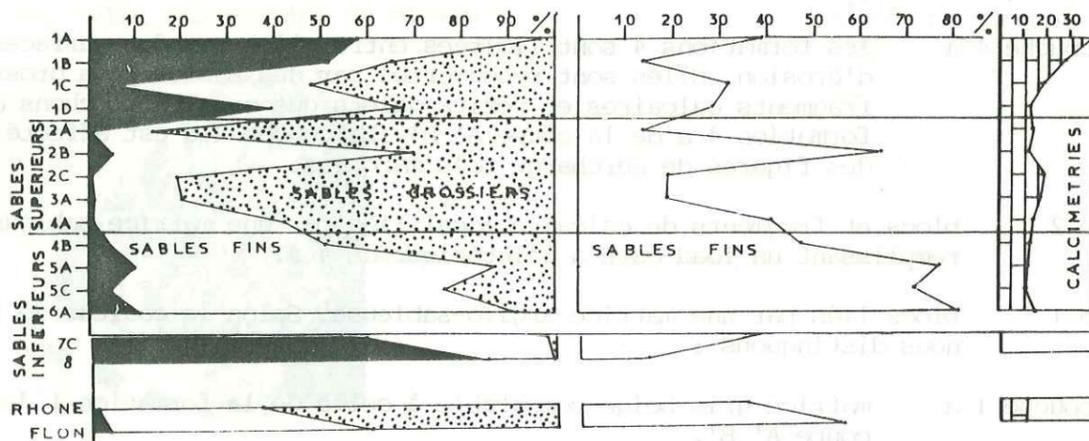


fig 30 Granulométries et calcimétries des Sables fluviatiles (d'après A. Bocquet, R. Desbrosse, J. Perriaux, J.P. Uselle, 1970)

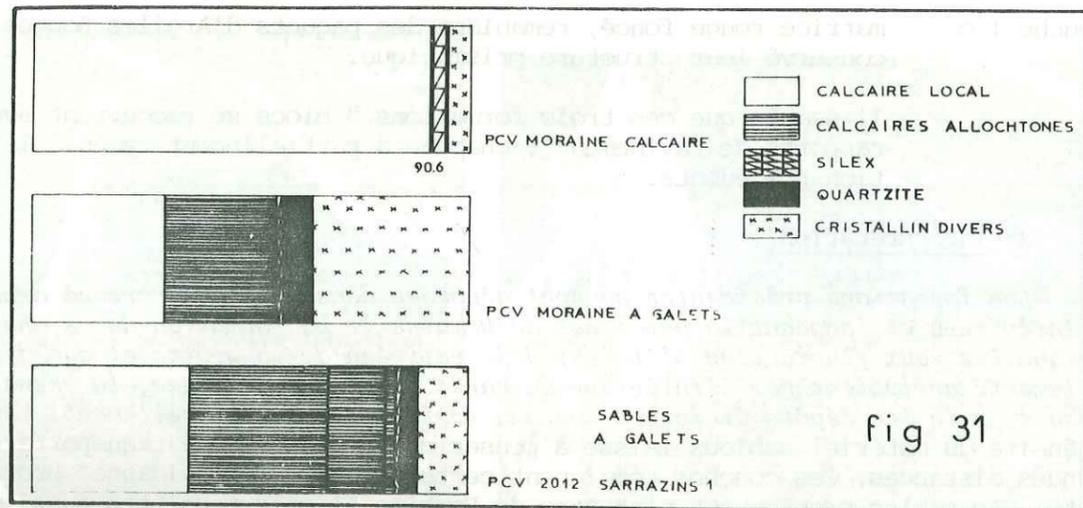


fig 31 Comptages pétrographiques effectués sur les éléments entre 1 et 10 cm. On voit la nette différence de composition entre la "moraine calcaire" et la "moraine cristalline" (moraine à galets)

libérant de grandes quantités d'eau (sol en partie gelé).

A un instant donné, des écroulements de blocs se sont produits à partir de la paroi en certaines parties de la grotte : en Romains I, des blocs sont tombés sur le sédiment encore hydroplastique du chenal, provoquant la formation de load-casts. Dans les parties plus hautes de la grotte, ces blocs se seraient mélangés aux sédiments existants (sables, argiles) pour donner naissance à des coulées de boue qui auraient cheminé dans la grotte pour venir recouvrir les sédiments du chenal. Il faut noter la mobilisation progressive des Argiles Rouges dont la forte pigmentation domine dans les dépôts supérieurs. Ces coulées à blocs n'ont pas laissé de vestiges dans la coupe D, E de la fouille (Romains II). Cependant, dans la partie sud du gisement, la couche V repose sur des blocs anguleux à forte patine rouge. Il est vraisemblable qu'il s'agisse là du sommet des coulées boueuses.

Le remplissage "anté-magdalénien" de la grotte des Romains reflète donc deux grandes phases :

Une phase plus ancienne, pendant laquelle des dépôts fluviatiles "calmes" se mettaient en place dans la grotte. Le lit du fleuve se réhaussait progressivement. Cette phase sédimentaire se termine avec l'enfoncement sans doute assez rapide du fleuve dans les derniers stades de la décrue glaciaire.

Une phase plus récente pendant laquelle s'effectuaient d'importantes mobilisations de sédiments. Cette phase se termine par la mise en place des coulées de blocs qui assurent un lien avec la sédimentation contemporaine des Magdaléniens.

Nous avons résumé la stratigraphie et les différents évènements sédimentaires dans la figure 34 qui représente une coupe très schématique à travers le remplissage de la grotte.

IV - NOTES SUR LA STRATIGRAPHIE DES GROTTES P.C.V. 1, P.C.V. 2, P.C.V. 3, BATTERIES

BASSES (fig. 1)

Les observations que nous avons pu faire dans les grottes immédiatement voisines de la grotte des Romains complètent bien l'étude stratigraphique de celle-ci.

A. Grotte P.C.V. 1

Elle s'ouvre à la même hauteur que la grotte des Romains, quelques mètres à l'amont. Son remplissage a été recoupé par le percement d'un tunnel. C'est une poche karstique basse (3,5 m) et large (15 m). Son remplissage, homogène, est constitué par des Argiles Rouges qui enrobent des cailloux et des blocs calcaires. Les argiles sont indurées et se débitent en petits polyèdres. Les blocs et cailloux sont très altérés par décalcification. Dans la formation on observe quelques zones plus sableuses. Ce sédiment est resté en place parce que le seuil de la grotte est situé plus haut que son fond. C'est un gisement typique des Argiles Rouges que l'on observe fréquemment dans le massif calcaire.

B. Grotte P.C.V. 2 (fig. 35)

Petit couloir rectiligne de section 2 x 2 m environ, qui s'ouvre à l'aval de la grotte des Romains, un peu plus bas dans la falaise. Dans le fond, un sédiment argilo-sableux a coulé par une fissure au plafond, et s'est étalé en cône. Le caractère authentique de cette disposition est attesté par le fait que la formation est recouverte partiellement par une concrétion. Le sédiment présente une courbe granulométrique rectiligne (fig. 20) et un très mauvais classement. Il est très riche en limons (50 % sur sédiment décalcifié). La fraction supérieure à 1 cm est représentée par des galets de nature diverse, et des cailloux de calcaire local.

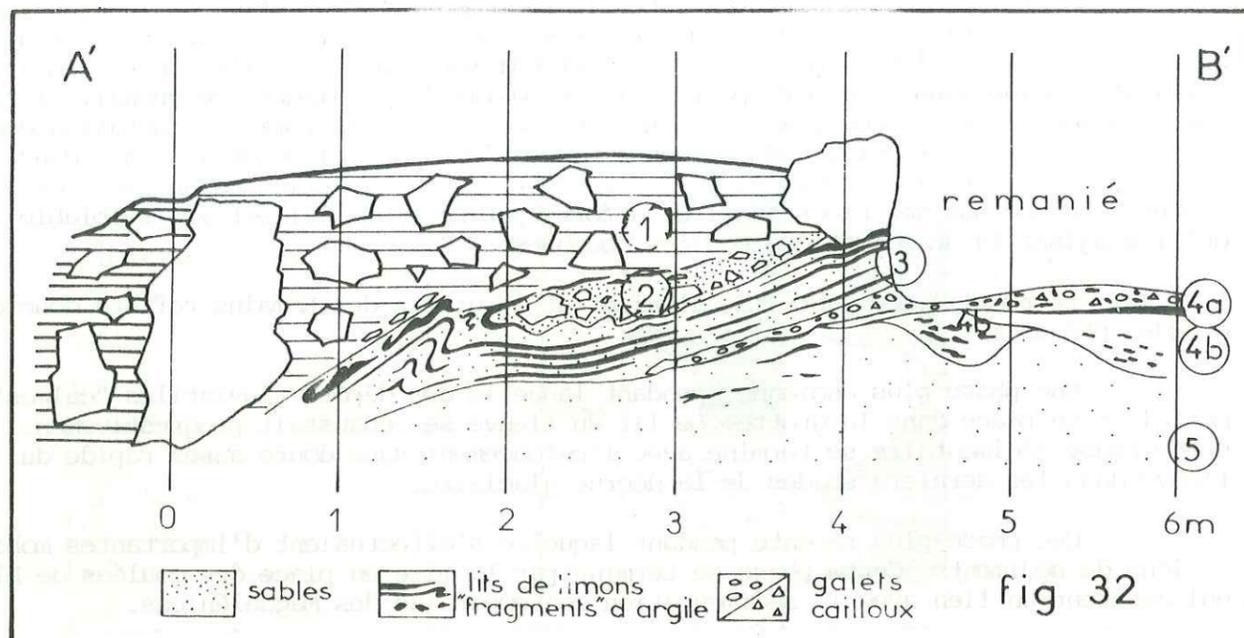


fig 32 Romains I. Schéma de la coupe A'B'

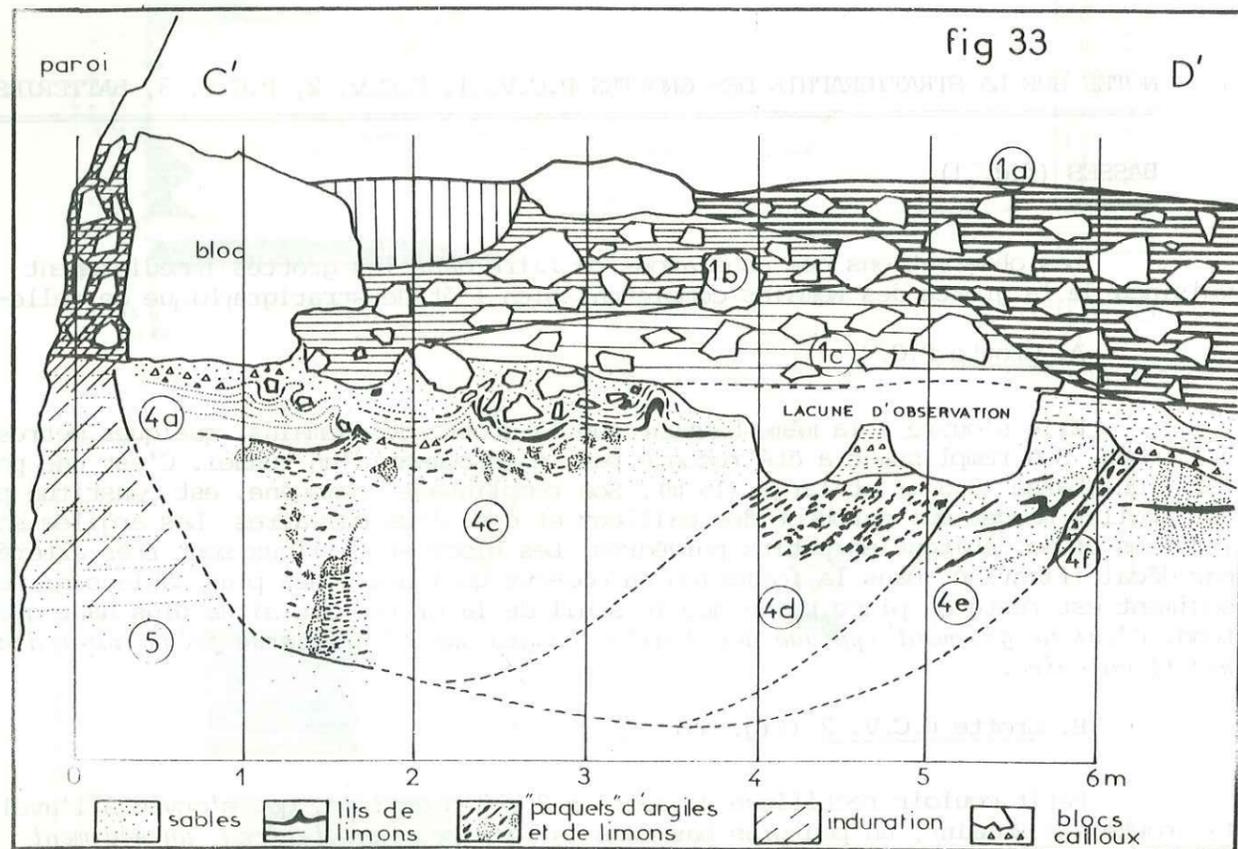


fig 33 Romains I. Schéma de la coupe C'D'

C. Grotte P.C.V. 3 (fig. 36)

Conduit à plafond bas, large de 3 m environ, P.C.V. 3 s'ouvre 50 m en aval de P.C.V. 2, un peu plus haut. Le fond passe à une cheminée ascendante qui est remplie par deux types de matériau provenant de l'intérieur du karst.

1) Sables grossiers, galets et blocs arrondis constituent l'essentiel du remplissage. Les blocs roulés peuvent atteindre 1 m de large ; il ne s'agit pas du calcaire local. Leur disposition est telle qu'ils n'ont pu venir que par l'intérieur du karst. Le sédiment est très compact. Les sables, par leur granulométrie et leur déficit en fines rappellent la couche VI de la grotte des Romains.

Dans la cheminée, cette formation a été en partie érodée.

2) l'espace libre a été occupé par des blocs et des cailloux de calcaire local, sans matrice fine. Vers l'avant de la grotte, blocs et galets sont mélangés.

D. Grotte des Batteries Basses (ou Sarrasins) (fig. 37)

L'ouverture principale de cette grotte est située nettement plus haut que celle des Romains. (Malheureusement, à l'heure actuelle, une topographie précise nous fait défaut). Les dimensions de cette grotte sont comparables à celle des Romains, bien que le plafond soit plus haut. Le conduit principal descend en pente raide (20°) vers l'intérieur de la montagne. A l'exception du fond, toute la grotte est concrétionnée. Les stalagmites "éclatées" sont nombreuses. Dans la partie médiane, il se dépose actuellement de la calcite. Nous distinguons "Sarrasins I" qui est la galerie principale, Sarrasins 2 et 3 qui sont des salles adjacentes, ayant chacune un remplissage propre.

Sarrasins I : Le plus ancien sédiment visible est un sable grossier gris à galets, comparable à la couche VI des Romains (fig. 20) mais moins bien classé. Il forme un lambeau de "terrace" à mi-hauteur de la grotte. Un plancher stalagmitique le recouvre en partie. Cette formation est recoupée par un puissant cône d'éboulis à forte pente, constitué surtout de blocs à formes trappues (polyèdres, prismes). Ce cône a dû se former par écroulement d'une partie du porche. Dans le fond de la grotte, il s'engage sous un éboulis d'un autre type, riche en plaquettes et visiblement alimenté par le délitage du plafond. Cette formation obture totalement le fond de la grotte.

Sarrasins II : Cette salle adjacente s'ouvre au sommet de la grotte principale. Dans l'entrée, on observe la succession suivante, de bas en haut :

- Sables grossiers gris assez bien classés, plaqués contre le rocher (fig. 20).
- Argiles sableuses plastiques rouges, enrobant des blocs et des cailloux calcaires avec de rares galets (épaisseur 20-30 cm). La matrice argileuse provient de la mobilisation d'Argiles Rouges dont on retrouve des fragments indurés intacts lors du lavage.
- Cailloutis cryoclastique assez fin. Epaisseur 30 cm (?).

Sarrasins III : Petite salle adjacente qui s'ouvre à côté du porche principal. Son remplissage a été en partie excavé, mais se trouve conservé dans des brèches de paroi. Il s'agit de sables limoneux, jaunes, bien lités, qui sont très comparables aux sables de la grotte des Romains. Ces sédiments sont surmontés par une couche de galets et de sables grossiers gris. Ceci est remarquable pour deux raisons : d'une part parce qu'à Romains II, on observe la superposition inverse, et d'autre part parce que les sables jaunes sont ici situés plus haut que ceux de la grotte des Romains.

Dans les grottes observées, on trouve donc des sédiments qui ont une ressemblance très nette avec certaines formations de la grotte des Romains :

- des sables limoneux jaunes (Si)
- des sables grossiers (couche VI de Romains II)
- des argiles rouges remaniées (coulées boueuses de Romains I)

fig 34

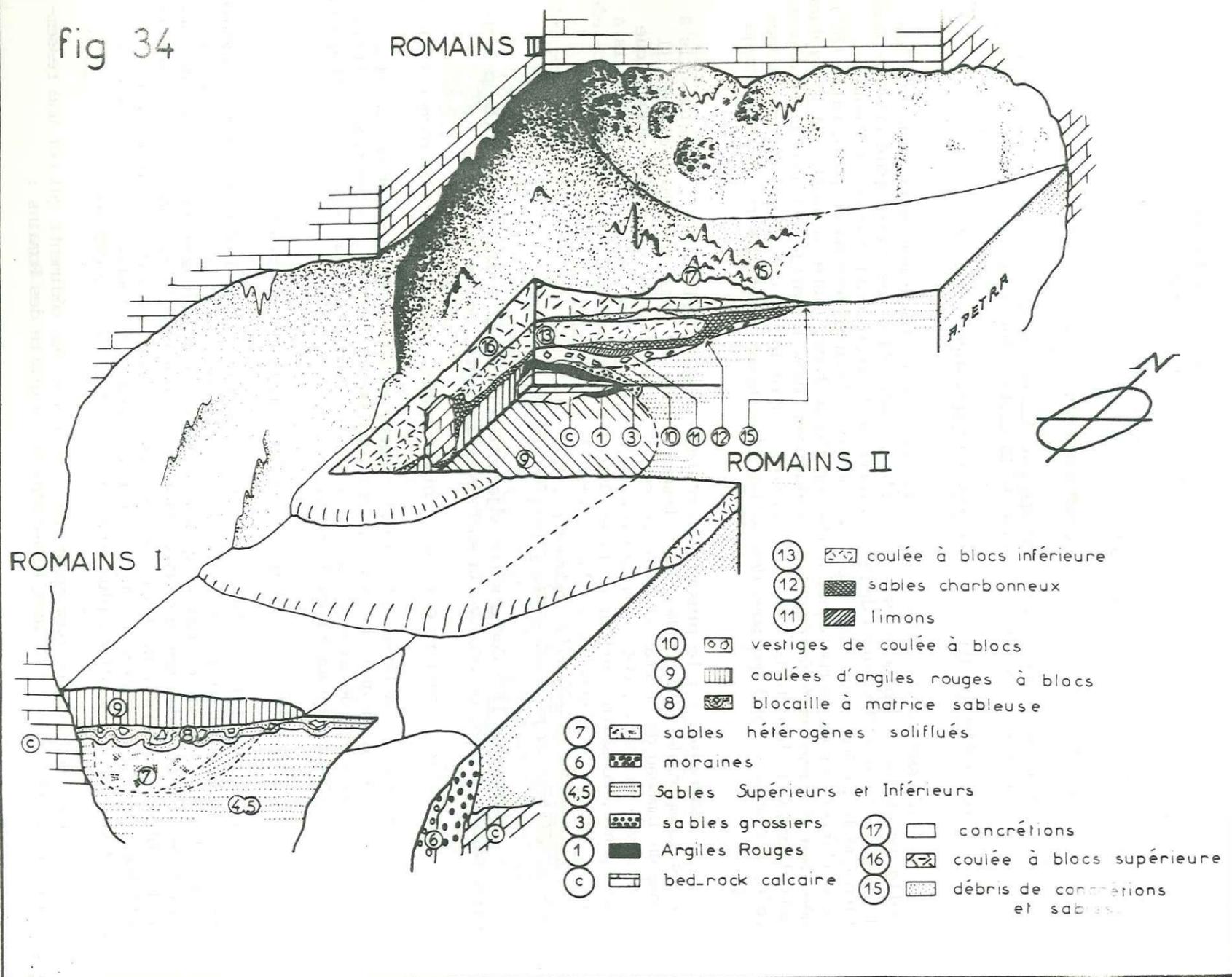


fig 34

Schéma stratigraphique de la grotte des Romains. Les nombres désignent les phases sédimentaires :

- 1) Le remplissage "tertiaire" provoque la formation d'un enduit ferrugineux contre le calcaire
- 2) Le remplissage "tertiaire" (sables et argiles rouges) est évacué dans la plus grande partie de la grotte. Il en reste quelques vestiges
- 3) Dépôt de sables grossiers contre le rocher
- 4) Dépôt des Sables inférieurs (formation du poli fluviatile contre la paroi ?)
- 5) Erosion, puis dépôt des Sables supérieurs. Dépôt de sables jaunes à Sarrazins 3 ?
- 6) Dépôt de matériel morainique au-dessus des sables
- 7) Vidange de la grotte, avec 7a creusement d'un chenal dans les Sables inférieurs
7b dépôt de séries sablo-limoneuses hétérogènes (remaniement par solifluxion de séries litées qui se trouvaient plus haut)
- 8) Chute de blocs
- 9) Mise en place de coulées à argiles rouges et à blocs
- 10) Coulée à blocs de faible amplitude. Ruissellements. Dépôt de la couche V
- 11) Ruissellements. Dépôt de limons (IV)
- 12) Installation des Magdaléniens (couche III)
- 13) Mise en place de la coulée à blocs inférieure, qui s'étale en Romains II en remaniant la couche magdalénienne
- 14) Concrétionnement
- 15) Ruissellements entraînant les sables. Délitage des concrétions (couche II b, II a). Le sable s'infiltré dans la couche à blocs inférieure
- 16) Mise en place de la coulée à Blocs supérieure. Elle remanie faiblement la couche II a
- 17) Concrétionnement

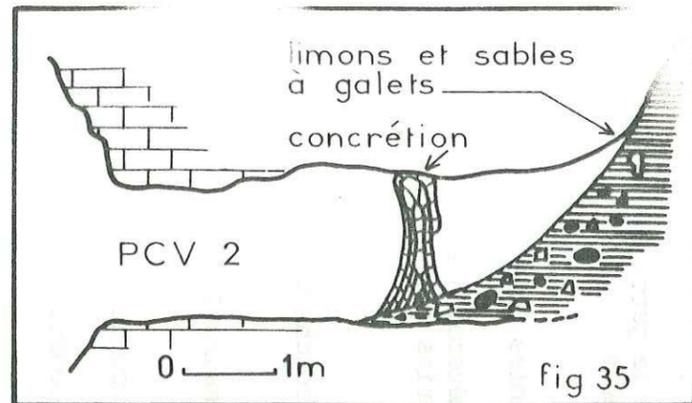


fig 35 Schéma de la stratigraphie observée à PCV2

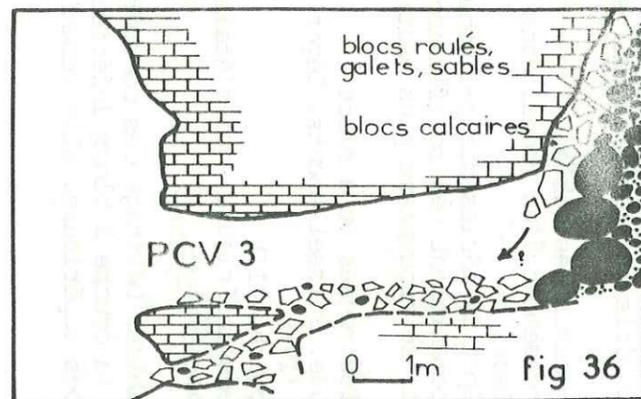


fig 36 Schéma de la stratigraphie de PCV3

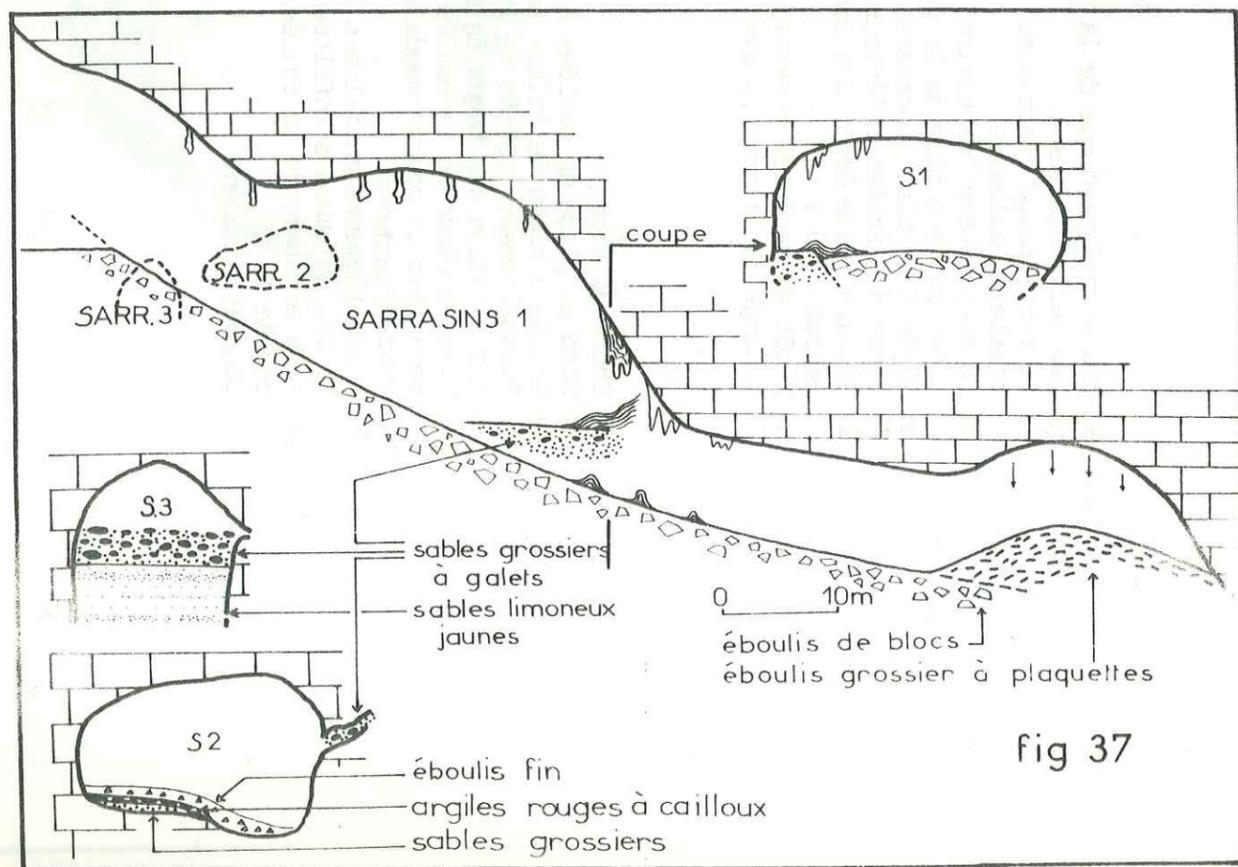


fig 37 Schéma de la grotte des Batteries Basses et de sa stratigraphie

- des formations argileuses à galets ("moraines" de Romains I)
- des blocs de calcaire local (couches à blocs de Romains II).

Ceci confirme donc l'hypothèse selon laquelle une partie des sédiments de la grotte des Romains aurait transité à travers le karst avant de se déposer. On retrouve là les indices d'importants déplacements de matériaux peut-être contemporains de la dernière décrue glaciaire. Les stratigraphies observées à l'intérieur du karst permettent de reconnaître plusieurs phases, dont on peut estimer les positions relatives dans le temps.

- dépôt de sables jaunes
- dépôt de sables grossiers avec ou sans galets
- mobilisation des Argiles Rouges
- écroulements et cryoclase.

Cependant, si nous pouvons comprendre l'évolution de ces "stocks sédimentaires" dans ses grandes lignes, les conditions topographiques et les mécanismes qui sont à son origine posent encore de nombreux problèmes.

V - CONCLUSIONS

La grotte des Romains et son "contexte souterrain" sont riches en vestiges sédimentaires de la dernière glaciation, malheureusement mal datés pour la plupart. Les analyses stratigraphiques et sédimentologiques nous conduisent à la reconstitution suivante :

Pendant que la région est encore prise dans les glaces, des torrents sous-glaciaires communiquent avec les réseaux fossiles de Pierre-Châtel (en particulier dans les galeries qui débouchent actuellement sur la falaise). Les sédiments plus anciens sont érodés. Ce ruissellement dépose ensuite une grande quantité de matériaux allochtones : sables grossiers et graviers.

Plus tard se déposent des éléments fins, sables et limons qui résultent de conditions beaucoup plus calmes et plus stables : terrasses de kame liées à des torrents latéraux. Il semble qu'alors le glacier ait fortement diminué d'épaisseur.

Enfin se déposent des sables grossiers, des galets, et des gros blocs roulés traduisant une circulation d'eau intense mais brève et cantonnée à des endroits précis. Peut-être faut-il voir là une nouvelle avancée glaciaire, corrélabile avec les moraines qui recoupent les sables de Romains I ?

Dès le retrait du glacier, une partie des sédiments est évacuée. Certains couloirs sont libérés (grotte principale des Sarrasins). Il faut imaginer un climat encore rigoureux s'exerçant sur une roche à nu. Des écroulements se déclenchent. Dans la grotte des Romains, quelques énormes blocs tombent sur les sables jaunes. Vers la surface, des éboulis très grossiers se constituent. Le rééquilibrage des forces à l'intérieur des massifs rocheux libérés de la surcharge glaciaire a dû également jouer un rôle dans ces phénomènes.

Les alternances gel-dégel mobilisant des restes d'argile rouge qui en se mélangeant avec les blocs forment les coulées boueuses observables à Romains I. Ceci suppose également une forte humidité probablement d'abondantes chutes de neige en hiver et un dégel rapide au printemps.

Le climat devient supportable pour l'homme qui s'installe temporairement dans la grotte des Romains devenue accessible. A ce moment les glaciés d'éboulis ne sont pas encore stabilisés.

A la faveur d'une péjoration climatique (Dryas II, d'après les pollens), les coulées de blocs arrivent dans la grotte des Romains. La neige joue peut-être le rôle de lubrifiant dans ce processus.

Un épisode tempéré (vers le sommet du Dryas II ?) provoque un début de concrétionnement. Ces concrétions sont brisées au cours d'épisodes plus froids. Le fait que la grotte communiquait avec la surface devait entretenir des courants d'air permanents qui accentuaient la gélivation, d'autant plus que la grotte restait humide.

L'oscillation d'Alleröd se manifeste par la formation de pisolithes calcaires sous un climat tempéré assez humide.

Une dernière poussée du froid (Dryas III) remet les éboulis en mouvement ce qui provoque le colmatage du fond. Le "bouchon" d'éboulis est ensuite bréchifié par l'intense concrétionnement qui accompagne le Boréal et l'Atlantique.

On remarque que le climat déduit de la sédimentologie est le plus souvent humide ou très humide. Il s'agit peut-être d'une exagération qui aurait deux causes possibles :

- un climat plus humide ayant existé dans la région de Pierre-Châtel et observé à Saint-Thibaud-de-Couz durant toute la fin du Würm.
- l'accentuation systématique de l'humidité par la disposition topographique et structurale de la grotte : il faut remarquer que le gisement magdalénien est situé assez loin de l'entrée de la grotte et que celle-ci draine une partie de l'humidité du massif.

Il reste que le réseau karstique de Pierre-Châtel a "enregistré" des variations climatiques importantes. Malheureusement la stratigraphie est discontinue et nos raisonnements se fondent sur des coupes mal corrélées entre elles. Pour obtenir une reconstitution plus précise une prospection systématique de toutes les cavités de cette région serait souhaitable et fructueuse.

couche	Sédiment total inférieur à 10 cm			Sédiment inférieur à 2 mm			Sédiment décalcifié inférieur à 2 mm			couche	
	Q1	Q2	Hé Qdφ	Q1	Q2	Hé Qdφ	Q1	Q2	Q3		Hé Qdφ
I	0,110	1,10	2,65	0,050	0,13	1,75	0,022	0,072	0,15	1,10	1,42
MS											
T	0,250	4,80	1,67	0,054	0,152	1,60	0,018	0,075	0,145	0,90	1,45
CBS	40,000	65,00	0,25	0,011	0,068	1,70	0,005	0,044	0,15	1,30	2,20
IIa	0,044	0,23	2,40	0,021	0,078	1,50	0,029	0,070	0,13	1,00	1,12
IIb	0,026	0,12	1,95	0,015	0,065	1,35	0,032	0,065	0,13	1,05	1,00
S											
CBI	0,145	45,00	0,40	0,013	0,055	1,56	0,021	0,051	0,12	1,15	1,26
III 1	0,061	11,00	0,95	0,014	0,044	1,45	0,01	0,048	0,15	1,40	2,00
III 2	0,052	0,195	1,35	0,026	0,082	1,05	0,026	0,082	0,15	1,05	1,27
IV	0,012	0,28	1,25	0,006	0,027	1,40	0,0002	0,0024	0,065	1,50	2,50
V	0,080	0,45	1,40	0,040	0,108	1,10	0,034	0,076	0,19	1,15	1,25
Si	0,040	0,107	1,15	0,027	0,085	1,20	0,033	0,078	0,15	0,92	1,08
VI	0,420	1,15	1,30	0,195	0,625	0,80					
AR	0,0001	0,002	5,30	0,0001	0,002	4,35 élevé					

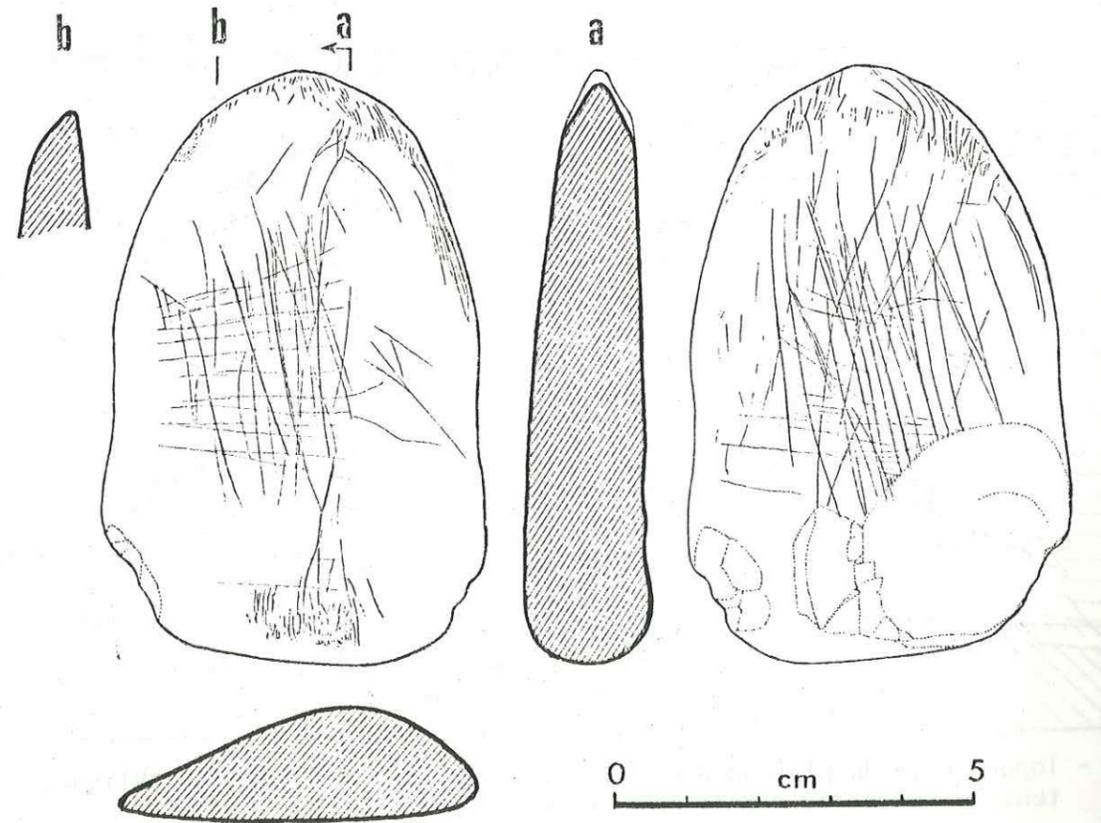
U.L.

TABLEAU 2

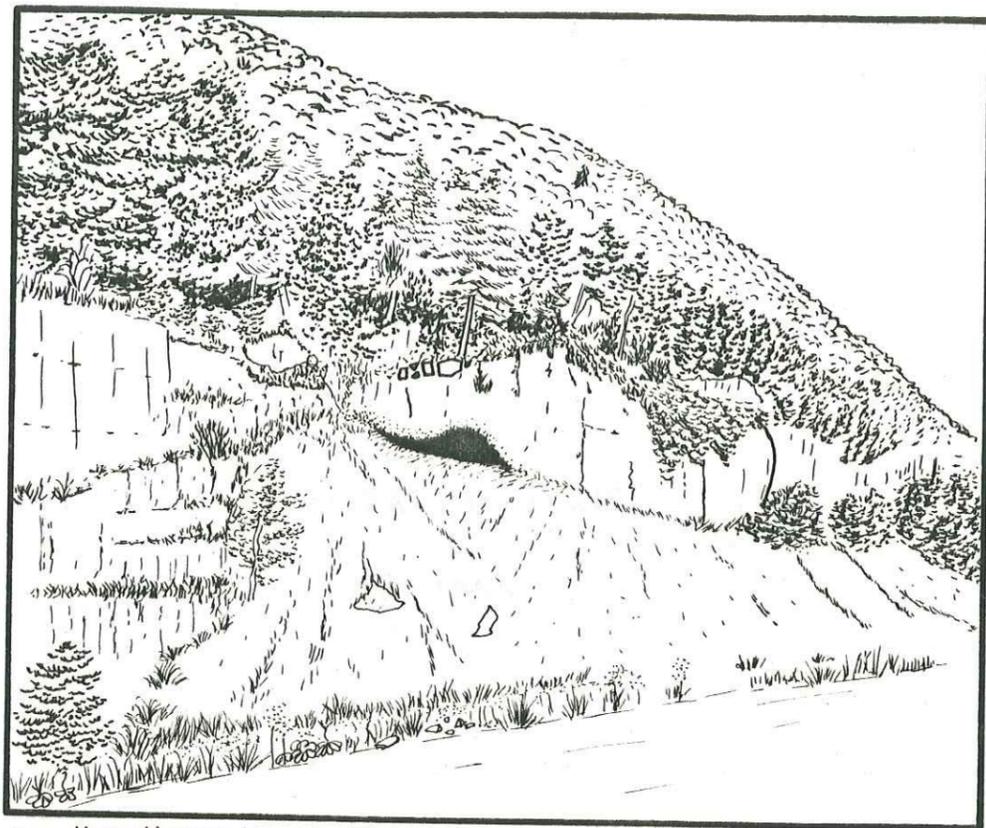
TABLEAU 3

DEUXIEME PARTIE

ABRI GAY

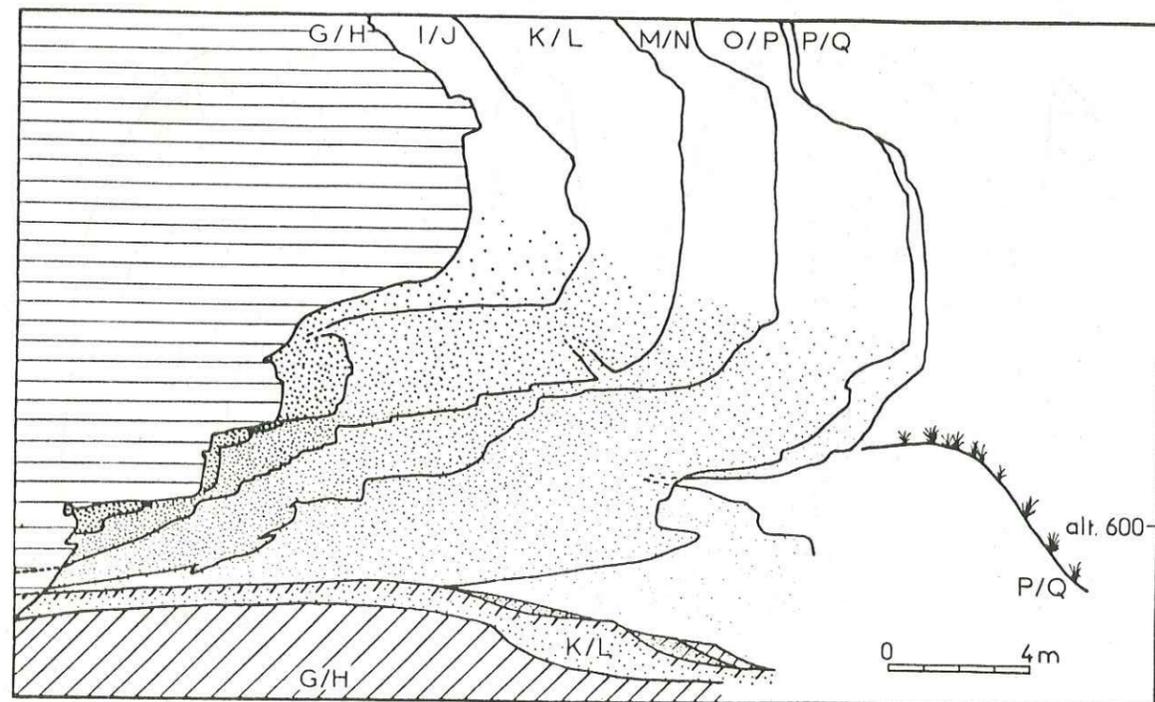


MS
I
IIa
IIb
S
CB
III



a - Vue d'ensemble de l'abri Gay avant les fouilles

fig 0



b - Topographie du plafond dans la zone fouillée. Les hachures obliques représentent le sommet du remplissage alluvial

I - INTRODUCTION :

=====
 Au début de ce siècle, il n'apparaissait de l'abri Gay que la partie sommitale, petit recoin abrité qui surplombait la route nationale N84 d'une quinzaine de mètres (fig. 0b). Les importantes excavations réalisées depuis permettent de se faire une meilleure idée de ce qu'était ce site à l'époque où les hommes du Paléolithique supérieur venaient y camper : un vaste entonnoir d'axe horizontal, s'enfonçant de vingt mètres environ dans la falaise portlandienne, et dont l'ouverture orientée au Nord, mesure à peu près 20 m à la base (fig. 0a). Le plafond recoupe les bancs successifs de calcaire et s'abaisse par gradins jusqu'au fond de l'abri où il passe à un étroit boyau karstique rapidement colmaté.

Tout porte à penser que l'abri s'est constitué par élargissement cryoclastique de cet exutoire, mais avant que ne débute le remplissage actuellement observable : les sables fluviatiles qui constituent la base stratigraphique de ce site en occupent toute la surface. Pendant la fin du Würm, probablement à l'époque où l'Ain abandonnait la terrasse de la Colombière, l'abri a été vidé de tous les sédiments antérieurs. D'après les fouilles récentes, cette "remise à zéro" du chronomètre géologique n'est pas postérieure au Dryas II. Mais le niveau de base n'a pas encore été atteint, et il n'est pas exclu que des témoins plus anciens soient encore mis au jour.

L'intérêt que les préhistoriens portent à l'abri Gay se justifie de deux façons :

- d'une part, les gisements du Paléolithique supérieur bien étudiés sont fort rares dans le Jura méridional, bien que les sites ne manquent pas. On dispose ainsi d'un abondant matériel lithique provenant de divers sites de l'Ain (La Bonne Femme à Brégnier-Cordon, Les Hoteaux à Rossillon, La Grand'Baille à Poncin, l'abri de La Croze-sur-Suran) dont on ne connaît pas ou fort peu les conditions de gisement car il s'agit de fouilles anciennes. A l'abri Gay, l'occasion se présentait d'étudier une couche magdalénienne dans un contexte qui laissait espérer la présence de transitions jusqu'à des horizons récents, et qui, en outre, se prêtait à une étude très fine (palynologie, faune et microfaune, 14C, sédimentologie, etc...).

- d'autre part, l'abri Gay est très proche de la Colombière, site bien connu pour ses oeuvres d'art paléolithiques et pour la délicate position stratigraphique de ces dernières. On pouvait espérer éclairer quelque peu ce problème en étudiant le Magdalénien d'un gisement proche.

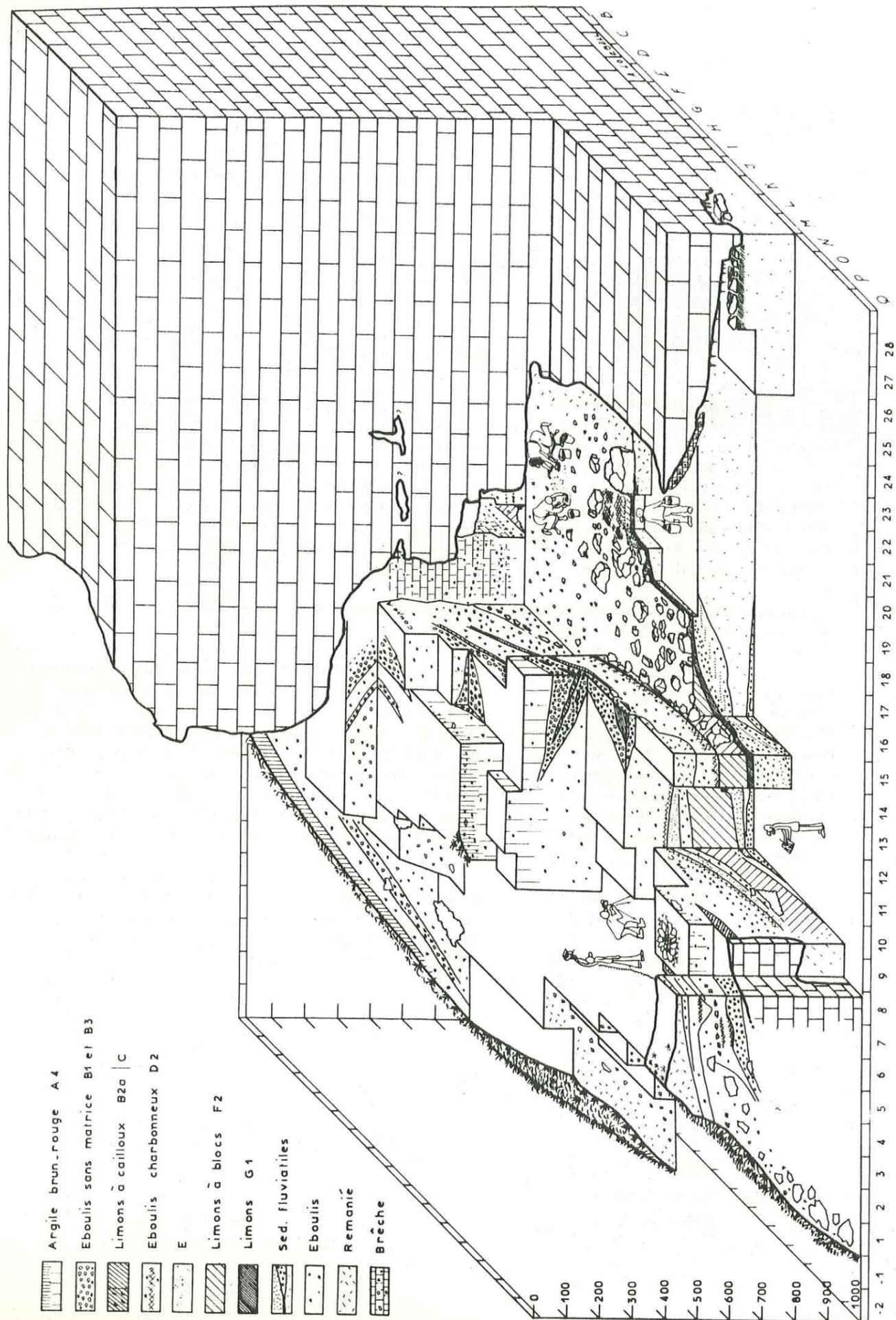


fig 1 Etat d'avancement de la fouille en 1978 et principales formations.

II - HISTORIQUE DES RECHERCHES :

A partir de 1927 et pendant les années 30, le site de l'abri Gay fut le théâtre d'importantes excavations effectuées par un savant local, J. Pissot. Ces travaux laissèrent pour la postérité un abondant matériel archéologique (déposé au Muséum de Lyon) mais aussi un important cratère dans la partie profonde de l'abri, et une masse considérable de déblais jetés par dessus les couches en place, par manque d'espace. Malheureusement, J. Pissot mourut en 1942 et ne trouva jamais le temps de publier ses observations. Nos connaissances sur cette partie détruite du gisement se limitent à quelques notes, un log stratigraphique trop schématique, et le matériel recueilli.

En 1965, L. Bonnamour et R. Desbrosse entreprirent de rassembler toutes les informations connues et de publier un "bilan des fouilles anciennes". La même année, pour tenter de retrouver le contexte stratigraphique des vestiges, ils effectuèrent un petit sondage qui leur permit d'atteindre le niveau magdalénien. Ils publièrent les résultats de leurs travaux l'année suivante.

En 1968, les travaux d'élargissement de la route nationale menaçaient l'abri d'une destruction totale. R. Desbrosse décida alors d'effectuer une fouille de sauvetage, et, en 1970, installa sur les lieux une infrastructure importante qui devait permettre de travailler dans les meilleures conditions possibles.

III - LES ÉLÉMENTS DU REMPLISSAGE :

=====

Il serait difficile de décrire la stratigraphie de l'abri sans préciser auparavant les facteurs qui ont conditionné le remplissage. Les sédiments sont formés par le mélange, en proportions très variables, de plusieurs stocks sédimentaires, mobilisés par divers agents climatiques.

1. Blocs, cailloux et granules sont évidemment le produit de la destruction progressive de la falaise calcaire par le gel.

- une *partie provient directement du plafond* et des parois de l'abri : les gros blocs et les lentilles de cailloutis sans matrice.

- l'autre partie, en fait *la plus grande part du sédiment, provient des "vires" rocheuses* qui constituent le talus au-dessus de l'abri. Ce dernier a véritablement fonctionné comme un "piège à sédiments", drainant vers lui tous les produits de destruction de la pente. Cela suffit à expliquer l'énorme dilatation de la séquence post-würmienne. L'abri a été progressivement envahi par deux cônes d'éboulis (un de chaque côté) dont le plus important venait de l'Est. On pouvait s'attendre à ce que les épisodes froids, générateurs d'éboulis, soient "enregistrés" deux fois : une première fois par l'action sur le plafond, une seconde fois par l'arrivée, avec un certain retard, des éboulis de la pente. En fait, cette interférence est limitée par le fait que la pente est trop raide pour pouvoir emmagasiner beaucoup de matériau meuble.

Dans l'absolu, il n'est pas possible de discerner si un caillou provient du plafond ou d'ailleurs : les faciès calcaires sont trop semblables d'un banc à l'autre. Mais dans certains cas, la disposition des couches et l'orientation des fragments permettent d'établir quelle est la part de chaque apport.

2. La matrice limoneuse qui lie les éboulis provient en grande partie du "plateau" : zone à faible relief, limitée par la falaise, et qui se situe à 60 m environ au-dessus de l'abri. Une coupe effectuée au sommet de la pente (fig. 21) montre une couche de limons jaunes hétérogènes qui repose directement sur le calcaire. Leur structure est celle d'un sol. Quelques galets de quartzite et de roches cristallines altérées disséminées dans le sédiment montrent qu'il s'agit d'un ancien dépôt glaciaire ou fluvio-glaciaire mais on ne peut pas affirmer qu'il est en place. Vu leur position, ces limons doivent être mobilisables et transportés par le moindre ruissellement, ou même l'action des gouttes de pluie, vers le bas de la pente. L'abondance relative de ces limons dans le sédiment est donc un indicateur d'humidité.

3. Les galets cristallins que l'on trouve, mêlés aux éboulis, proviennent d'un autre dépôt du plateau : anciens sédiments fluvio-glaciaires qui affleurent en particulier au Sud-Ouest de l'abri Gay. Ces galets ont pu être mobilisés par plusieurs moyens :

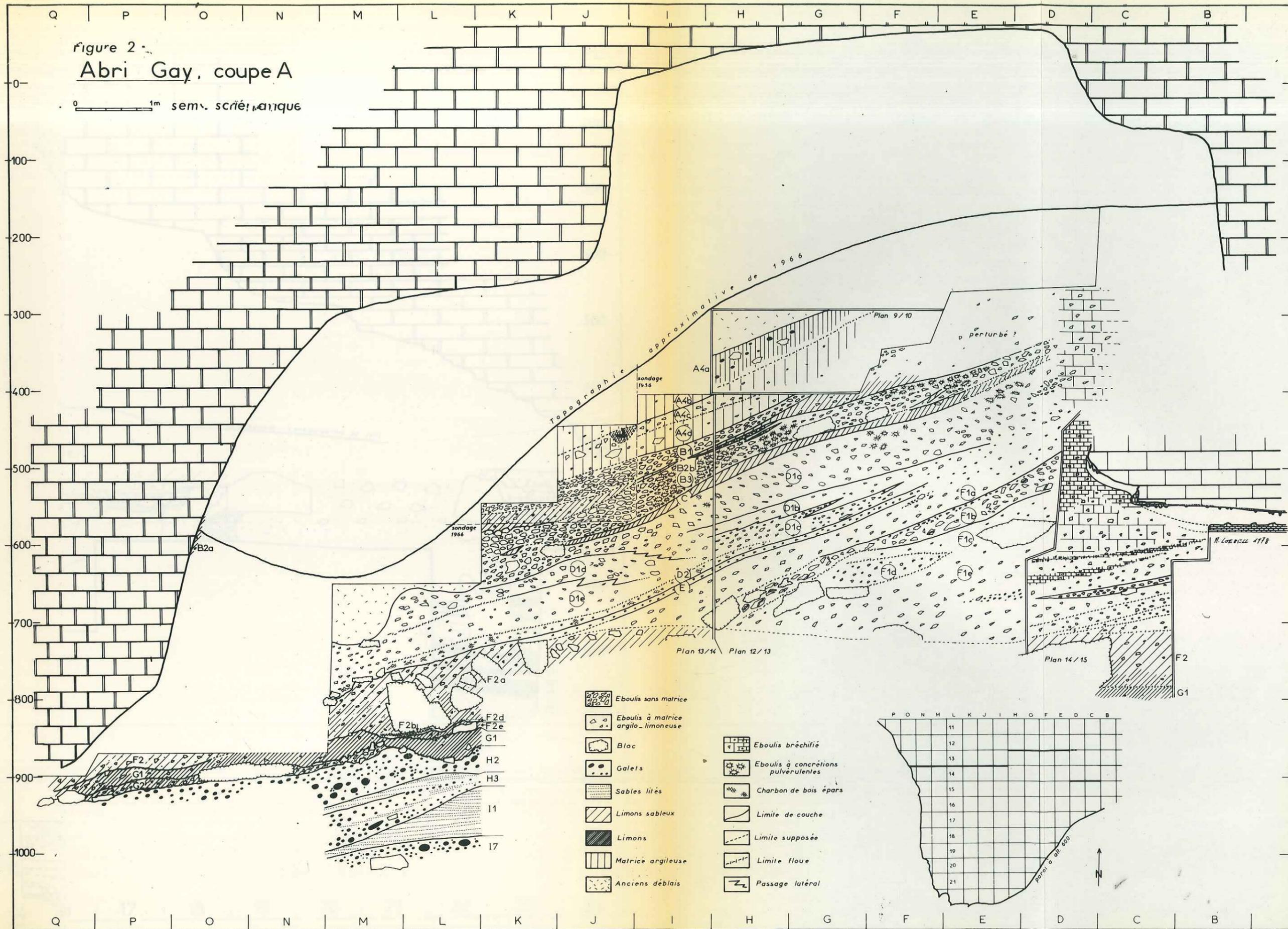
- *par l'homme*. Mais la part de ces apports est difficilement quantifiable, surtout dans les couches à industrie.

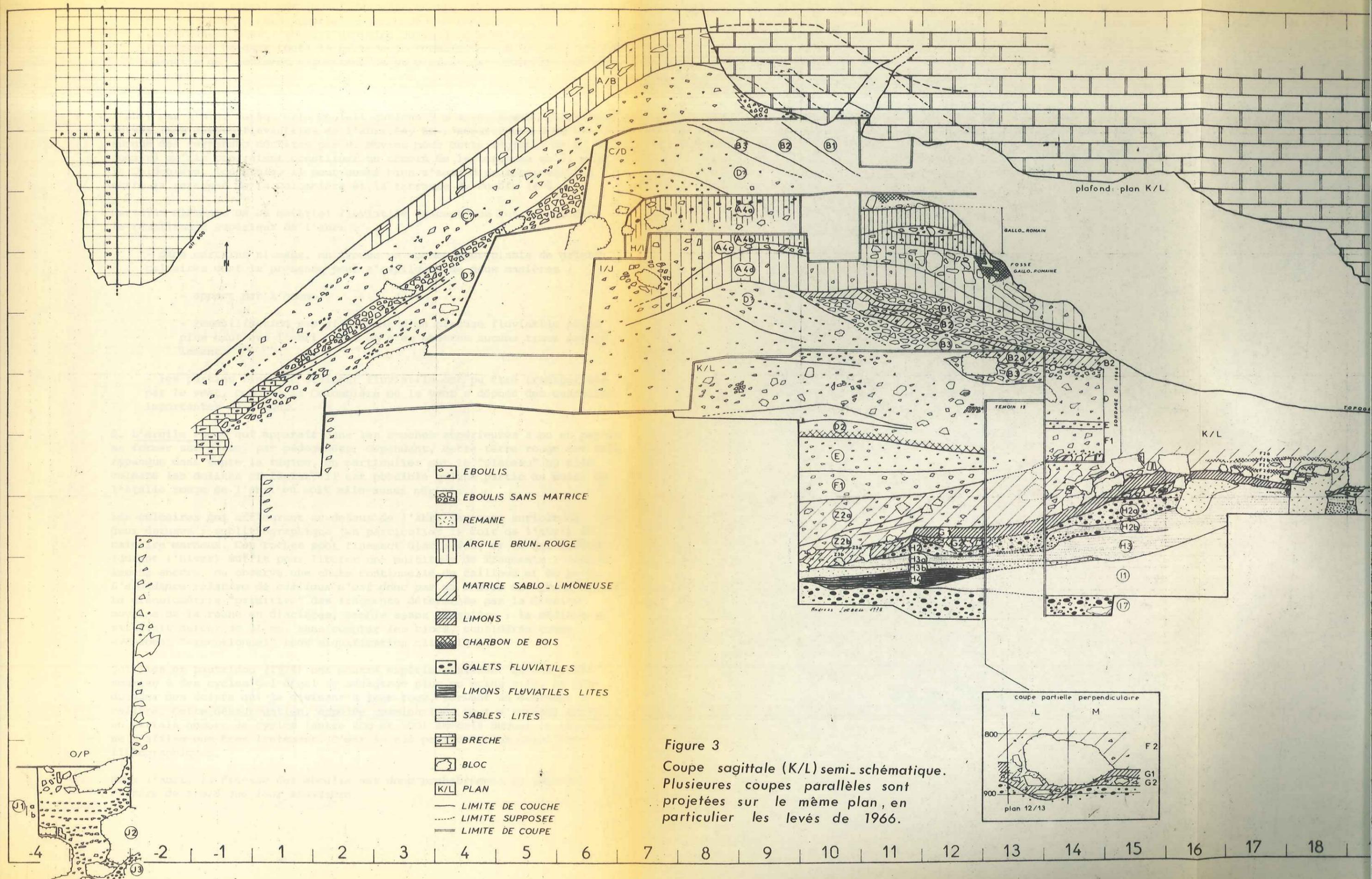
- *par glissement gravitaire* sur la pente. Sur le plateau, ces dépôts ont pu être dispersés par d'anciennes coulées de solifluxion, ce qui expliquerait la présence de galets cristallins isolés dans toute cette zone alors que les affleurements de galets sont bien localisés.

- *par l'intérieur du réseau karstique*. L'exploration d'un petit boyau qui s'ouvre 50 m à l'Est de l'abri Gay (Trou des Voleurs) nous

Figure 2
Abri Gay, coupe A

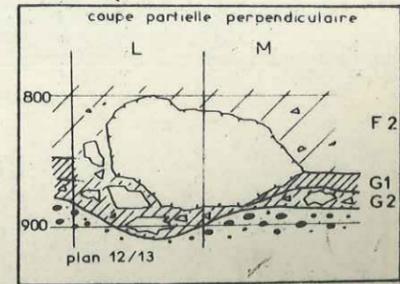
0 1m sem. sc.rique





- EBOULIS
- EBOULIS SANS MATRICE
- REMANIE
- ARGILE BRUN. ROUGE
- MATRICE SABLO-LIMONEUSE
- LIMONS
- CHARBON DE BOIS
- GALETS FLUVIATILES
- LIMONS FLUVIATILES LITES
- SABLES LITES
- BRECHE
- BLOC
- K/L PLAN
- LIMITE DE COUCHE
- - - LIMITE SUPPOSEE
- LIMITE DE COUPE

Figure 3
 Coupe sagittale (K/L) semi-schématique.
 Plusieurs coupes parallèles sont
 projetées sur le même plan, en
 particulier les levés de 1966.



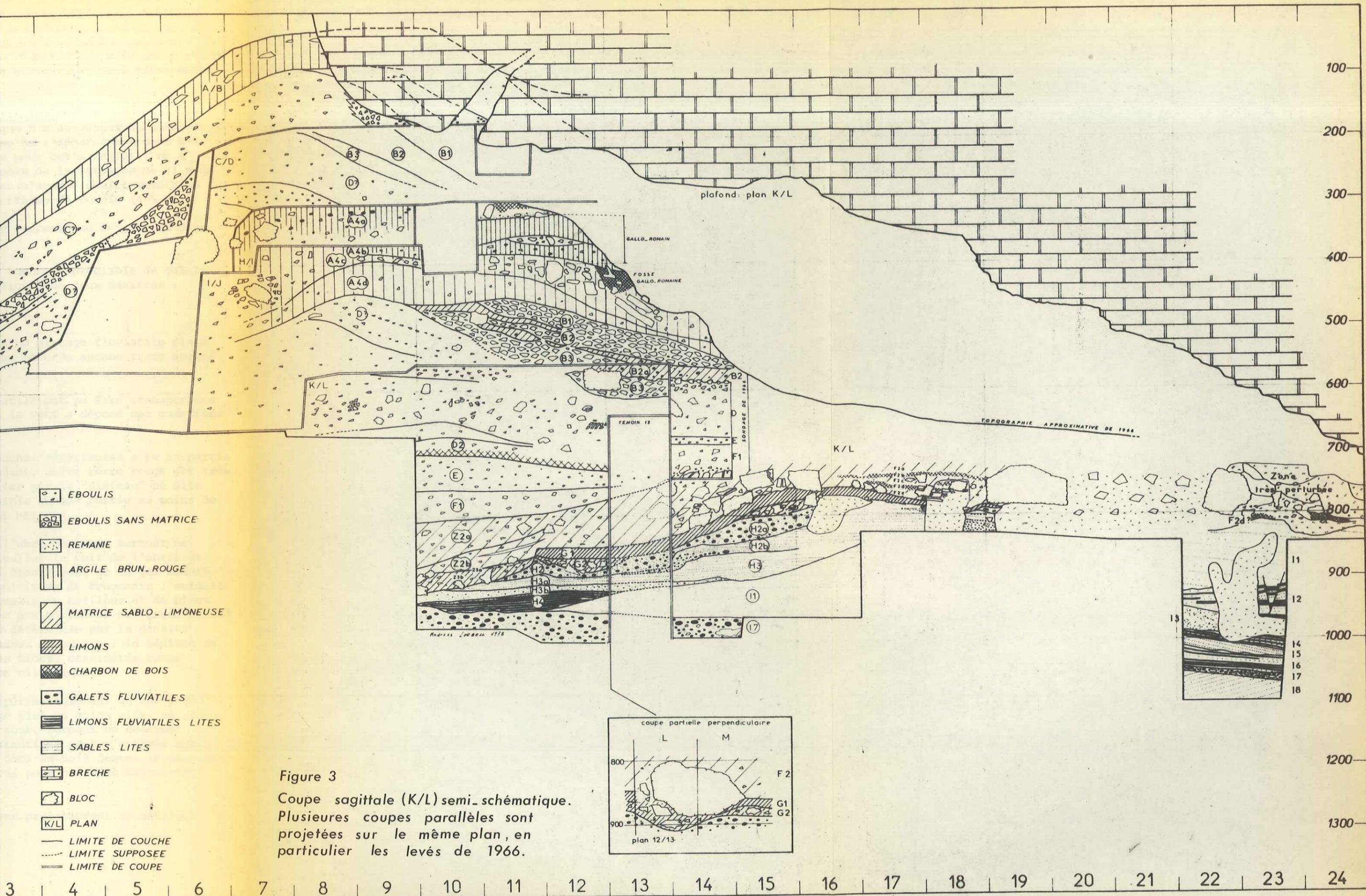
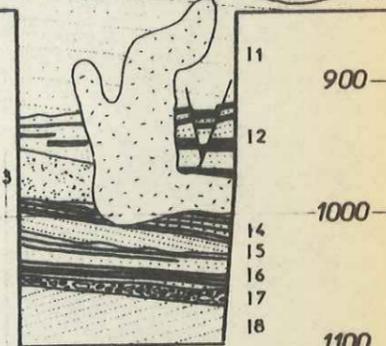
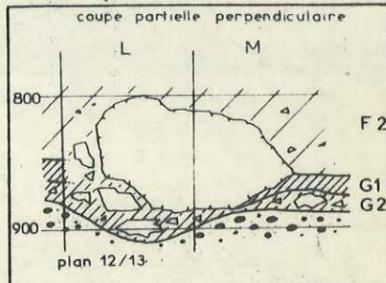


Figure 3
 Coupe sagittale (K/L) semi-schématique.
 Plusieurs coupes parallèles sont
 projetées sur le même plan, en
 particulier les levés de 1966.



a permis de constater la grande abondance de galets siliceux (quartzite, silex) sur le sol de cette grotte. Il est probable que le réseau souterrain apporte ce genre de sédiments lors des crues importantes. Dans l'abri, l'exutoire du fond ne semble pas avoir fonctionné pendant toute la période du remplissage. Mais une certaine quantité de "sédiment allochtone" a pu arriver par deux fissures du plafond.

4. Galets calcaires, sables et limons fluviaux ont été déposés dans l'abri par l'Ain, lorsqu'elle coulait quelque 9 m au-dessus de son niveau actuel. Les dépôts fluviaux de l'abri Gay ne s'apparentent donc à aucune des terrasses décrites par H. Movius pour cette région ; on a suggéré qu'ils pourraient constituer un témoin de la terrasse de 21 m de la Colombière. Toutefois, il peut aussi bien s'agir d'un intermédiaire entre la terrasse de la Colombière et la terrasse de Poncin (4-5 m).

Certains éléments de ce matériel fluvial "récent" se retrouvent dans le remplissage supérieur de l'abri :

- dans certains niveaux, on trouve un nombre appréciable de galets calcaires dont la présence peut s'expliquer de deux manières :
 - apport par l'homme,
 - remobilisation par glissement d'un placage fluvial placé plus haut que l'abri. Mais on n'en observe aucune trace actuellement.
- les parties fines du sédiment fluvial ont pu être transportées par le vent, comme à la Colombière où le vent a déposé des quantités importantes de limons.

5. L'argile rouge qui apparaît dans les couches supérieures a pu en partie se former sur place, par pédogenèse. Cependant, cette terre rouge est très répandue dans toute la région, en particulier sur le "plateau" où elle colmate les dolines et lapiaz. Il est possible qu'une partie au moins de l'argile rouge de l'abri en soit elle-aussi héritée.

Les calcaires qui affleurent au-dessus de l'abri Gay sont surtout de deux natures : sublithographique (en particulier le toit de l'abri) et calcaire marneux. Ces roches sont finement diaclasées, et un gel modéré (durant l'hiver) suffit pour libérer une multitude de fragments : actuellement encore, on observe une chute continue de cailloux et de blocs. L'abondance relative de cailloux n'est donc pas un indice de "grand froid". La granulométrie "primitive" des fragments déterminée par la densité moyenne de la roche en diaclases, semble assez grossière : la médiane se situerait autour de 31 mm, sans compter les blocs, considérés comme événement "exceptionnel" sans signification climatique.

Guillien et Lautridou (1974) ont montré expérimentalement qu'une roche soumise à des cycles gel-dégel se désagrège plus ou moins vite, en produisant des éclats qui se divisent à leur tour, formant un sédiment calibré. Cette désagrégation, appelée comminution, peut s'arrêter après un certain nombre de cycles (entre 200 et 500) au-delà duquel le sédiment ne s'affine que très lentement. C'est le cas pour certains calcaires lithographiques.

Dans l'abri, la finesse des éboulis est donc probablement un meilleur critère de froid que leur abondance.

IV - STRATIGRAPHIE ET DESCRIPTION DES SEDIMENTS :

De bas en haut, nous décrirons les trois ensembles stratigraphiques qui forment le remplissage de l'abri :

1. La terrasse de l'Ain
2. Les limons à blocs
3. Les éboulis

Les ensembles 2. et 3. ont été dénommés dans la partie "intérieure" de l'abri (à partir de la bande 12, fig. 3) parce que les couches y sont les plus nettes. La corrélation avec les sédiments situés plus vers l'avant (coupe C, E, niveaux néolithiques et protohistoriques) est difficile et constituait l'un des buts de ce travail.

1. La terrasse de l'Ain (fig. 2, 3, 4) :

Ce dépôt typiquement fluviatile a été entamé en plusieurs endroits par la fouille. Toutefois, nous n'avons pas encore pu en observer la base. Totalement dépourvu de fossiles (ossements ou pollens), il présente une stratigraphie assez complexe (recoupements, chenaux, etc) et il a semblé peu utile d'en faire une étude très approfondie.

a - partie inférieure de la formation (observée sur une hauteur de 3 m environ) :

Couches I1 à I8, constituées par des sédiments fins (fig 3) :

- . I8 : sable fin gris-jaune, homogène. Litage oblique très régulier. Epaisseur indéterminée.
- . I7 : petits galets calcaires et cailloux anguleux associés à des sables grossiers (avec de rares blocs). La couche, assez épaisse (60 à 80 cm) vers l'avant de l'abri, se réduit à dix centimètres vers le fond, cependant que la proportion en cailloux anguleux augmente.
- . I6 : alternance de sables fins gris-jaune et de limons calcaires gris en lits centimétriques. Les lits sont recoupés par la couche suivante. Epaisseur : 25 cm.
- . I5 : sables assez fins, homogènes, gris-jaune. Litage oblique plan très régulier. 15 cm.
- . I4 : alternance de sables fins et de limons calcaires en lits centimétriques. Epaisseur : 20 cm environ.
- . I3 : sables grossiers gris à litage oblique ou entrecroisé.
- . I2 : sables fins gris-jaune avec quelques lits centimétriques de limons calcaires gris. Epaisseur : 60 cm environ. Cette couche est affectée par des petites failles de tassement.
- . I1 : sables très fins, gris-jaune, homogènes, à litage, horizontal, peu visible.

Au centre de l'abri (base du témoin 13) on observe une alternance régulière de lits horizontaux un peu plus grossiers et un peu plus fins : il s'agit probablement de sables de débordement de la rivière.

La partie inférieure de la terrasse est limitée par une surface d'érosion qui est horizontale dans le fond de l'abri, puis inclinée

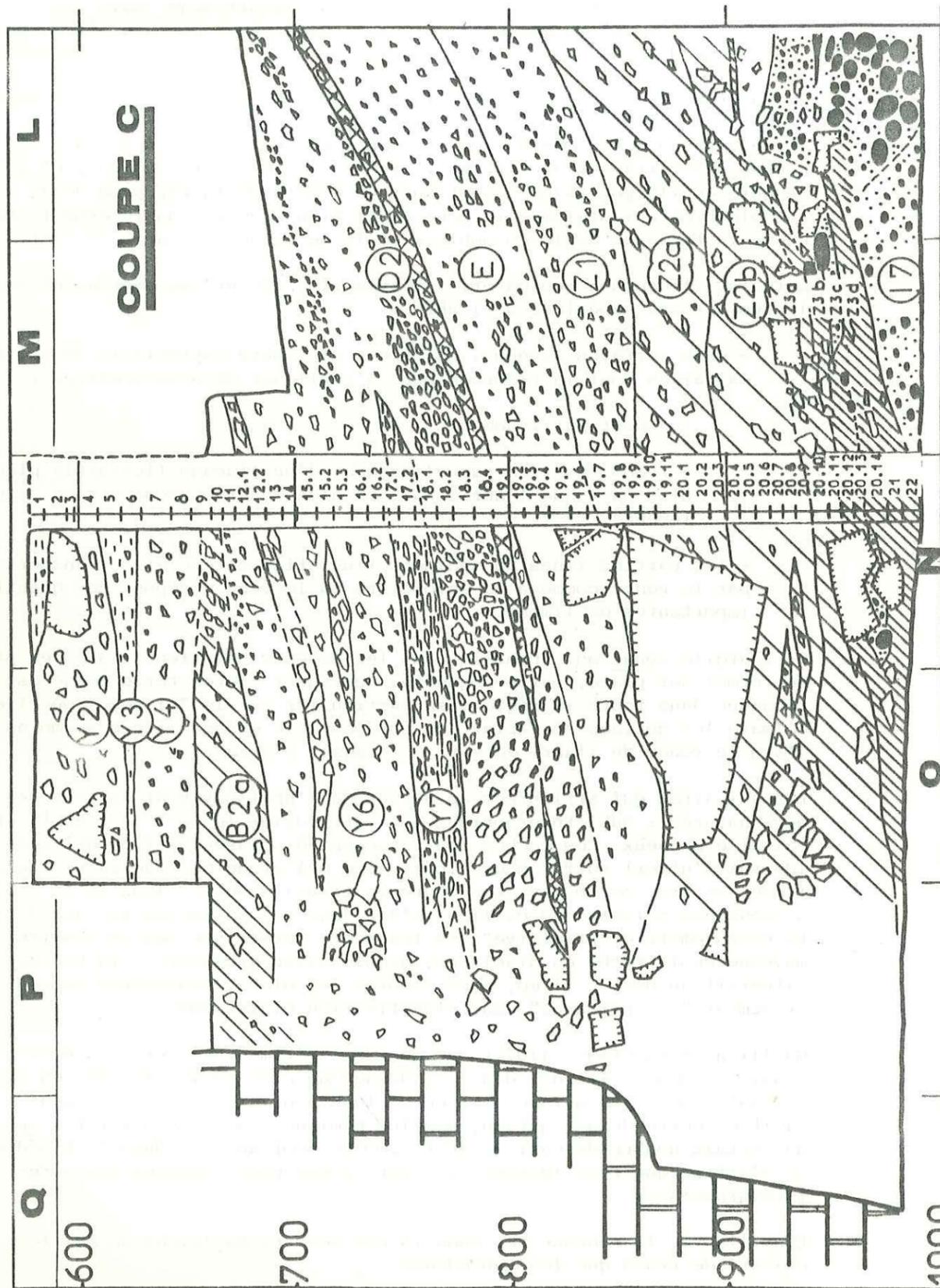


fig 4 Coupe C, semi-schématique

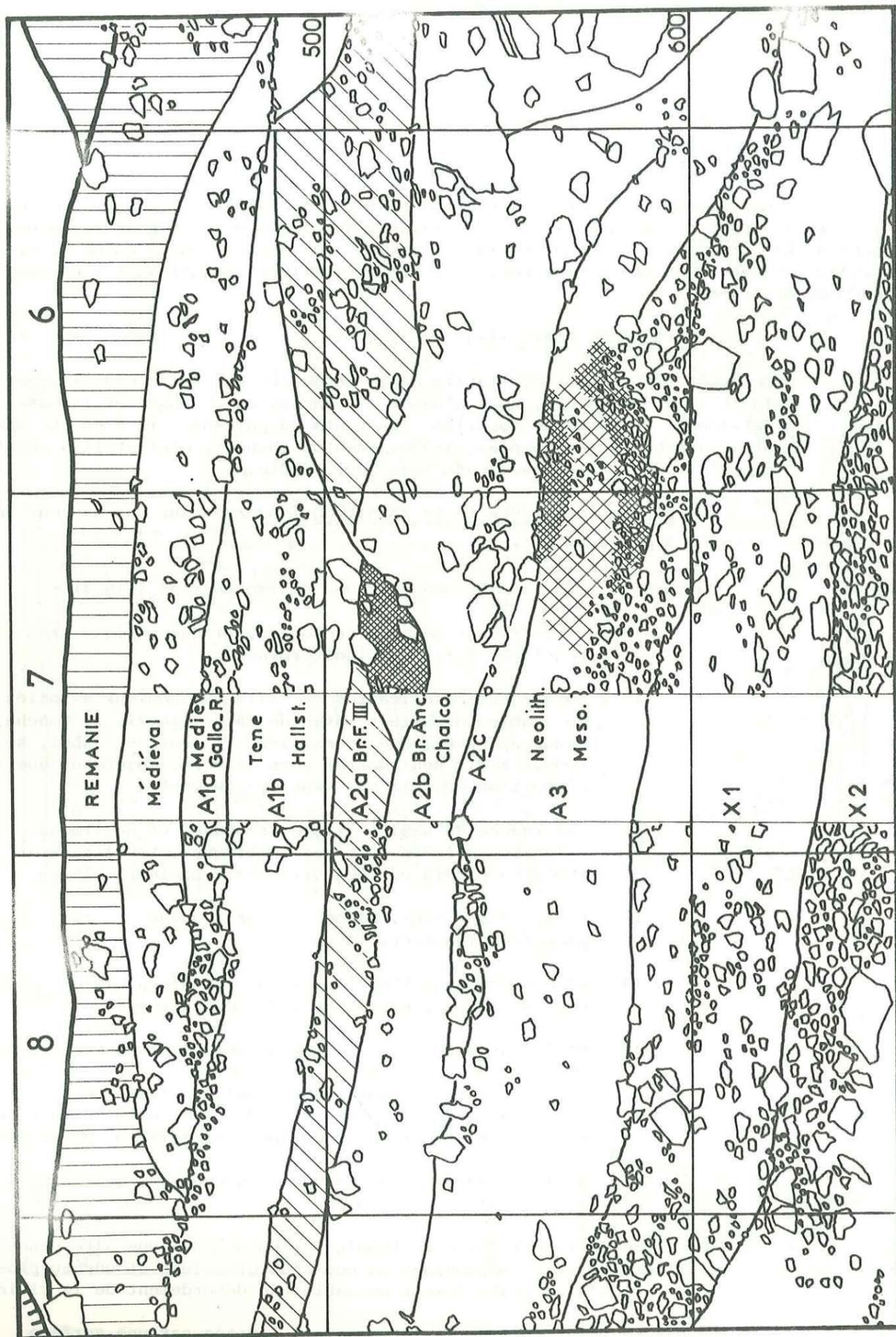


fig 5 Coupe E : niveaux protohistoriques et historiques

vers l'Ain à partir de la bande 17. Dans le fond de l'abri, des terriers de taille respectable (jusqu'à 80 cm de diamètre) ont bouleversé les sédiments.

b - partie supérieure de la formation : couches H1 à H4.

Les dépôts sont grossiers dans l'ensemble (fig 2 et 3).

- . H4 : limons calcaires compacts de couleur grise, avec intercalation de sables.
- . H3 : sables grossiers gris, bien lités (structure de varves) avec intercalation de lentilles de galets calcaires. Epaisseur très variable (60 cm environ dans la bande 17).
- . H2 : sédiment très grossier formé de galets calcaires, hétérométriques, qui ne s'est déposé que dans la partie médiane de l'abri (bandes 11 à 16).
- . G2 : blocs et cailloux anguleux constituant soit des lentilles discontinues (épaisseur : 2 à 15 cm) soit, vers la paroi ouest de l'abri, une couche continue (10 à 30 cm). Les cailloux sont liés par une matrice de nature variable, sables grossiers à limons ou limons jaunes, qui s'est probablement infiltrée postérieurement au dépôt, et qui provient en partie du remaniement des sédiments fluviaux antérieurs.
- . G1 : sables limoneux jaunes, très caractéristiques, qui recouvrent les sédiments précédents dans les parties internes de l'abri (c'est-à-dire un peu en retrait de l'aplomb de la falaise. Pas de litage apparent, mais des bandes faiblement colorées, parallèles aux limites de la couche. Dans le conduit karstique on les observe aussi loin que la fouille a progressé. Vers le fond, ils sont profondément craquelés, les vides étant comblés par un sédiment différent.

La couche G est horizontale dans la moitié intérieure de l'abri. Plus en avant, elle est inclinée d'environ 10° vers la rivière. Dans la bande 10, elle est recoupée par une surface d'érosion concave qui entaille également les niveaux fluviaux sous-jacents. Il peut s'agir d'une niche d'arrachement ou d'une érosion fluviale. Une figure d'érosion de même type s'observe dans la coupe C (fig 4) perpendiculaire à la précédente : les niveaux fluviaux sont entaillés encore plus profondément. Cette érosion pourrait être la dernière manifestation fluviale dans l'abri, puisque tous les sédiments postérieurs sont déposés par d'autres agents.

Le retrait de la rivière a donc laissé dans l'abri une surface bien égalisée de 150 m² environ de laquelle émergeaient quelques blocs. D'après les pentages encore observables, (la couche a été partiellement détruite par les anciennes fouilles), ce sommet de terrasse se présentait comme un dôme allongé, horizontal au centre, mais s'abaissant vers la paroi et vers la sortie (fig 0.a).

c - dépôts fluviaux devant l'abri (fig 3) :

Plusieurs sondages en dehors de l'abri ont permis de retrouver des sédiments fluviaux, principalement des sables fins, à un niveau nettement plus bas. Le sondage le plus important laisse voir trois types de dépôts. De bas en haut :

SEDIMENT	NATURE	CaCO ₃ total	<005	Argile %	Hé	Qdqp Asq	Q1	Q2	Q3	Modes
Argiles rouges du plateau	argile brun-rouge à débit prismatique.	0	0	67	3,1				0,012	
Limons du plateau	sables limoneux jaunes, à galets siliceux.	0	0	34,9	1,5 3,1	0,087		0,018	0,210	0,022 0,250
coupe A	limon sableux jaune clair, à	73	65	20,5	1,8	2,6	0,037	0,004	0,040	0,150 0,035 0,160
B2a coupe C	galets calcaires	67	59	24	1,9	2,6	0,041	0,004	0,036	0,150 0,035 0,160
F2	limon sableux jaune	42	40	26,5	0,6	2,5	0	0,001	0,024	0,045 0,035
G1	limon jaune clair très homogène	64	64	9,2	0,7	2,1	0,002	0,018	0,047	0,072 0,023 0,069
J1b	limon sableux jaune	80	66	10,5	0,45	0,8	0,002		0,066	0,090 0,063
H4	limon argileux gris clair	86,5	68	22,5	1,75	1,9	0,009	0,009	0,011	0,037 0,0035 0,023
I6	limon argileux gris clair	68,5	68	27,5	1,55	1,9	0,007	0,0015	0,007	0,028 0,014

fig 6

Principaux sédiments limoneux de l'abri Gay : caractéristiques sédimentologiques et polygones de fréquences simples

- . J3 : petits galets calcaires centimétriques, liés par une matrice peu abondante de sable grossier. Cette couche (épaisseur non connue) est nettement ravinée.
- . J2 : gros blocs anguleux (1 à 2 m de diamètre) qui ne sont pas accompagnés d'éléments plus fins.
- . J1 : alternance de sables fins et de limons à cailloux
 - a - sables calcaires jaunes très fins en lits horizontaux de 4 à 6 cm.
 - b - limons sableux brun clair, enrobant des cailloux anguleux de quelques centimètres.

Vers l'abri, ces sédiments passent rapidement à un éboulis à matrice limoneuse. Le sommet de cette formation se trouve environ 4 m plus bas que la couche G1 et à 6 m au-dessus de l'Ain actuel.

d - histoire des dépôts fluviatiles :

Il convient d'être très prudent dans l'interprétation "climatique" de ces dépôts fluviatiles dont les variations proviennent en partie de la divagation du cours d'eau. L'abri Gay était protégé vers l'amont par un éperon rocheux et se trouve dans une légère concavité de la rivière. Il est probable que cette dernière ne pouvait y pénétrer que lors des crues importantes.

En résumé, les dépôts fluviatiles de l'Ain reflètent plusieurs épisodes de sédimentation et d'érosion :

. une première période est caractérisée par l'abondance de dépôts fins, témoins d'un milieu calme. Aucun délitage thermoclastique de la paroi n'est à noter, hormis pour la couche I7 qui semble correspondre à un épisode plus froid et plus humide. Le litage oblique des couches I8, I5, I3, d'orientation variable, indique que la rivière coulait dans l'abri, ou très près. Dans la deuxième moitié de cette phase, la rivière était plus éloignée, et les sables "varvés" étaient déposés par les débordements périodiques. Ceci peut aussi indiquer un enfoncement de la rivière. Les couches I6 et I1 témoignent donc d'un climat relativement stable, assez humide (débordements périodiques) et tempéré (absence de cryoclaste). Cette période se termine par une érosion sur toute la surface du dépôt.

. la seconde période se caractérise par des dépôts de plus en plus grossiers : limons, sables puis galets, séparés par des surfaces d'érosion. La compétence de l'agent de dépôt était donc croissante. L'hétérogénéité du dépôt traduit une certaine instabilité climatique à dominance humide.

Un premier épisode franchement froid provoque la chute de quelques blocs et de cailloutis, surtout contre la paroi ouest. Ces éléments sont partiellement érodés, puis ennoyés et recouverts par les limons G1.

. une période de sédimentation très calme préside au dépôt des limons sableux de la couche G. D'après les analyses palynologiques, ces limons appartiennent à la première moitié de l'Alleröd.

Après une érosion frontale des dépôts fluviatiles, la rivière se retire définitivement de l'abri.

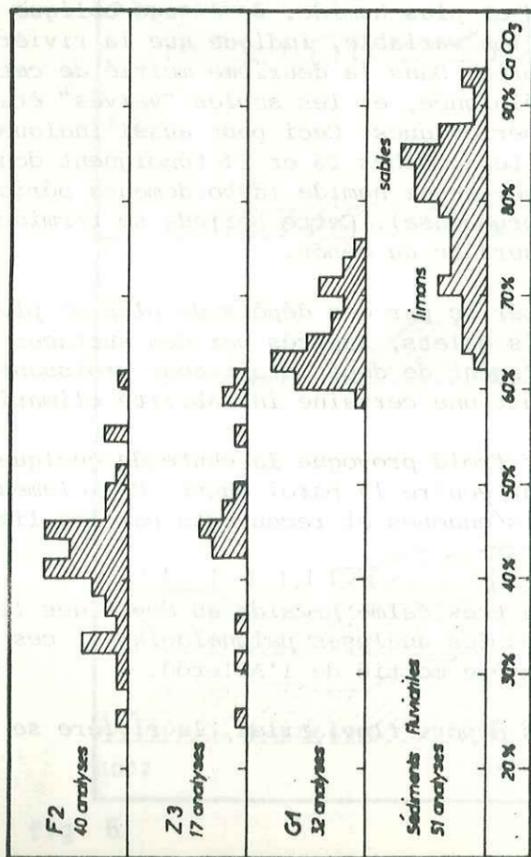


fig 7 Résultats des calcimétries effectuées par couches, regroupés en histogrammes de fréquence. Analyses sur la fraction inférieure à 0,5 mm

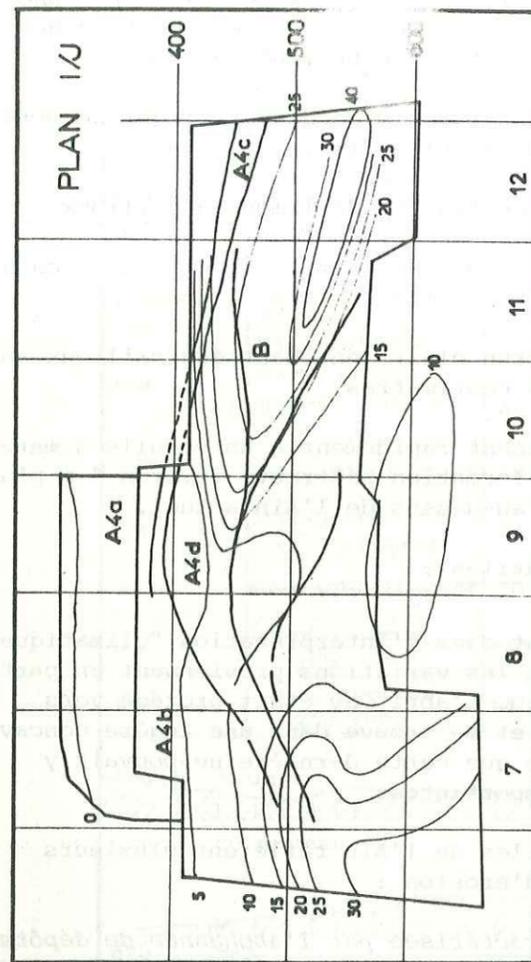


fig 9 Courbes d'égale teneur en calcaire établies sur la coupe I/J dans les bandes 6 à 12

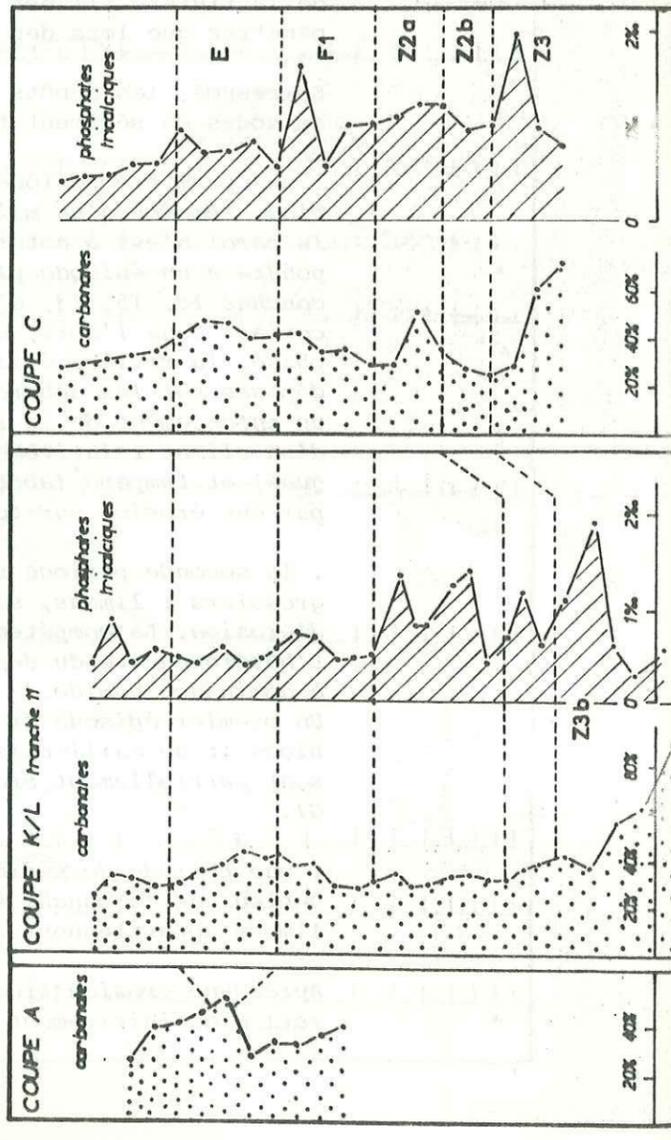


fig 8

a - Profils des teneurs en calcaire et en phosphate tricalcique établis sur trois coupes : A, C et sagittale

b - Profil des teneurs en calcaire de la coupe O/P : niveaux fluviaux

2. Les limons à blocs (couche F2) (fig 2, 3, 4) :

D'importantes chutes de blocs ont succédé au retrait de la rivière. La stratigraphie est évidemment délicate à établir dans un milieu aussi grossier. Deux foyers paléolithiques permettent de subdiviser la formation, qui sera cependant étudiée dans son ensemble.

- . F2e : blocs de toutes tailles (10 à 150 cm) accompagnés d'éboulis hétérométriques assez peu abondants. (Épaisseur maximale en dehors des blocs : 20 cm). Matrice de limon sableux brun clair. Par endroits, lentilles d'éboulis fins. Nombreux blocs éclatés sur place par le gel.
- . F2d : niveau d'occupation mince (2-3 cm) caractérisé par un limon sableux charbonneux et des vestiges lithiques attribués provisoirement au *Magdalénien supérieur* (ce niveau n'a été étudié que sur 2 m environ, dans les carrés L.M 14 et H 17).
- . F2c : blocs et cailloux à matrice de sables limoneux bruns. Ce niveau stérile en industrie sépare les foyers F2d et F2b de manière discontinue (épaisseur 0-10 cm). Ainsi dans le carré L 14, les deux niveaux charbonneux se touchaient pratiquement.
- . F2b : niveau d'occupation mince (5-10 cm) marqué par des limons charbonneux et plusieurs foyers, dont l'un (carré L 14) a été daté au 14C de 9710 ± 240 B.C. L'industrie associée est typiquement *azilienne*.
- . F2a : blocs de toutes tailles (10 à 80 cm) accompagnés d'éboulis qui deviennent plus abondants vers le sommet de la couche. Matrice de limon sableux brun clair. La limite supérieure de la couche est très estompée. L'industrie associée est *azilienne* (galets peints).

Dans la partie antérieure de l'abri, on observe des sédiments semblables à F2 mais totalement stériles en industrie (couches Z 3, Z 2 b). Seules des considérations géométriques permettent de les corrélérer (voir fig 3 et 4).

Les limons à blocs sont attribués à l'*Alleröd* par l'analyse palynologique (fig 24).

3. Les éboulis (fig 1, 2, 3, 4) :

Les éboulis forment la majeure partie du remplissage, atteignant une épaisseur impressionnante (3 à 6 m). Malheureusement, les vestiges archéologiques comme les repères stratigraphiques y sont rares. Il s'agit de dépôts de pente typiques qui ont progressivement envahi l'abri à partir de l'Est. Leur structure est celle d'un cône (fig 1) : en deçà d'un axe correspondant grossièrement à la tranche 8, les couches pendent vers l'intérieur de l'abri (5° à la base, 15° au sommet) au-delà elles s'inclinent vers la rivière, avec des pendages un peu plus forts. Cet axe correspond évidemment au surplomb de la falaise (fig 1).

Sur une coupe sagittale (fig 3), on constate que toutes les couches s'estompent ou disparaissent à l'approche de la crête du cône. Sur le versant extérieur, la stratigraphie est très différente, les sédiments sont beaucoup plus grossiers et hétérométriques. Cette disposition résulte d'un tri gravitaire, bien connu dans les cônes d'éboulis : les éléments les plus grossiers se regroupent au bas de la pente car leur énergie cinétique est forte au moment de la chute, et la rugosité de la pente n'est pas suffisante pour les arrêter. Ceci ne se vérifie cependant qu'à une grande échelle et pour les éléments de taille très différente. A l'intérieur d'une même couche on ne détecte pas toujours de classement gravitaire pour les cailloux.

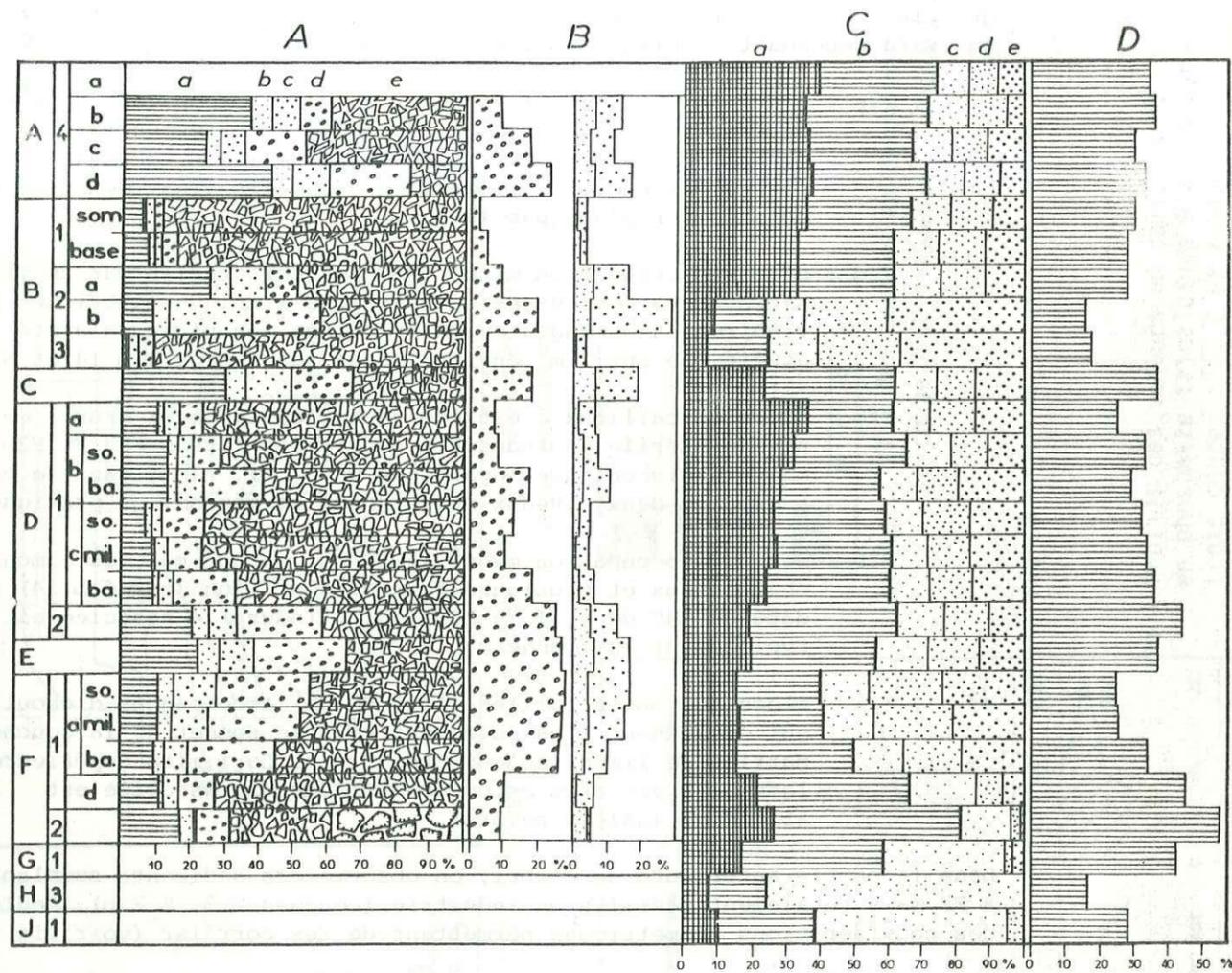


fig 10 Analyses sur la coupe A :

A - Variations de la granulométrie globale des sédiments

- a) fraction inférieure à 0,05 mm
- b) sables fins 0,05 à 0,2 mm
- c) sables grossiers : 0,2 à 2 mm
- d) granules : 2 à 10 mm
- e) cailloux : 10 à 100 mm
- f) blocs : supérieur à 100 mm

B - Fractions d, b, et c

C - Granulométrie des fractions inférieures à 2 mm (matrice)

- a) "argiles" : fraction inférieure à 0,002 mm
- b) limons : de 0,002 à 0,05 mm
- c) sables fins de 0,05 à 0,2 mm
- d) sables grossiers de 0,2 à 0,6 mm
- e) sables très grossiers : de 0,6 à 2 mm

D - Limons

Nous avons pris la précaution de prélever les séries d'échantillons d'éboulis sur des verticales, pour travailler sur des conditions de dépôt à peu près identiques.

A - Eboulis dans la partie interne de l'abri (au S de la tranche 12, fig 2)

- . F1 Eboulis anguleux à matrice argilo-limoneuse brune. (Épaisseur : 0 à 250 cm)

F1e : Eboulis assez hétérométrique mal stratifié

F1d : Blocs éclatés sur place et éboulis hétérométriques

F1c : Eboulis fin

F1b : Eboulis grossier

F1a : Eboulis assez fin et hétérométrique

Pas de tri gravitaire observable. Les limites des sous-couches sont floues.

- . E Eboulis fin à matrice argilo-limoneuse blanchâtre, tranchant nettement sur le reste de la coupe. Épaisseur : 10 cm. Pas de tri gravitaire observable. L'analyse palynologique, qui situait toute la couche F2 dans l'Alleröd, attribue la couche E au Dryas III. On peut donc admettre que les couches F1 datent également de cette période.

- . D2 Eboulis fin à matrice argilo-limoneuse brune, nettement plus sombre que les couches sous-jacentes. Ce changement de teinte constitue un bon repère stratigraphique dans tout l'abri. La couche D2 contient de menus fragments de charbon de bois, non organisés en niveau, et qui pourraient provenir d'un ancien feu de broussailles. La limite supérieure est toujours floue.

- . D1 (Épaisseur 120 à 130 cm). Grandes lentilles d'éboulis fins et grossiers à matrice argilo-limoneuse. Ces lentilles sont parfois obliques par rapport au pendage général de la couche. Dans certains secteurs de la coupe, les cailloux présentent une inclinaison préférentielle, inverse de la couche. Cette disposition résulte probablement d'un glissement "par paquets" du cône d'éboulis, comme on l'observe actuellement sur des éboulis non liés par une matrice. Les parties fines de ce sédiment se seraient donc infiltrées tardivement.

D1e : Eboulis assez fin, matrice abondante

D1d : Eboulis assez grossier, matrice peu abondante

D1c : Eboulis grossier, matrice peu abondante ou absente. Se prolonge vers le haut par des lentilles d'éboulis fin

D1b : Eboulis fin à matrice abondante

D1a : Eboulis grossier à matrice peu abondante ou absente

- . C Limon argileux enrobant des cailloux émoussés. Épaisseur : 0 à 10 cm. Cette couche n'existe que dans la partie est de l'abri dans la partie sommitale du remplissage.

- . B3 Eboulis très grossier avec peu ou pas de matrice. Vers le haut de la pente, la matrice devient plus abondante. A son sommet, cette couche est faiblement cimentée par de la calcite.

- . B2b Lentilles de concrétion blanche pulvérulente, observables dans les tranches H et I (épaisseur 2 à 5 cm).

- . B2a Limon blanchâtre ou rose, plus épais vers le bas de la pente (25 cm dans la tranche K) que vers le haut où il se présente en lentilles discontinues. Après une interruption de quelques mètres (anciennes fouilles) on retrouve ce limon dans la coupe C, contre la paroi. A cet endroit, il a livré quelques outils typiquement aziliens.

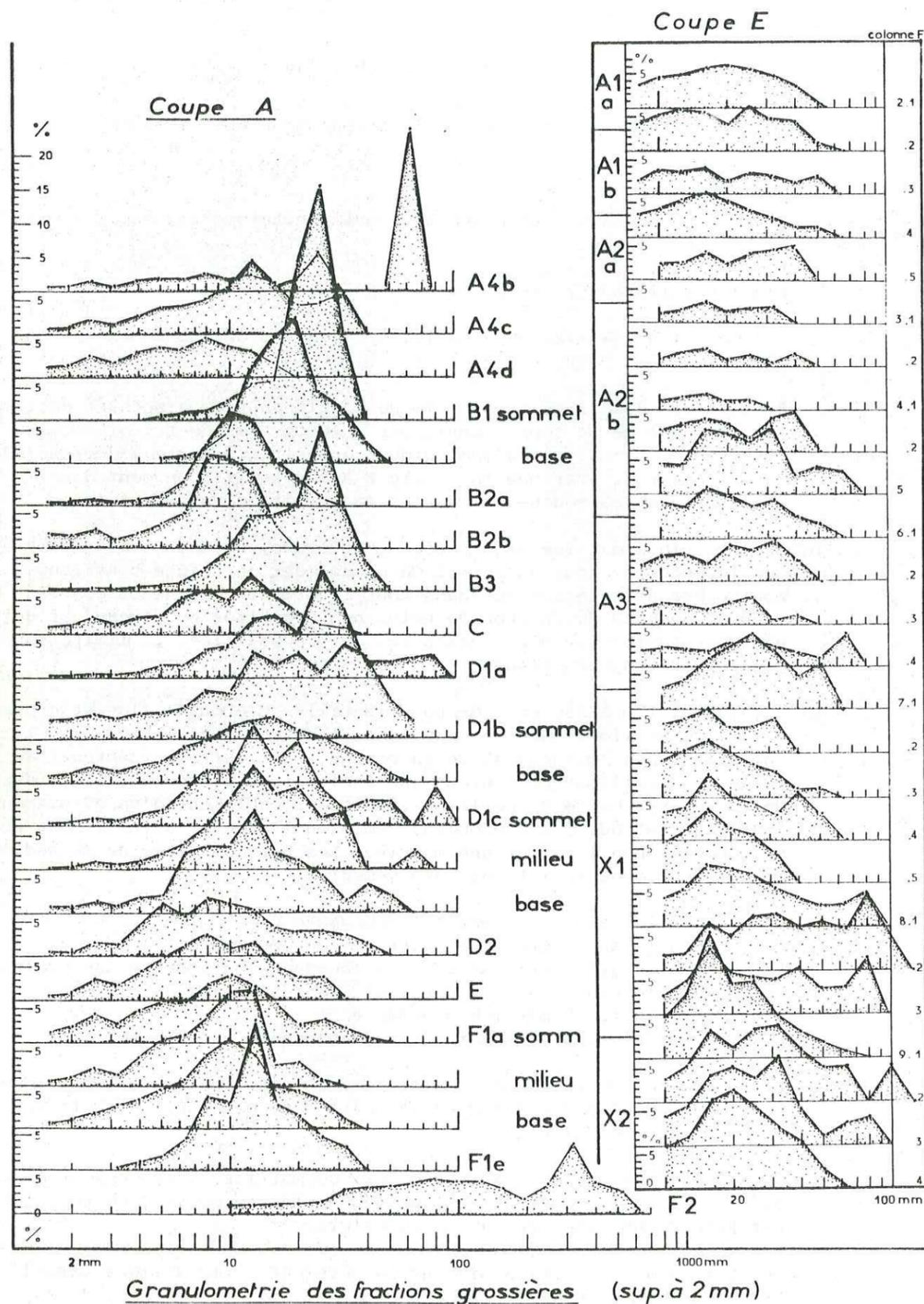


fig 11

Coupe A et E :

Granulométrie des fractions grossières (supérieure à 2 mm) exprimée en courbes de fréquences simples.

- . B1 Eboulis grossier avec peu ou pas de matrice. Cailloux non orientés. La position des couches B3 et B1 en retrait de l'aplomb de la falaise semble indiquer qu'elles se sont formées essentiellement par délitage thermoclastique du plafond.
- . A4d-c Cailloutis à matrice argileuse de teinte brun-rouge (A4c est plus caillouteux que A4d qui contient quelques blocs) (fig 3).
- . Fosse d'incinération gallo-romaine fouillée lors du sondage de 1966.
- . A4b Cailloutis à matière argileuse brun-rouge
- . A4a Argile limoneuse rouge-brun, contenant quelques cailloux et de nombreux galets de quartzite.

Voici les valeurs absolues des pendages des principales formations de cette coupe :

A : 25°	Les valeurs se situent entre 25 et 30°, ce qui est normal pour des éboulis gravitaires. La seule exception est formée par la couche E (20 à 23°). La faible inclinaison pourrait être l'indice d'un autre facteur de mise en place : solifluxion ou sol gelé.

B : 27-30°	

C : 25°	

D : 25°	

E : 20-23	

F1 : 25-28	

B - Eboulis dans la partie extérieure de l'abri (au Nord de la bande 12, fig 1, 3, 5) :

Seule une petite partie de cette zone a été explorée : le Nord-Ouest de l'abri. Ce secteur a dû favoriser le séjour de l'homme parce qu'il est relativement horizontal, tout en étant bien abrité. Au moment où l'abri était totalement envahi par les éboulis, cette zone qui se situe sur la crête des dépôts au point de rencontre de deux cônes, était certainement plus habitable que les deux versants.

a) Coupe C (fig 4) :

Haute de 425 cm et orientée Est-Ouest, cette coupe montre également les trois ensembles décrits précédemment : dépôts fluviatiles, limons à blocs, éboulis ; les 3/4 inférieurs sont presque stériles en industrie. En se rapprochant de la paroi les pendages diminuent, passant de 25° à 12° environ. On est donc là au pied du cône d'éboulis.

- les graviers et galets se raccordent sans problème aux formations précédentes.

- on retrouve à mi-hauteur la coupure E/D2 marquée par un changement de matrice (couleur et texture) et qui correspond au sommet du Dryas III.

Nous avons essayé de préciser les corrélations par l'étude sédimentologique.

- . Z3 limons clairs sans stratification apparente, enrobant des blocs de taille moyenne (10 à 30 cm), des éboulis peu abondants, et quelques galets calcaires. Epaisseur 20 à 40 cm.

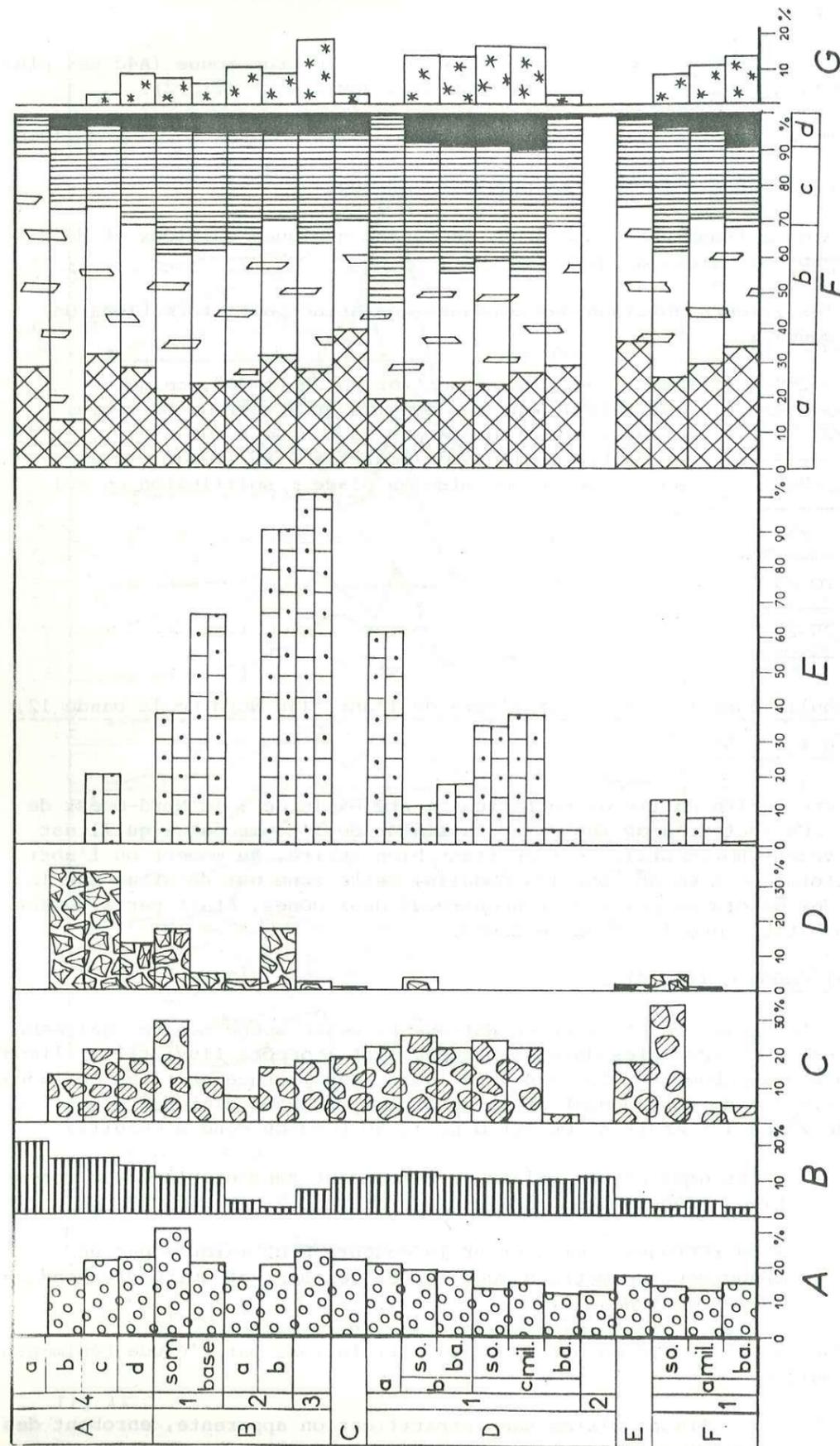


fig 12

Sédiments de la coupe A :

A - Porosité des cailloux entre 16 et 18 mm (rapport des poids sec et humide)
 B - Teneurs en matière organique établies sur la fraction inférieure à 0,05 mm
 C-D-E - Pourcentages de cailloux fissurés (C), craquetés (D) et portant des traces de concrétionnement (E), calculés par rapport au nombre total de cailloux.

F - Forme des cailloux : a - polyédres, b - prismes, c - plaquettes épaisses, d - plaquettes minces
 G - Plaquettes gélives

- . Z2a et b limons sableux brun clair enrobant des cailloux anguleux et quelques blocs métriques. Epaisseur totale entre 80 et 110 cm. Les subdivisions portent sur de légères variations de teinte. Le nombre de cailloux augmente vers le sommet.
 - . Z1 éboulis assez fin à matrice argilo-limoneuse. Cette couche (épaisseur 0 à 30 cm) se compose de plusieurs lentilles plus ou moins fines mal délimitées.
 - . E éboulis fin ou très fin à matrice argilo-limoneuse. Se compose également de plusieurs lentilles
 - . D2 éboulis assez grossier à matrice argilo-limoneuse brune peu abondante ou absente (structure d'open-work dans les tranches M et N). Vers la paroi : (tranche O) les cailloux présentent une orientation préférentielle inverse de la couche. La base est riche en menus fragments de charbon. La limite supérieure est floue.
 - . Y7 lentille de cailloux à matrice argileuse brun sombre.
 - . Y6 éboulis hétérogène formé de nombreuses lentilles, plus ou moins grossières. Matrice limono-argileuse. Indices d'industrie tardenoisienne. Epaisseur : 80 cm.
 - . Y5 = B2a limons jaunes à texture granuleuse ; quelques éboulis anguleux et quelques galets calcaires. Cette lentille a fourni quelques pièces typiquement aziliennes dont la position aussi haute dans la stratigraphie pose un problème. Epaisseur : 30 cm.
 - . YA à Y2 éboulis à matrice argileuse brun rouge, abondante. Les subdivisions se basent sur l'abondance relative en cailloux.
 - . Y1 argile brun rouge à cailloux. Cette couche contenait plusieurs foyers avec des entourages de pierres. Une datation au 14C a fourni 5 490 B.P. \pm 110 (Ly-513). L'industrie associée peut être provisoirement qualifiée de "Néolithique de tradition tardenoisienne".
- Au contact de la paroi, une zone de 50 cm environ témoigne d'un brassage naturel qui a fait disparaître toute stratification.
- b) Coupe E (fig 5) :
- Les couches sont subhorizontales sur 3 m environ, puis sont relayées par un dépôt de pente très hétérométrique et mal stratifié. La matrice des éboulis est plus "terreuse" : sa structure est grumeleuse ou pulvérulente. Ses teintes sont plus sombres que celle des sédiments précédents.
- . X2 éboulis grossier avec peu ou pas de matrice (open work) épaisseur indéterminée.
 - . X1 éboulis hétérométrique assez grossier à matrice argileuse brune (Epaisseur 50 cm). Cette couche a fourni un peu d'industrie lithique non déterminable pour l'instant.
 - . A3 argile limoneuse brune contenant peu de cailloux. Vers l'extérieur (tranche 5-6) on observe une épaisse zone de foyer. D'après l'industrie lithique, peu abondante, cette couche serait Mésolithique ou Néolithique.
 - . A2c niveau (10 cm) de petits blocs et cailloux.

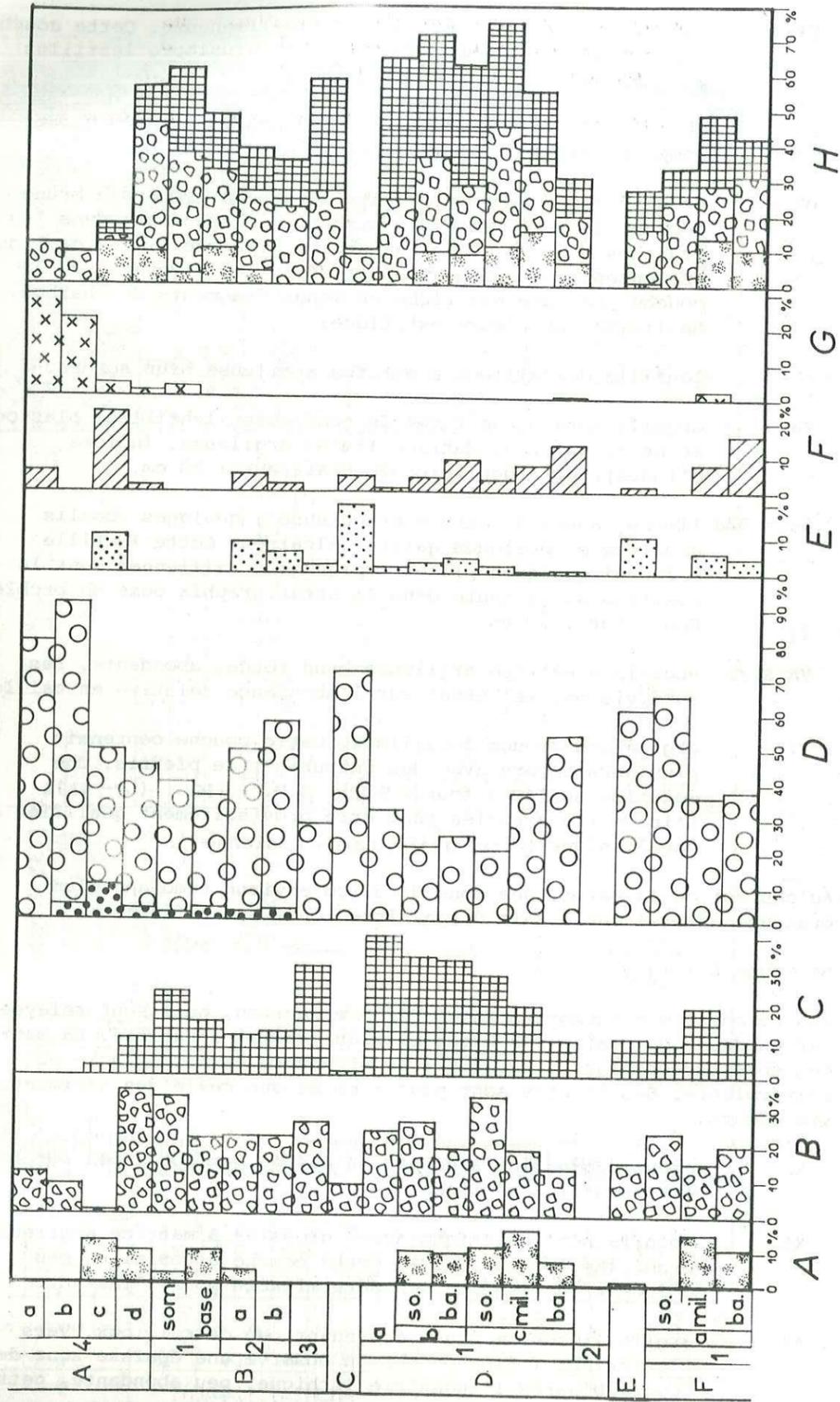


fig 13

Etats d'altération des cailloux de la coupe A :

- A - Cailloux corrodés sur une face, les autres étant non altérées
- B - Cailloux usés sur une face, les autres étant non altérés
- C - Cailloux non altérés
- E - Cailloux plus usés sur une face que sur les autres
- F - Cailloux usés et corrodés
- G - Galets siliceux
- H - Cailloux à faces non altérées : 1 + 2 + 3

- . A2b argile limoneuse brune recelant des vestiges chalcolithiques et Bronze ancien (Epaisseur : 20 cm).
- . A2a éboulis à matrice argilo-limoneuse brune. Vestiges du Bronze final III.
- . A1b éboulis fin à matrice argilo-limoneuse brune. Vestiges : Tène et Hallstatt. Deux fosses creusées dans les sédiments antérieurs appartiennent à cette couche.
- . A1a éboulis hétérométrique à matrice argilo-limoneuse brun sombre. Vestiges : Gallo-romains et médiévaux.

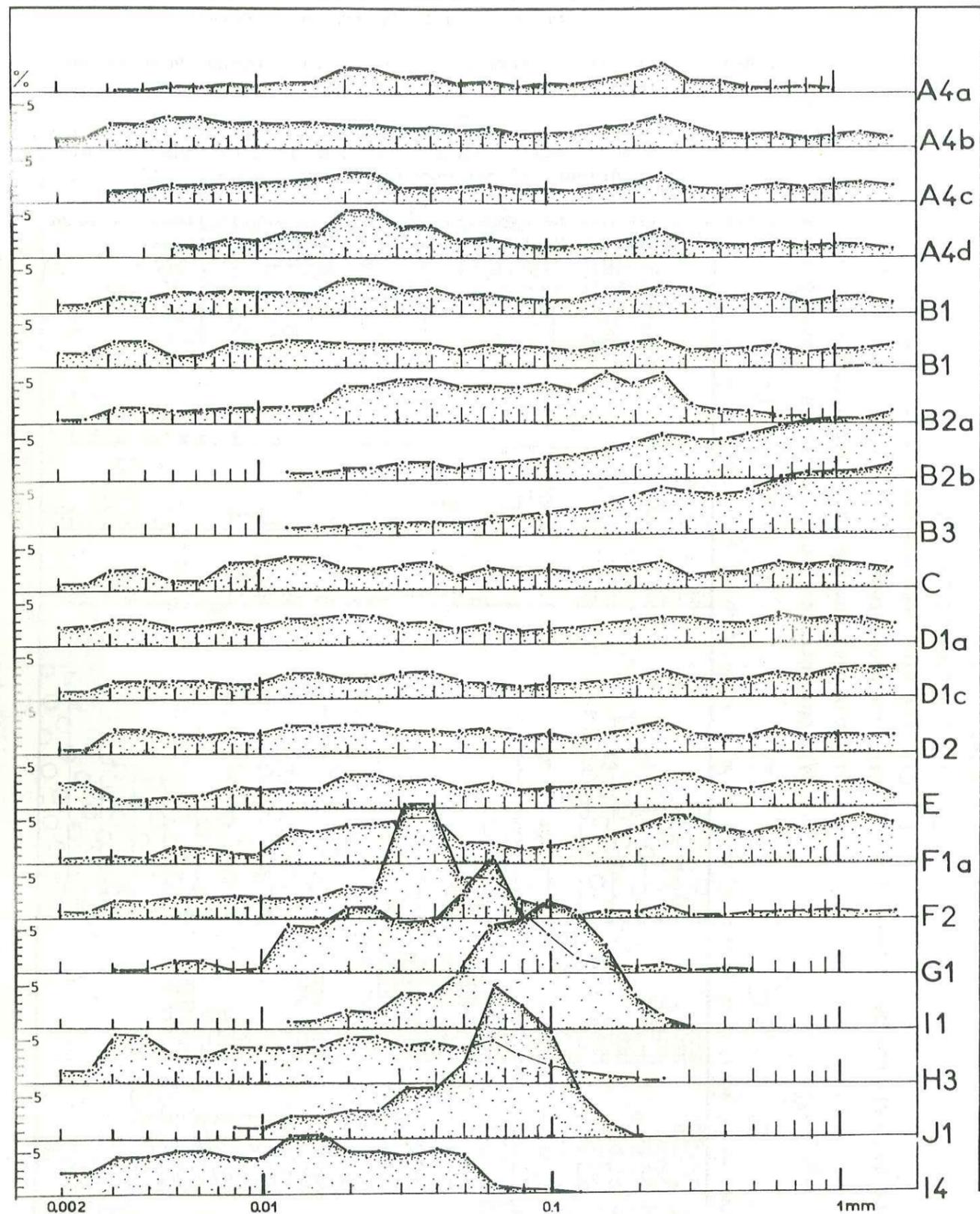
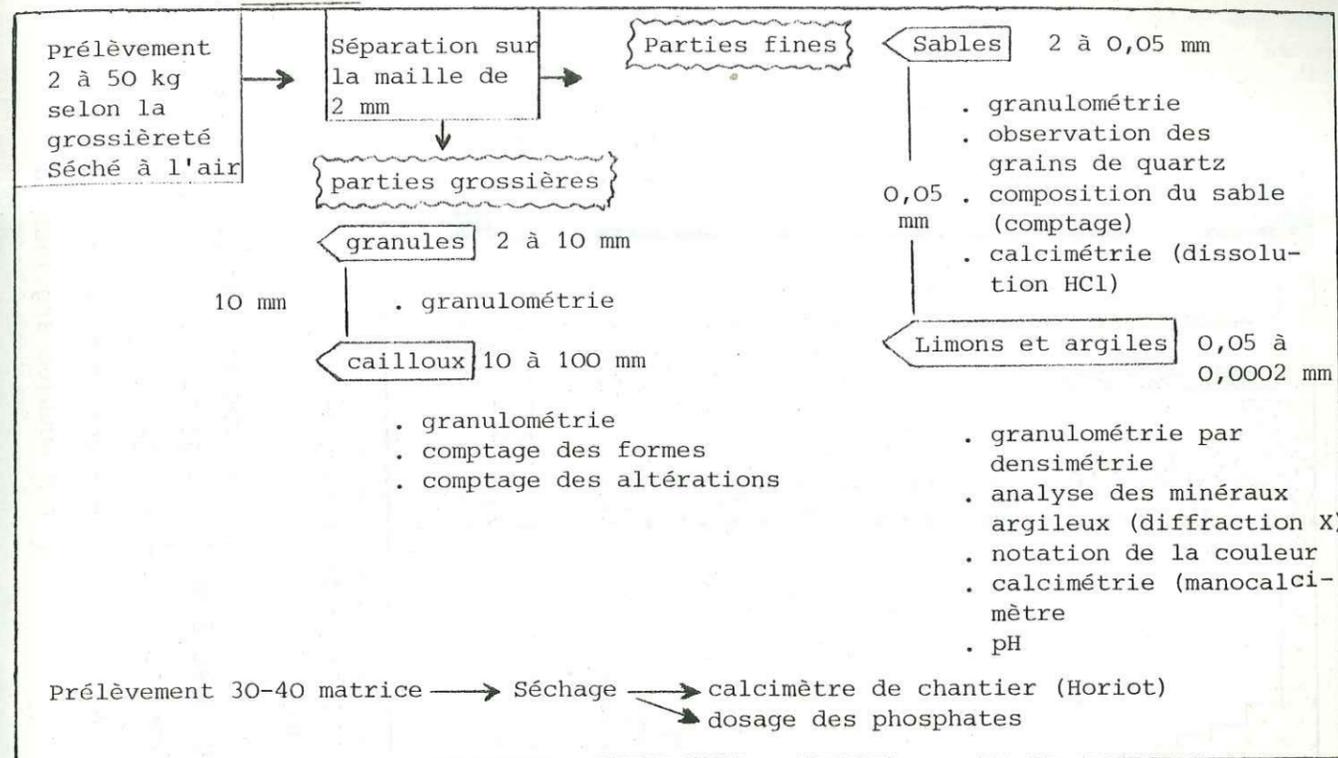


fig 14

Coupe A et sédiments fluviaux : granulométrie des fractions fines (inférieures à 2 mm) exprimées en courbes de fréquences simples

V - ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES :

1. Méthodes :



Les analyses utilisées ne diffèrent pas de celles appliquées au remplissage de la grotte des Romains. Mais devant la grande monotonie des sédiments, nous avons surtout utilisé deux méthodes : granulométrie et calcimétrie, complétées par les analyses des argiles et l'étude des cailloux. La calcimétrie, effectuée systématiquement sur la fraction inférieure à 0,5 mm donne des valeurs suffisamment constantes à l'intérieur d'une même couche et cependant assez différentes d'une couche à l'autre, pour étayer les corrélations dans les zones problématiques. Dans l'abri Gay, c'est donc un outil de travail très utile. Nous avons essayé d'exploiter au maximum cette méthode relativement simple.

- en comparant la calcimétrie des fractions argilo-limoneuses et des fractions sableuses (fig 15).

- en multipliant les analyses sur les couches dans les zones où celles-ci sont bien définies : les résultats, groupés en histogrammes de fréquences donnent des intervalles de valeurs qui servent de références aux analyses ultérieures (fig 7).

- en traçant le "profil" des teneurs en calcaire pour chaque coupe (fig 8a et 8b). On constate que, malgré les problèmes d'échantillonnages, les valeurs évoluent généralement de manière progressive.

- en traçant des cartes d'égale teneur en calcaire : on peut ainsi mettre en évidence une stratification dans des zones particulièrement "ingrates" (fig 9).

Parallèlement aux profils des calcaires, nous avons dressé quelques profils des teneurs en phosphates tricalciques (fig 8a). Ces derniers étaient dosés sur le chantier même par une méthode assez simple : les phosphates, dissous à chaud dans HCl, sont précipités au molybdate d'ammonium : on mesure la quantité de précipité qui donne un ordre d'idée des teneurs. Cependant, les profils obtenus sont d'une interprétation délicate.

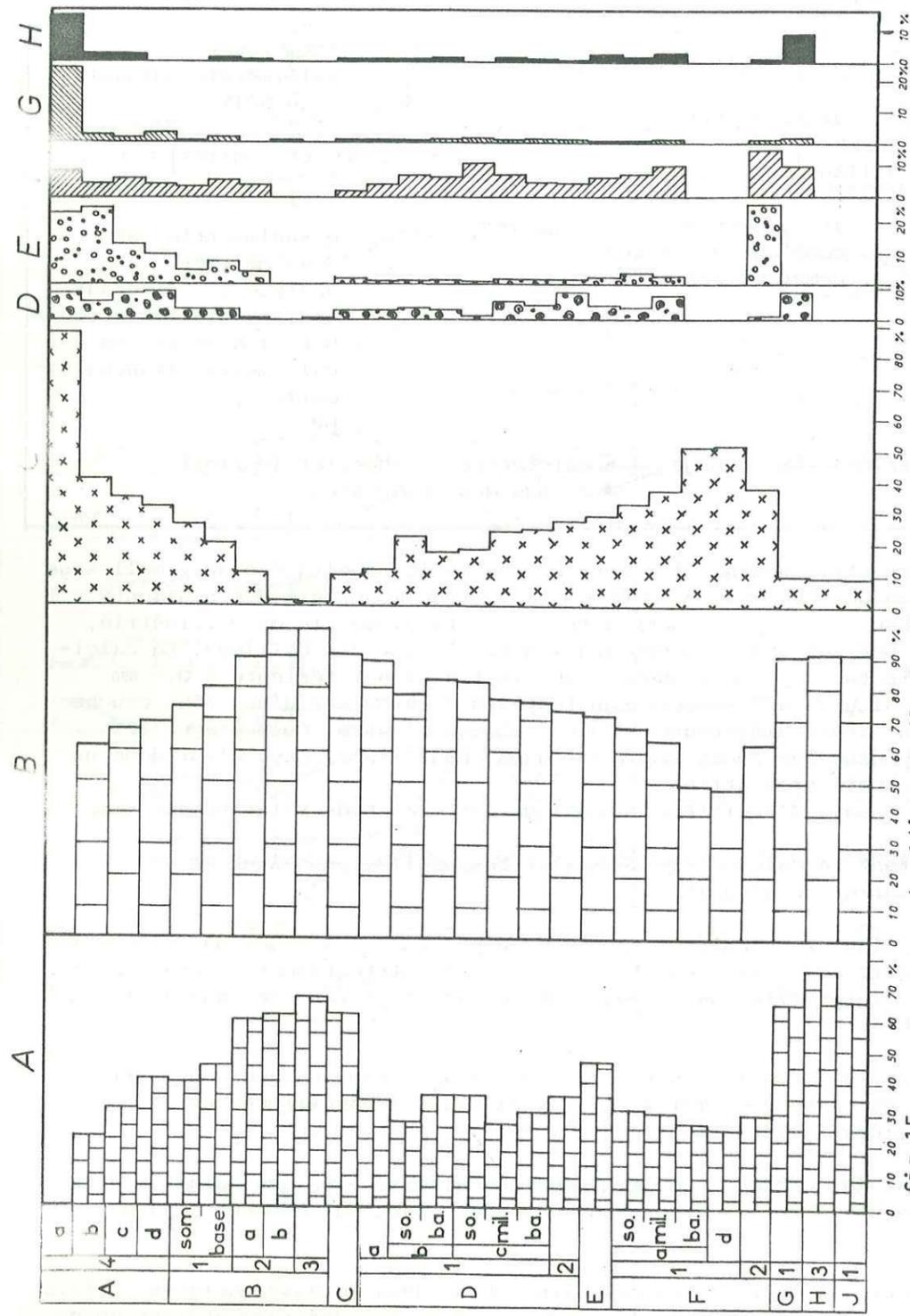


fig 15 Coupe A et sédiments fluviatiles : analyse de la matrice

A - Teneurs en carbonates de la fraction inférieure à 0,05 mm

B - Teneurs en carbonates de la fraction sableuse : 0,05 à 2 mm

C - Pourcentage d'éléments insolubles à l'acide HCl entre 0,05 et 2 mm

D à H - Comptages sur la fraction sableuse, pourcentages numériques :

- D - Fragments de gastéropodes
- E - Billes de calcite
- F - Grains de calcite cristallisée
- G - Grains de quartz hyalin
- H - Nodules argileux noirs

En granulométrie, nous avons beaucoup utilisé les histogrammes simples (fig 11, 14, 18, 19). Considéré comme archaïque, ce mode de représentation se prête cependant particulièrement bien à la représentation des sédiments de grottes : comme il s'agit le plus souvent d'un mélange entre des stocks sédimentaires très différents (par exemple argiles et blocs), les indices classiques (qu'on est obligé d'appliquer ainsi à des courbes plurimodales) donnent des valeurs aberrantes. Les sédiments sont mieux caractérisés par leurs modes que par les médianes.

L'analyse des formes d'altération comprend 7 catégories, établies d'après le schéma suivant (plus logique que l'analyse appliquée à Pierre-Châtel) :

Etat de la paroi :	Le gel détache des cailloux :	Les cailloux ne subissent aucune action :	Humidité : les cailloux sont "usés" :	Gel : les cailloux sont divisés :
non altérée :	toutes les faces sont fraîches :	toutes les faces sont "usées" :	toutes les faces sont "usées" :	faces usées et faces non usées :
paroi "usée" :	une face usée, les autres sont non usées :	une face est plus usée que les autres :	une face est plus usée que les autres :	faces non altérées, faces usées, faces corrodées :
paroi corrodée :	une face corrodée, les autres sont non corrodées :	une face corrodée, les autres sont usées :	une face corrodée, les autres sont usées :	faces non altérées, faces usées, faces corrodées :

L'abondance de faces non altérées signifie donc avant tout que le sédiment n'a pas subi d'action humide, ou bien qu'il a subi successivement une phase humide, puis une phase froide : mais dans ce cas, on observe aussi de la comminution.

La "corrosion" n'a pas d'interprétation climatique précise pour le moment. Nous la considérons comme une manifestation possible de l'humidité.

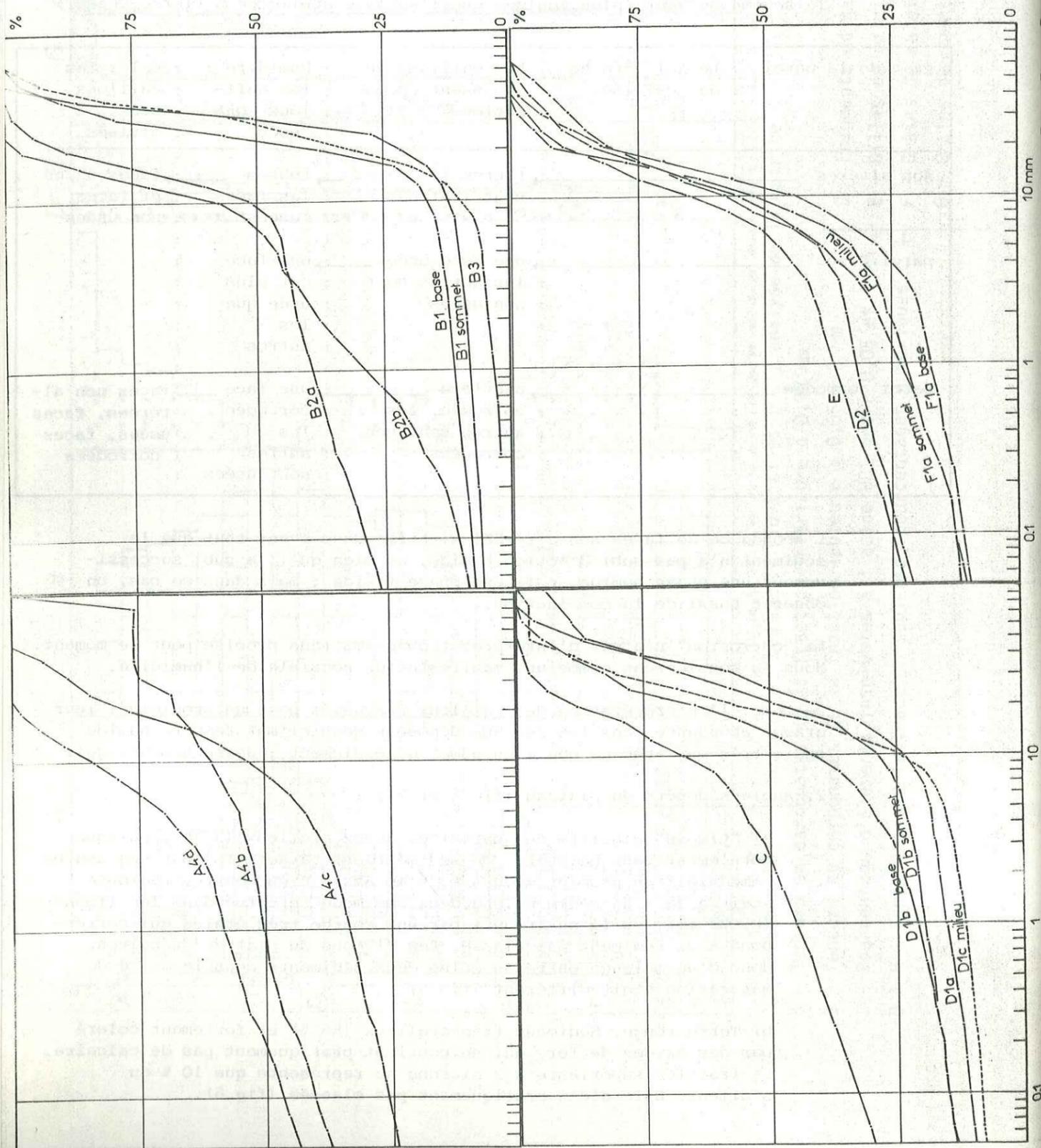
De même, l'interprétation des cailloux craquelés pose un problème : leur grande abondance dans les couches déposées sous climat tempéré humide cadre très mal avec ce que l'on admet généralement : dessèchement, gel.

2. Anciens dépôts du plateau (fig 6 et 21) :

a) "Limons" à galets de quartzite. Assez argileux (35 %), puisque totalement sans calcaire, ce sédiment est caractérisé par une courbe bimodale : un premier mode à 0,25 mm assez bien centré, regroupe environ 35 % du sédiment. Le deuxième mode se situe dans les limons (0,022 mm), où il se traduit par une courbe très étalée qui correspond à un sédiment mal classé. Les "limons du plateau" résultent donc d'un mélange entre au moins deux sédiments dont le degré de maturation était différent (fig 6).

b) Terre rouge. Sédiment très argileux (56 %) et fortement coloré par des oxydes de fer, qui ne contient pratiquement pas de calcaire. La fraction supérieure à 2 microns ne représente que 10 % du sédiment. Elle n'est pratiquement pas classée (fig 6).

fig 16
Sédiments de la
Coupe A :
granulométries
globales exprimées
en courbes de
fréquences cumulées



Ce genre de sédiment se forme sous des conditions hydrolysantes (climat méditerranéen, par exemple). Son apparition dans la grotte est donc à relier à la plus récente période tempérée (Atlantique ?) à moins qu'il ne s'agisse tout simplement du remaniement des anciennes argiles rouges qui colmatent le karst. Mais on comprend mal pourquoi cette remobilisation ne serait pas intervenue plus tôt dans l'histoire du remplissage.

3. Sédiments fluviatiles :

Trop hétérogène et mal définie dans le temps, cette formation se prêtait mal à des analyses systématiques. Nous avons essayé de caractériser les sables et limons pour pouvoir détecter des remaniements éventuels.

Sables : I8, I5, H5, H3 : Bon classement, médiane variable (exemple I1 : $Md = 0,09$ mm, $Hé = 0,45$), les teneurs en argiles sont très faibles (3 à 9 %) (fig 6, 10, 14). La teneur en calcite est assez constante et oscille autour de 84 % (voir analyses fig 7 et 8), le reste étant constitué de limons et sables fins siliceux (essentiellement du quartz). Les "varves" correspondent à de légères variations des teneurs en argile, ce qui se répercute sur la teneur en calcaire (les lits fins sont moins calcaires, teneur autour de 80 %).

Limons calcaires : I6, I4, I2, H4 : Sédiments gris, remarquables par leur finesse et leur thixotropie, qui contiennent entre 15 et 30 % d'argile. La fraction calcaire (72 % en moyenne), formée de grains plus ou moins roulés, présente généralement une courbe de fréquences simples très étalée : les modes, très peu accusés, se trouvent entre 30 et 130 microns (fig 6 et 14). Ces sédiments, déposés par un courant très lent, n'ont été transportés que sur une courte distance. L'abondance relative des argiles et la finesse du sédiment semblent caractériser des périodes de faible ruissellement, pendant lesquelles la destruction (dissolution et fractionnement) du calcaire était importante : *épisodes froids à couverture nivale* ? Cette interprétation se heurte à l'absence totale d'éléments cryoclastiques.

Sables limoneux : J1, G1 (fig 6 et 14) : La couche J1 comporte surtout des sables fins (mode de 0,065 mm) et environ 28 % de limons. Sa forte teneur en calcaire (80 %) (fig 7) la rapproche des sables analysés plus hauts.

Le sédiment G1 présente plusieurs particularités : sa teneur moyenne en calcaire est à 64 % (fig 7), plus faible donc que celle des sédiments précédents. Sa courbe de fréquences est bimodale (fig 6 et 14). Un premier mode à 0,063 mm regroupe 50 % du sédiment et rappelle les sables J1. Le mode secondaire, à 0,023 mm, comprend 40 % du sédiment. Le classement global est assez mauvais ($Qd\phi = 1,05$) ce qui indique un transport peu poussé. *Les sables limoneux G1 proviendraient donc d'un remaniement d'autres sédiments fluviatiles*, ce que confirme d'ailleurs leur faible teneur en argiles. On peut se demander s'il s'agit véritablement d'un sédiment fluviatile ou plutôt d'un *limon éolien*. L'absence de litage, la faible teneur en argiles qui différencie G1 des autres "limons calcaires", la grande finesse du sédiment et sa bimodalité s'accommoderaient avec cette hypothèse. Mais on ne peut pas en avoir la certitude : l'érosion frontale du dépôt pourrait indiquer que la rivière était encore très proche. L'analyse palynologique (fig 24) indique le début de l'Alleröd avec un climat tempéré frais.

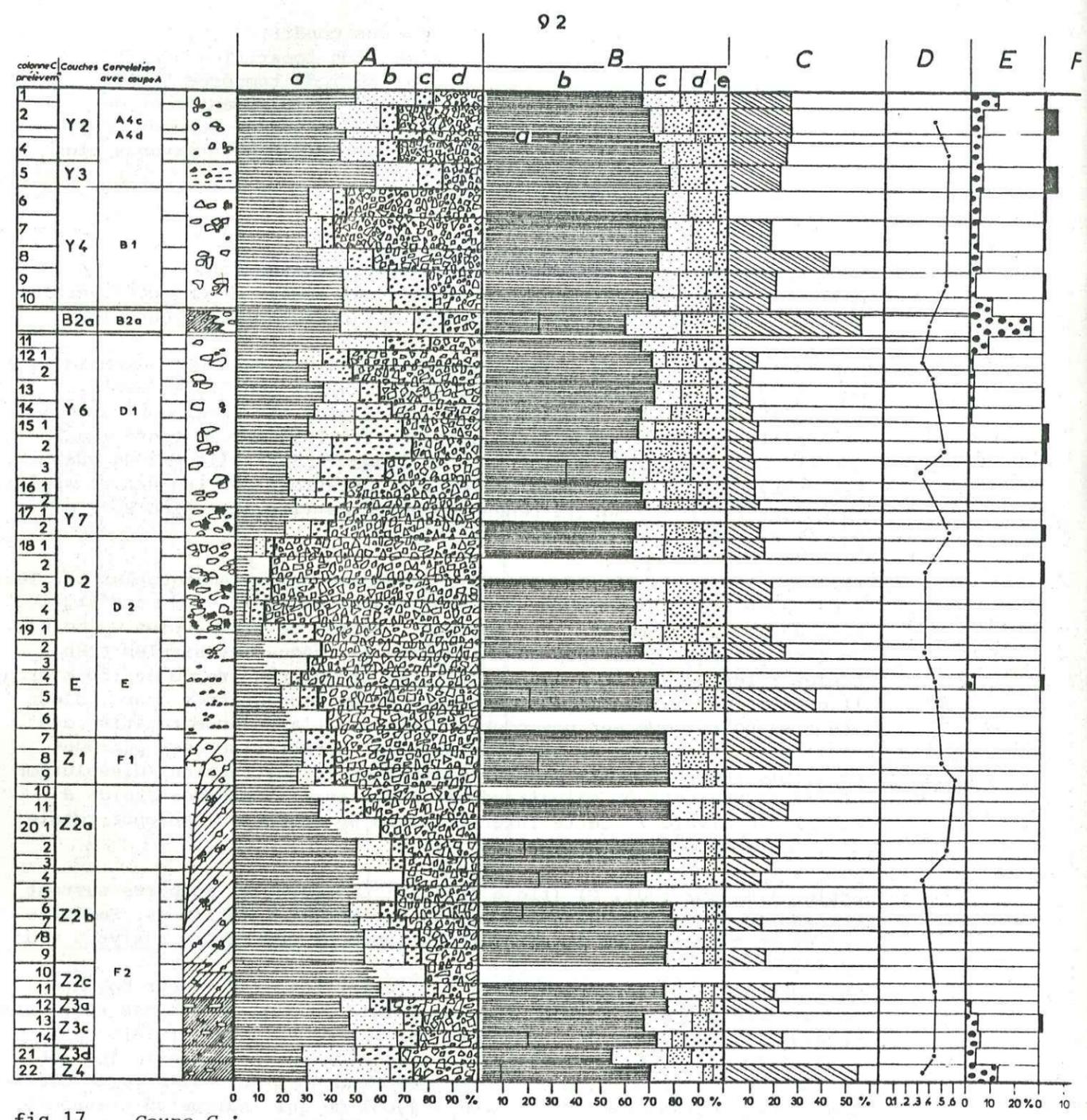


fig 17 Coupe C :

- A - Granulométrie globale :
 - a) limons et argile
 - b) limons
 - c) granules
 - d) cailloux
- B - Granulométrie de la fraction inférieure à 2 mm :
 - a) argile
 - b) limons
 - c) sables fins
 - d) sables grossiers (0,2 à 0,6 mm)
 - e) sables très grossiers (0,6 à 2 mm)
- C - Teneur en carbonates (calcite) de la fraction inférieure à 0,05 mm
- D - ΔpH
- E - Proportion d'éléments fluviaux dans la fraction 0,6 à 10 mm
- F - Proportion de galets cristallins

4. Les limons à blocs (dans la partie profonde de l'abri) :

La courbe des blocs (fig 11, base), établie d'après des comptages sur photographies montre un mode très asymétrique à 400 mm (l'échantillon est sans doute insuffisant) et une courbe très aplatie entre 40 et 120 mm. Les granules sont relativement abondants (10 %) (fig 10 A). Il faut remarquer que ces blocs ne proviennent pas d'un écoulement brutal, mais sont tombés peu à peu : ils ne reposent pas tous sur le même niveau. On ne peut pas à priori attribuer cette "chute de blocs" à une phase froide, bien que le sédiment présente quelques indices de froid : le limon calcaire sous-jacent est par endroits profondément craquelé ; la grande majorité des blocs est éclatée sur place, formant par endroits des lentilles de cailloux sans matrice, phénomène de comminution qui explique la bimodalité de la courbe : les éléments les plus grossiers se désagrègent en éléments nettement plus petits, acquérant un faible tri. Cependant, la comminution n'est pas poussée au maximum, loin de là. Il s'agissait probablement d'un climat frais en hiver mais tempéré dans l'ensemble. La matrice de ce sédiment (fig 10 C) est un limon (48 %) argileux (26 %) dont la teneur en calcaire se situe généralement autour de 44 % (fig 7). Les valeurs plus faibles de calcimétrie proviennent du fait que le sédiment est localement plus argileux. On constate par ailleurs que la partie sableuse du sédiment (fig 15 B-C) est nettement plus siliceuse que celle de tous les sédiments fluviaux analysés (38 % contre 10 %), ce qui indique des apports en provenance du plateau. Les courbes granulométriques (fig 14) montrent un mode bien exprimé à 0,035 mm (45 % du sédiment). Les parties plus fines sont mal triées. Ce sédiment s'est probablement mis en place par un ruissellement doux, qui a provoqué un tri et fait disparaître les modes caractéristiques du limon de plateau. Les galets cristallins sont très rares, ce qui exclut des ruissellements plus violents. Les limons à blocs témoignent donc d'un climat à la fois tempéré, frais, humide. L'intensité maximale du froid, à en juger d'après l'éclatement des blocs, semble contemporaine du premier foyer. L'humidité était probablement forte et constante, même si elle ne se traduisait pas par des pluies violentes.

Corrélations (fig 22) : La couche à blocs est plus ou moins présente dans toute la zone fouillée de l'abri, bien que les blocs soient beaucoup moins nombreux dans la partie antérieure. Dans la base de la coupe C, (fig 4) (couches Z2b, Z3) les parties fines des sédiments présentent des caractéristiques analogues : un tri assez bon dans les limons (les modes varient entre 0,02 mm et 0,04 mm) et des teneurs en argiles entre 20 et 26 %.

5. Eboulis de la coupe A :

Dans la partie profonde de l'abri (fig 2), les limons à blocs ont été peu à peu recouverts par le cône d'éboulis. Petit au début (couche F1d, F1c) ce cône atteint la tranche M à la fin du Dryas III (couche E) puis s'épaissit et rend le fond de l'abri inhabitable.

a) Couches F1 et E : le pourcentage de cailloux, élevé au départ (72 %) diminue progressivement de moitié, tandis que la quantité de matrice augmente (fig 10). Les granules sont très abondants dans tout cet ensemble, sauf dans F1d. Les courbes de fréquences simples (fig 17) sont relativement symétriques et montrent que ces cailloux sont assez bien triés. Le mode diminue de bas en haut : les fragments sont donc de plus en plus petits. Il ne s'agit pas ici d'un classement gravitaire qui serait observable dans la coupe, mais plutôt de l'action du gel sur le sédiment en place. La couche E semble marquer le maximum du froid, puisque l'amenuisement des cailloux y est le plus marqué. Cette gélifraction a probablement été favorisée par la présence d'une couverture nivale, condition idéale pour l'éclatement des fragments de roche : humidité constante et nombreux cycles de gel-dégel.

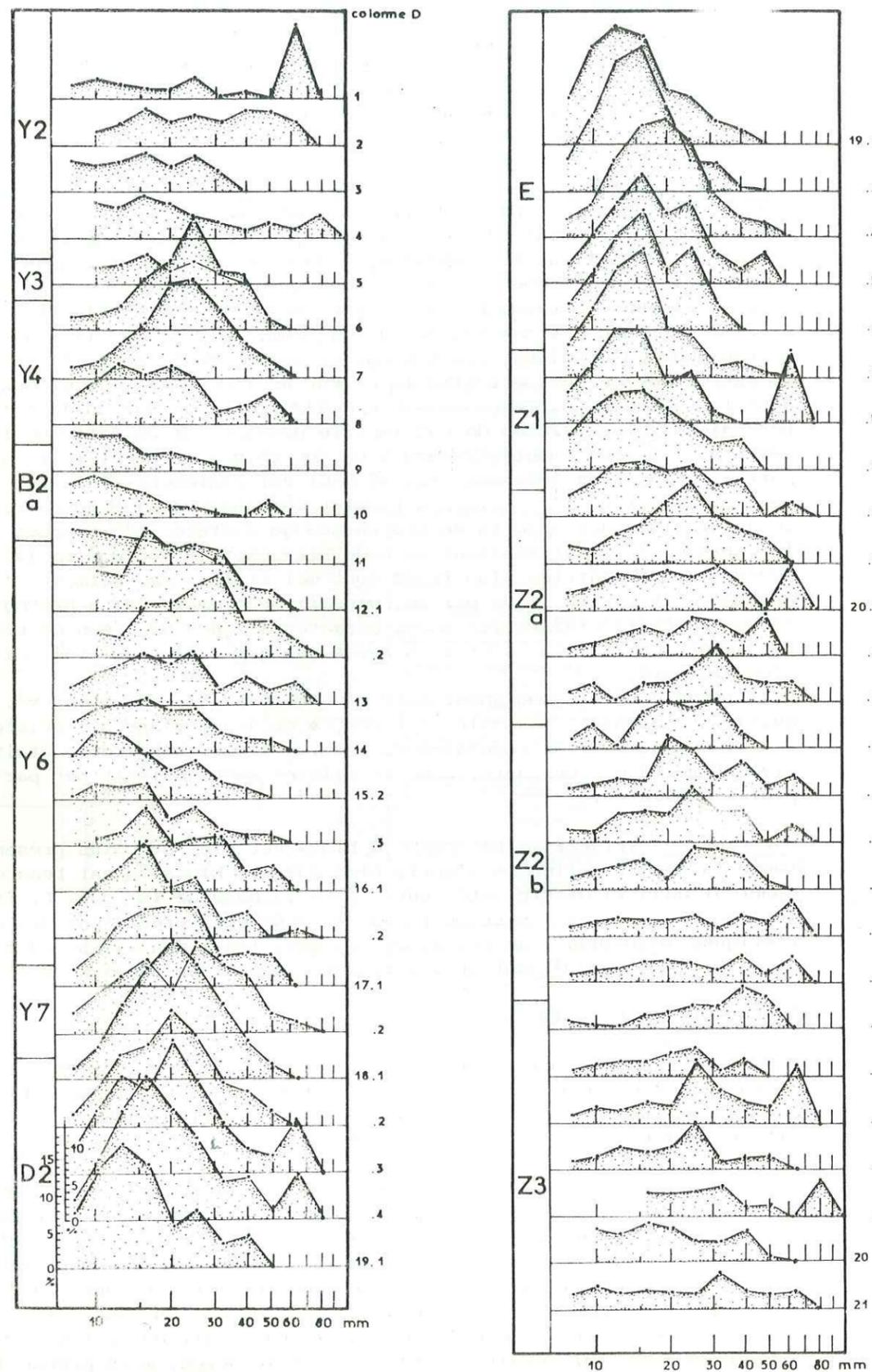


fig 18 Coupe C :

granulométrie des cailloux exprimée en courbes de fréquences simples

Au sommet de F1 et en E, plus de 60 % des cailloux sont faiblement usés sur toutes les faces, et 20 % le sont en partie (fig 13, A, B, D), ce qui confirme une certaine humidité, attestée par l'analyse de la matrice (fig. 10 C, 14, 15) : la fraction inférieure à 0,05 mm est très abondante à la base de F1 mais diminue vers le haut, tandis que le pourcentage global de matrice augmente : les petits fragments calcaires deviennent plus abondants, ce que souligne la calcimétrie des sables (fig 15 B) et des limons (fig 15 A). Les apports de sable siliceux et d'argile diminuent. *L'humidité est encore bien marquée, mais un peu moins importante que pour la couche F2.*

b) Couche D : la base de cette couche marque une rupture dans le remplissage : la matrice prend une texture grumeleuse ; elle se charge légèrement en argile (fig 10 C), et surtout en matière organique (fig 12, 13), ce qui confère aux couches supérieures une teinte plus sombre. C'est sans doute la trace d'une *pédogenèse plus active* sur le versant, qui accompagne un brusque *adoucissement du climat*. La couche D2 ressemble encore beaucoup à E, par la finesse de ses constituants (médiane des cailloux à 10 mm) (fig 11). Mais il s'agit probablement là du *remaniement de sédiments accumulés sur le versant* et formés durant la phase précédente.

La granulométrie des cailloux de D1 montre que le sédiment devient de plus en plus grossier vers le sommet de la couche (fig 11). Les cailloux sont assez mal triés, leurs courbes de fréquences sont anguleuses. Les granules sont moins abondants que dans l'ensemble E-F (fig 10 A). Ce sédiment est donc assez peu évolué. Les glissements "par paquets" évoqués dans le chapitre V.3.A sont le signe d'une *mise en place assez rapide*. L'abondance de matrice est variable (fig 10 C) : elle diminue de bas en haut dans chacune des sous-couches étudiées. Le taux d'argile augmente très régulièrement (19 à 57 %) ce qui parle en faveur d'un réchauffement progressif. La calcimétrie montre que la proportion de sables (fig 15, C) siliceux ne cesse de diminuer. D'après ce critère, on assiste donc à un *assèchement progressif du climat*. On peut remarquer que le couvert végétal a pu ralentir les ruissellements en provenance du plateau. Cependant, la proportion des cailloux à "toutes faces fraîches" augmente (fig 13, C), ce qui confirme bien l'assèchement. Le tri de la fraction fine est pratiquement nul, bien qu'on reconnaisse les deux modes caractéristiques du limon de plateau (fig 14). Ceci pourrait s'expliquer par un mode de transport différent : le limon siliceux n'est plus transporté tel quel mais entre dans la composition de la terre végétale qui arrive dans l'abri sous forme de petits grumeaux : il ne peut donc plus subir de tri véritable. Dans le milieu de D1c les concrétions en "choux-fleurs", présentes déjà dans les couches F, deviennent assez abondantes. Vers le haut, elles deviennent beaucoup plus rares, probablement à cause de l'assèchement du climat. Un autre type de concrétions les relaye.

c) Couche C : La proportion de cailloux (fig 10 A) est beaucoup plus faible (30 %) que dans les couches précédentes. Les cailloux, sont bien triés (fig 11) et semblent avoir été roulés : leur émoussé est trop fort pour provenir de la seule humidité (fig 13 D). Les formes trappues (polyèdres) sont particulièrement abondantes (fig 12, F).

Dans la matrice, le taux d'argile est un peu plus faible (24 %) que pour la couche sous-jacente (37 %). La fraction inférieure à 0,05 mm est particulièrement calcaire (62 %), et le pourcentage de silice dans les sables est très faible (fig 15) : il n'y a donc pas eu d'apport spécial de limons. Ces arguments apparemment contradictoires semblent indiquer que *la couche C est le résultat d'une pluie très violente* qui a provoqué un ruissellement assez fort sur le versant. Mais cet événement est probablement exceptionnel, et il ne s'agit pas d'une phase humide. Au contraire, la raréfaction du sable siliceux dans l'abri indique que *l'assèchement du climat se poursuit*.

Coupes C et E : granulométrie des fractions fines (inf à 2mm)

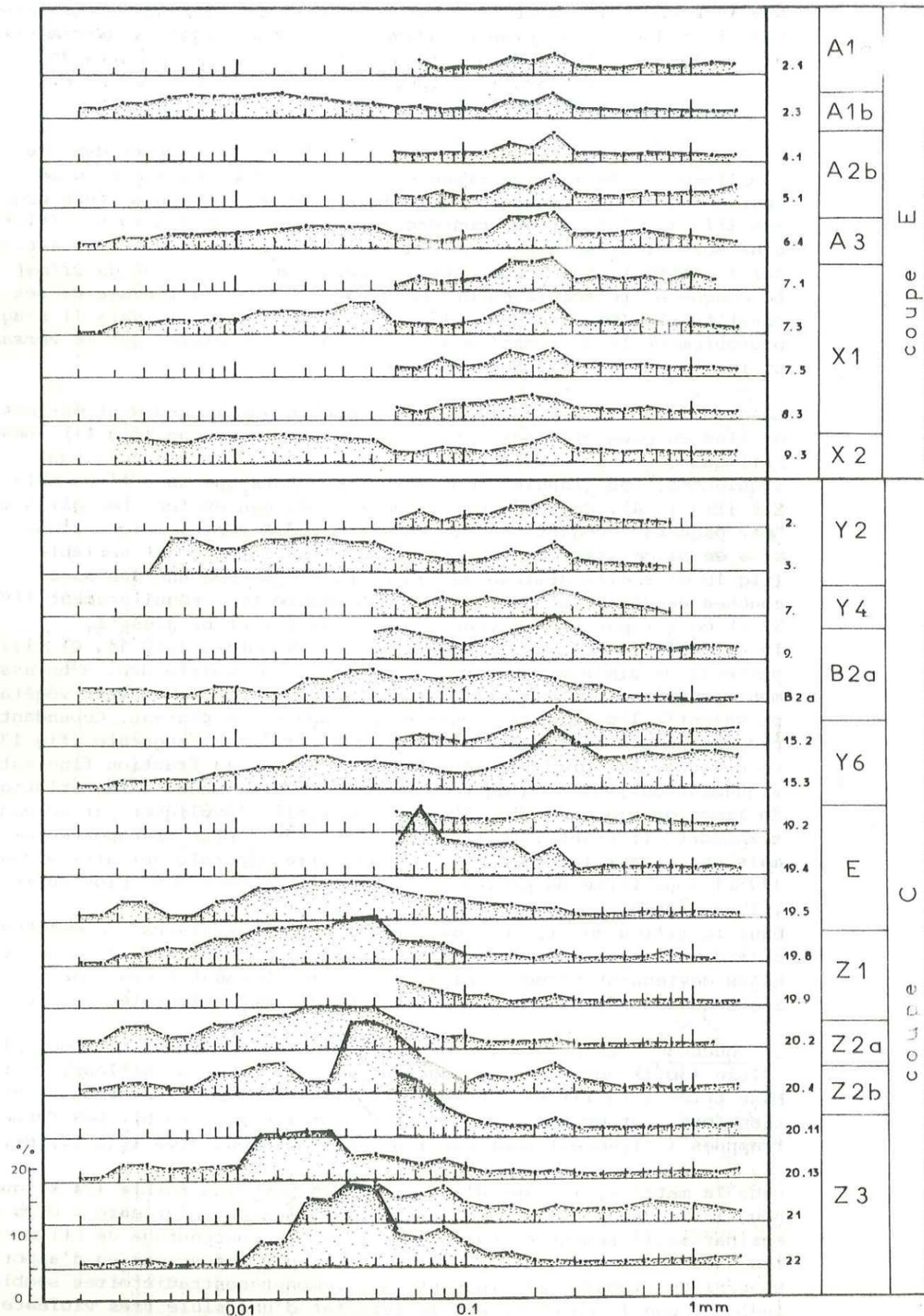


fig 19 Coupe C et E : granulométrie des fractions fines exprimées en courbes de fréquences simples

d) Couche B3 : La proportion de matrice (fig 10 C) devient insignifiante (5 %) dans cette couche, presque entièrement constituée de cailloux assez gros et bien triés (mode important à 31 mm) (fig 11). Il semble que le pourcentage de cailloux non altérés soit élevé, mais l'observation est rendue difficile par le concrétionnement qui a affecté tout ce sédiment, et qui atteint son maximum dans la couche B2b (fig 12 E).

Dans la matrice, les taux de sable siliceux et d'argile sont très faibles. Le sédiment B3 est donc très peu évolué, et s'est probablement déposé en climat très sec, frais.

e) Couche B2b : Ce sédiment blanc, pulvérulent est principalement formé de calcaire (fig 15). Les cailloux peu abondants (40 %) sont petits et bien triés (mode à 12 mm). La matrice est riche en petites concrétions sans structure particulière. L'argile est très peu abondante (10 %) (fig 10 C). Les cailloux sont enrobés d'une concrétion tuffeuse blanche, tendre, mais ne sont pas systématiquement soudés entre eux. Cette concrétion ressemble très peu à un plancher stalagmitique. *Nous la rapprochons plutôt des croûtes calcaires qui se forment en climat tempéré aride : elle représente le terme ultime de l'assèchement progressif observé dans le remplissage sous-jacent.*

f) Couche B2a : Dans la coupe A, cette couche est présente par quelques lentilles (fig 1, 2, 3). Elle devait atteindre son développement maximal plus près de la paroi est. Nous avons eu la surprise de trouver de nombreux galets calcaires dans ce sédiment. Dans la fraction 10-20 mm, ils représentent jusqu'à 16 % (fig 17). Mais des grains calcaires à façonnage typiquement fluviatile sont également présents dans les fractions sableuses (leur proportion est irrégulière, mais jamais inférieure à 5 %). Ce fait est inexplicable pour l'instant : au-dessus de l'abri, on ne trouve aucun sédiment à éléments fluviatiles calcaires. L'industrie associée à ce sédiment n'est pas moins problématique, puisqu'elle présente un cachet azilien (pointes aziliennes) très net, alors que les couches inférieures (coupe C) ont fourni des indices tardenoisien. On peut proposer deux hypothèses :

1 - existence d'un lambeau de terrasse fluviatile au-dessus du niveau de la grotte, avec un dépôt d'industrie azilienne. Ce sédiment et les silex associés auraient glissé dans la grotte, lors d'un épisode très humide par exemple. Mais cette hypothèse est peu vraisemblable : - les silex ne présentent aucune trace de transport, alors que ce genre de matériau est très fragile,

- les cailloux de ce sédiment ne sont pas particulièrement usés, et ne semblent pas non plus avoir été transportés,

- enfin, on voit mal pourquoi dans ce cas, les éléments de la terrasse hypothétique n'auraient pas été remobilisés plus tôt : on se souvient que la base du remplissage témoigne d'un climat nettement humide.

2 - il s'agit d'une action humaine : pour une raison inexpliquée, on aurait étalé du sédiment fluviatile sur le sol de l'habitat : d'ailleurs, ce sédiment a pu être prélevé dans le fond de l'abri, où les éboulis n'avaient peut-être pas encore tout recouvert. Il y aurait deux possibilités, en ce cas :

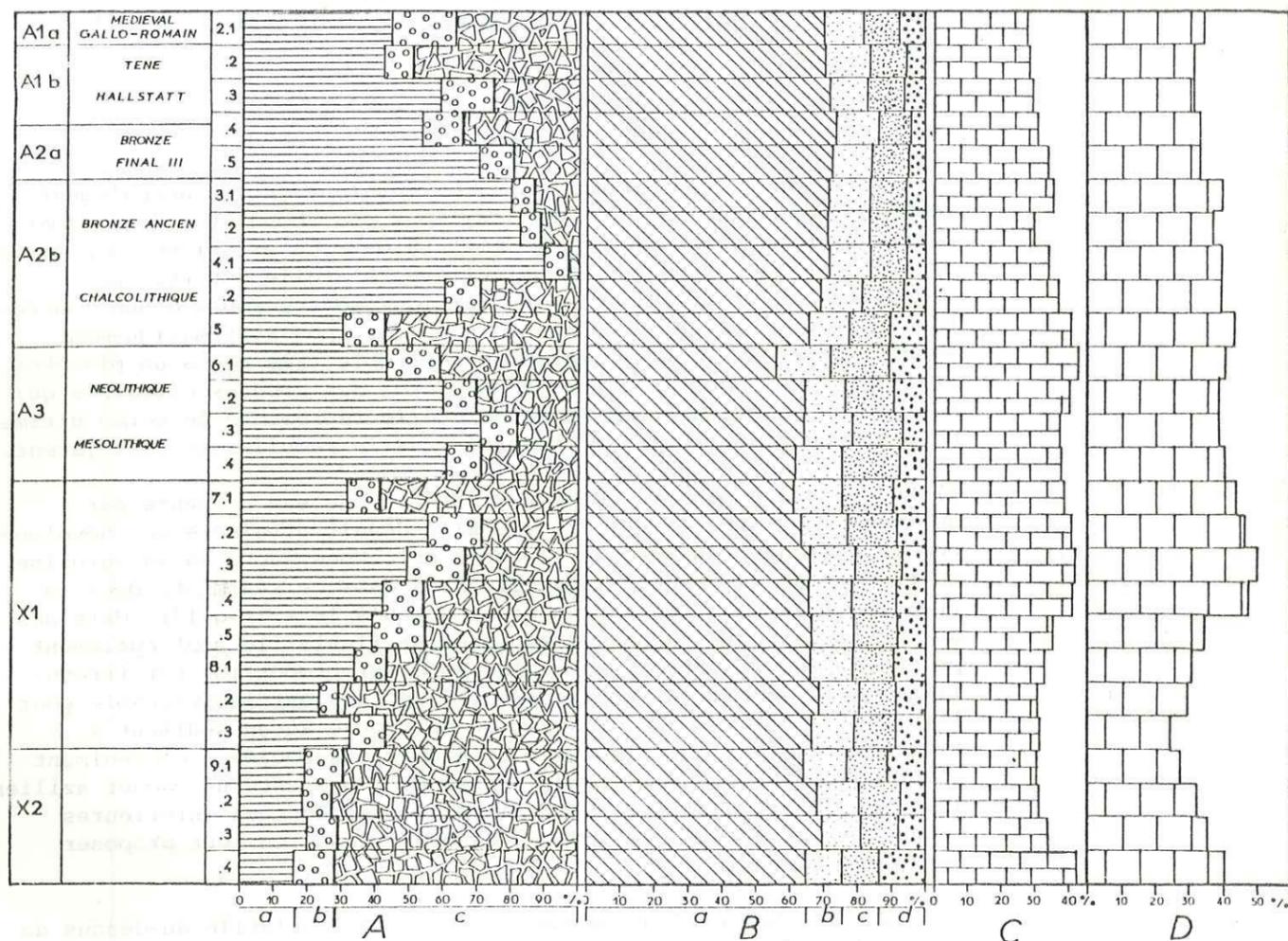


fig 20 Coupe E :

- A - Granulométries globales
- B - Granulométries de la fraction fine (inférieure à 2 mm)
- C - Calcimétries de la fraction inférieure à 0,05
- D - Calcimétries de la fraction inférieure à 2 mm

- le remaniement des sédiments est bien postérieur aux aziliens mais utilise des sédiments à industrie azilienne : cette dernière était abondante dans l'abri. On s'attendait à voir alors des associations d'industries anachroniques (azilien et mésolithique par exemple) dans la même couche, ce que la fouille n'a pas confirmé pour l'instant.

- le remaniement des sédiments s'effectue lors d'un "retour" hypothétique des aziliens, dont la civilisation aurait perduré au milieu du Mésolithique. Mais ce problème concerne alors plutôt les préhistoriens.

Hormis la présence d'éléments fluviatiles, la matrice de la couche B2a ne présente pas d'originalité sédimentologique (fig 10 C). Son classement est toujours très faible. Cependant, les sables siliceux représentent à nouveau 10 % et annoncent une augmentation progressive de l'humidité qui sera observée dans les couches supérieures. L'usure des cailloux est d'ailleurs, elle-aussi, en progression, sans être forte. La grande abondance de sédiment fin par rapport aux cailloux est un indice assez sûr d'humidité, et marque la fin de la période très sèche.

g) Couche B1 : La composition globale du sédiment se rapproche de B3 : la matrice (fig 10 C) est peu abondante (moins de 10 %), et les éboulis dessinent un mode vigoureux à 25 ou 31 mm (fig 11) sans que les classes plus fines (petits cailloux et granules) soient bien représentées. Ces éboulis ont probablement été peu gélivés au sol. Ils sont plus usés que les cailloux de B3, surtout vers le sommet, et assez riches en concrétions du type "choux-fleur". Les cailloux craquelés (fig 12 O) sont assez abondants (15 à 20 %). On constate l'apparition de galets siliceux (3 %). La matrice est argileuse (35 %). La calcimétrie (fig 15) montre une nette augmentation des teneurs en sable siliceux, les fractions très fines sont également moins riches en calcaire. Le tri de la fraction inférieure à 2 mm est toujours très mauvais (fig 14). Ces caractéristiques confirment donc l'augmentation de l'humidité amorcée dans la couche B2a. L'abondance d'argiles montre que la pédogenèse était active.

h) Couche A4 : Nous n'avons pas pu analyser le contexte de la fosse à incinération, nos travaux ayant commencé après sa fouille. La couche A4 est caractérisée par une forte régression de la proportion en cailloux. Ces derniers sont beaucoup moins bien triés. La proportion de cailloux usés (fig 13 D) est forte dans la moitié inférieure de la couche, et devient très forte (90 %) à son sommet, en même temps que la proportion de cailloux craquelés. Les galets de quartzite sont présents en A4d et A4c (2 à 3 %). En A4b, ils deviennent abondants (22 %). Dans la matrice, l'argile est abondante (37 %), et la teneur en calcaire décroît régulièrement : les sables siliceux forment 40 % de la matrice en A4b. La couche A4 témoigne d'un climat tempéré-chaud et humide. L'"absence" d'éboulis peut s'expliquer par un adoucissement des hivers.

i) Couche A0 : La partie sommitale du remplissage confirme fortement les caractéristiques de la couche précédente ; proportion élevée de galets cristallins (30 %) et absence presque totale de calcaire : sa teinte rouge contribue à la rapprocher de la "terre rouge" du plateau. La présence de nombreux galets cristallins prouve bien des apports abondants en provenance du plateau, mais soulève aussi un problème : on peut se demander pourquoi ces éléments ne sont pas parvenus dans l'abri lors des phases humides précédentes. Peut-être faut-il attribuer cela à une modification de la végétation du versant et du plateau : par exemple la disparition du sous-bois ou de la couche herbeuse qui empêchaient l'ablation des gros éléments : actuellement, la forêt est trop dense pour que les plantes basses puissent bien se développer, et la terre est pratiquement à nu.



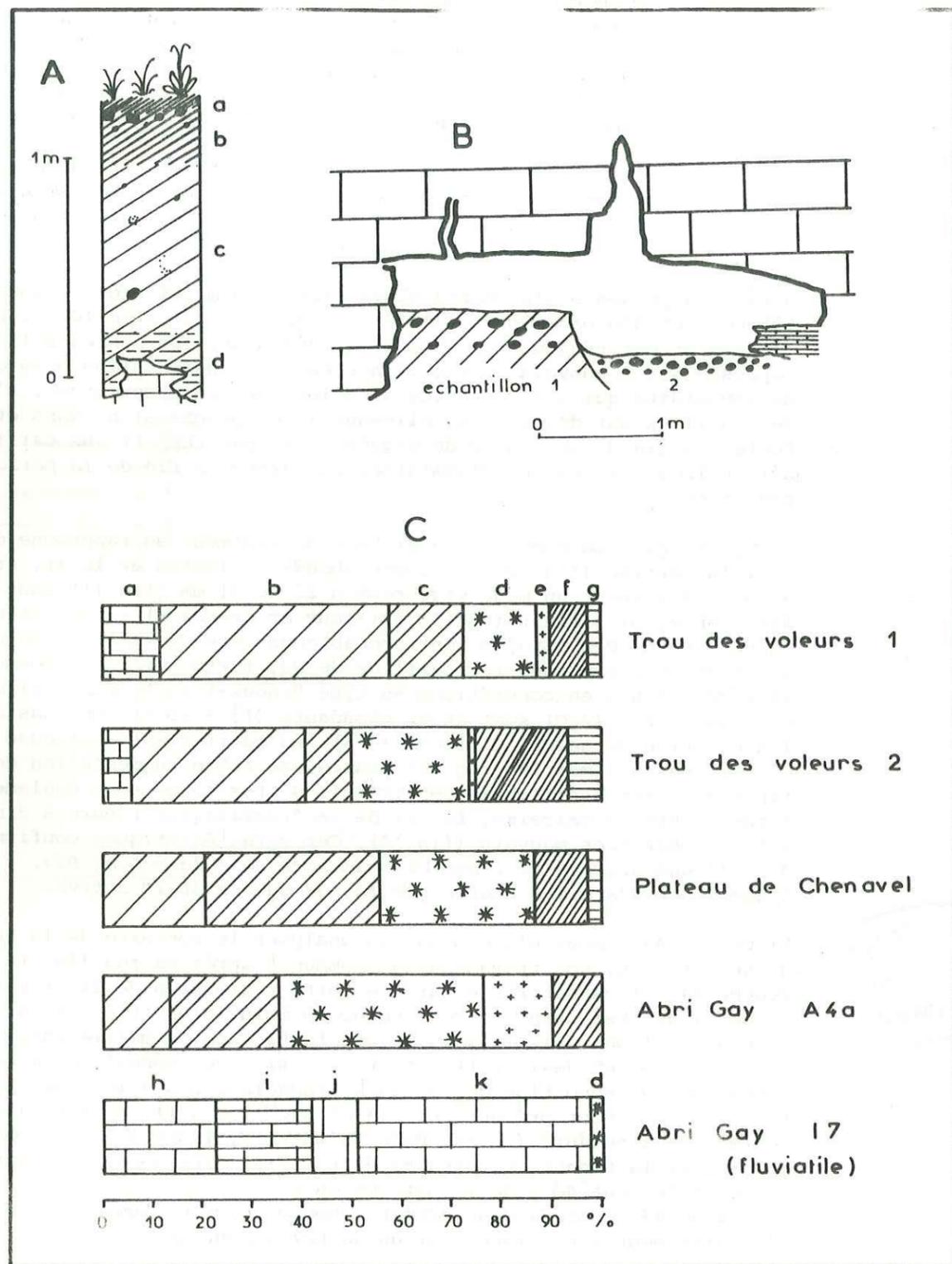


fig 21

A - Limons du plateau de Chenavel :

- a - humus
- b - limon à galets riche en matière organique
- c - limon jaune
- d - limon plus argileux

B - Coupe schématique dans le "Trou des Voleurs"

C - Comptage pétrographique sur les galets de 12 à 25 mm :

- a - divers calcaires
- b - quartzite
- c - quartz
- d - divers métamorphiques
- e - granit
- f - radiolarite
- g - silice
- h - calcaire oolithique
- i - calcaire marneux
- j - calcaire jaune
- k - calcaire sublithographique gris

j) Analyses complémentaires effectuées sur la coupe A :

Nature de la fraction sableuse (fig 15) :

Nous avons dénombré les éléments "remarquables" sur les sables grossiers (entre 0,2 et 2 mm) :

- fragments de gastéropodes et grains de calcite cristallisée ne présentent apparemment pas de variations significatives. Par contre, on observe dans presque toutes les couches une faible quantité de petits (0,5 à 2 mm) nodules de calcite, le plus souvent sphériques et parfois ovoïdes. Leur structure est fibroradiée. Il pourrait s'agir de concrétions mais on comprend mal leur mode de formation. Dans la partie supérieure du remplissage, ces éléments sont assez nombreux. Le limon du plateau est riche en petits nodules noirs qui proviennent probablement de l'altération chimique des minéraux ferro-magnésiens. On retrouve ces nodules dans la fraction sableuse du remplissage où ils constituent un critère d'"allochtonie".

Nature des argiles :

Dans les éléments fluviaux, la phase argileuse est constituée par l'association Illite-Kaolinite-Chlorite où Illite et Kaolinite sont tour à tour faiblement dominantes. En outre, on constate la présence systématique de chlorite gonflante en faible proportion et de quelques interstratifiés (12-14).

Dans les éboulis, l'association est très semblable, Illite et Kaolinite sont présentes en proportions à peu près égales, la chlorite est mineure. Par contre, on n'observe jamais de chlorite gonflante dont la présence semble donc caractériser les sédiments fluviaux.

Dans les limons à blocs, l'association argileuse est encore identique ; la chlorite gonflante est présente, ce qui pourrait signifier des apports de matériau fluvial dans cette couche.

Cristallinité de l'Illite (fig 25 C) :

Cette méthode qui consiste à mesurer la largeur du pic 10 A de l'Illite à mi-hauteur (sur essai glycolé) semble confirmer le réchauffement progressif constaté dans la moitié supérieure du remplissage : après quelques valeurs fortes dans la base de D, la cristallinité diminue dans le sommet de D1c (Piottino ?), puis se stabilise un certain temps sur des valeurs moyennes, pour augmenter fortement au sommet du remplissage.

Dans les couches H à E, la cristallinité est assez faible avec deux valeurs plus fortes en F2 et F1a base, qui semblent témoigner de conditions moins froides.

pH et Δ pH (fig 25 A et B) :

La différence entre le pH mesuré dans l'eau distillée et le pH mesuré dans une solution normale de KCl, appelée Δ pH, reflète dans une certaine mesure l'altération des argiles. Quand les valeurs du Δ pH, mesurées sur une même verticale, augmentent, on se trouve généralement en présence d'un paléosol, même faiblement marqué.

Dans l'abri Gay, le pH, légèrement basique, varie très peu. Il faut noter que les limons du plateau sont franchement acides (pH = 4,7). Dans la coupe A, le Δ pH ne présente de variations notables que pour les couches B2 et B3 où sa valeur diminue de moitié. A cette diminution correspond une augmentation du pH. Cette variation est peut-être à mettre en relation avec la sécheresse qui régnait lors du dépôt de ces couches.

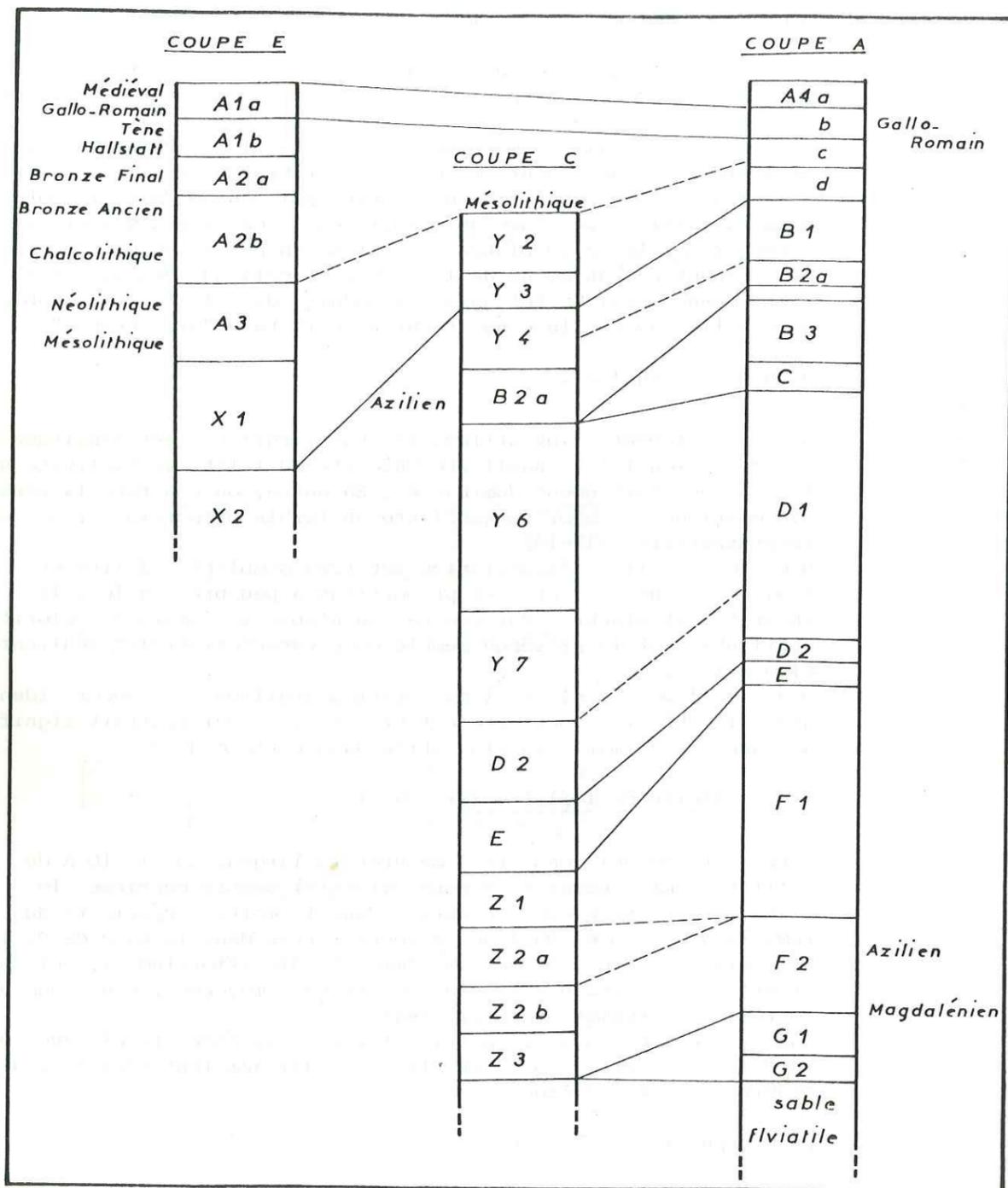


fig 22 Corrélation entre les coupes A, C et E

6. Analyses dans la coupe C et corrélations (fig 4) :

a - Couches Z3 :

Nous avons évoqué ces couches à la fin du chapitre V 3. Les cailloux, peu abondants (25 %) ne présentent pas de classement notable (fig 18). La matrice est formée à 50 % de limons et les argiles sont peu abondantes (20 %). Les pourcentages de sables (fig 17 B) présentent quelques fluctuations (couches Z3a, B, C). La calcimétrie (fig 7) donne des valeurs très proches de ce que l'on avait établi pour F2 : étalement autour de 45 %. Les fortes teneurs en calcaire à la base de Z3 (fig 8a, 17c) proviennent de la proximité du sable fluvatile. Les courbes granulométriques sont légèrement bimodales (fig 19), et variables. L'échantillon 22 présente une courbe comparable à celle de G1 : modes à 0,030 mm et 0,080 mm (pour G1 : modes à 0,02 et 0,063, mais d'importance inverse). Vers le haut, le sédiment est encore plus fin (mode à 0,02 mm). Les couches Z3 présentent donc des analogies avec G1 et avec F2. *Trop hétérogènes pour être assimilées à G2, elles proviennent probablement du remaniement de cette dernière et des sables sous-jacents, ce qui serait en accord avec leur position topographique plus basse et leur disposition lenticulaire (fig 4 et 3). Elles sont donc contemporaines de la base de F2, d'autant plus qu'elles sont assez riches en blocs.*

b - Couches Z2 :

Topographiquement ces couches sont l'équivalent de F2. Leurs subdivisions sont basées sur de légères variations de texture. Cependant, bien qu'elles contiennent quelques blocs (qui n'appartiennent pas tous au même niveau), elles sont moins riches en éléments grossiers que F2. La proportion de matrice est constante dans les 2/3 inférieurs de Z2. Dans la partie supérieure, elle passe progressivement de 70 à 40 % (fig 17 A). La composition de la matrice est parfaitement constante : argile 20 %, limons 60 %, sables 20 %. Les cailloux ne présentent pas de classement notable (fig 18) sauf au sommet de Z2a où un mode à 16 mm commence à se dégager. La granulométrie de la fraction fine de Z2b (fig 19) est très semblable à celle de F2 : mode dominant à 0,040 mm. Un mode plus faible, à 0,012 mm, se rapproche plutôt de G2. Un troisième mode, à 0,25 mm montre la présence des limons du plateau. La granulométrie de Z2a est très différente : la courbe est très étalée et un mode unique se dessine autour de 0,025 mm. La fraction inférieure à 0,05 mm (fig 17 C) est peu calcaire à la base de Z2 (15 %), plus calcaire au sommet (25 %). *La couche Z2b est donc probablement l'équivalent du sommet de F2, tandis que Z2a ne s'est pas déposée dans le fond de l'abri et constitue un terme intermédiaire entre F2 et F1.*

Les analyses de phosphates (fig 8a) montrent des teneurs plus fortes pour les couches Z que pour les couches sus et sous-jacentes. Dans la fouille, les augmentations des teneurs en phosphate tricalcique accompagnent généralement les niveaux d'occupation. Les couches Z sont jusqu'à présent totalement stériles en vestiges mais leur équivalent, F2, contient de l'industrie dans toute son épaisseur.

c - Couche Z1 :

Les cailloux qui constituent 60 % du sédiment (fig 17 A) présentent un classement très net centré sur 16 mm qui s'accroît vers le haut de la couche (fig 18). De bas en haut, la proportion de sédiment fin (inférieur à 2 mm) diminue au profit des granules. La teneur en calcaire, tant du sédiment global (fig 8a) que de la fraction inférieure à 0,05 mm, augmente. Cette couche passe progressivement à la couche E.

SUB ATLANTIQUE	A1a					
	A1b	augmentation progressive de la proportion de cailloux	diminution de la teneur en calcaire	refroidissement humidité croissante		
SUB BOREAL	A2a					
	A2b	cailloux craquelés abondants	formation d'un sol rouge	tempéré chaud épisode frais		
ATLANTIQUE	X1, A3	proportion de cailloux diminue jusqu'au milieu de A3	augmentation, puis diminution du taux des carbonates	tempéré chaud		
	A4d	cailloux usés et craquelés. galets de quartzite	matrice argileuse. sables siliceux. cristallinité illite croissante	humidité variable concrétionnement		
BOREAL	X2 & B1	cailloutis "sec". cailloux usés, craquelés concrétionnés.	proportion de sable siliceux en augmentation	humidité faible mais croissante climat tempéré hivers froids		
	B2a	cailloux usés (remaniements par l'homme ?)	matrice abondante	humide		
	B2b		encroûtements pulvérulents	sec, tempéré - chaud		
	B3	éboulis "sec". cailloux bien triés, non altérés	matrice très calcaire, très mal classée	assèchement. tempéré, hivers froids		
	C	cailloux bien classés très usés	matrice abondante, très calcaire	ruissellements épisodiques violents		
PRE BOREAL	sommet de D1 = Y6	granules très abondantes au milieu de la couche	augmentation de la proportion de matrice, calcimétrie faible	épisode froid humide		
	D1	éboulis très abondants de moins en moins usés, grossiers, bien classés. glissements gravitaires. léger concrétionnement	la proportion de sables siliceux diminue. augmentation du taux d'argile. matrice très mal classée. cristallinité illite croissante	réchauffement et assèchement. hivers froids		
	D2	éboulis fin (remaniement gravitaire de E ?)	changement de texture augmentation des teneurs en matière organique et argiles. moins de matrice	adoucissement humidité		
DRYAS III	E	éboulis très fin, bien classé, cailloux usés	matrice assez abondante	froid, humide		
	F1	éboulis de plus en plus fin, hétérogène. cailloux usés, bien classés	plus de granules vers le sommet. diminution des apports de limon siliceux	froid croissant diminution de l'humidité		
	Z2a	remaniement des sédiments précédents. ravinement ?		tempéré. très humide		
ALLEROD	F2	nombreux blocs gélivés sur place	matrice abondante, moins calcaire, bien classée	tempéré humide hivers rigoureux ?		
	G1	absence de cryoclase	tri. bimodalité. très calcaire. remaniement éolien	tempéré (assez sec ?)		
	G2	blocs et cailloux, gélivés sur place		tempéré frais		

humidité ←
← froid

d - Couche E :

La proportion de cailloux est un peu plus forte (70 %) et les cailloux deviennent plus petits (fig 18). Leurs courbes de fréquences sont symétriques, centrées sur 16 mm à la base, 12 mm au sommet de la couche. Comme pour Z1, la fraction fine est assez mal classée et présente un mode autour de 0,025 mm.

On remarque que l'analyse granulométrique (fig 19) reflète un changement d'aspect de la matrice observable sur la coupe : jusqu'à la base de E, la matrice apparaît homogène et "lisse" (hachures obliques sur les coupes). Ces sédiments présentent souvent une courbe unimodale où les parties fines (0,01 à 0,06 mm) sont assez bien classées. A partir de E et au-dessus, la matrice prend un aspect plus "terreux" : elle est constituée d'un agglomérat de "grains" argileux. Les courbes de fréquence du sédiment sont alors bimodales, avec un mode à 0,25 mm et un autre dans les limons qui sont très mal classés. Ce changement accompagne probablement la modification du type d'apports que nous évoquons dans l'analyse de la coupe A (V, 5, b). La calcimétrie marque un "maximum" (augmentation suivie d'une diminution) très caractéristique de cette couche (voir fig 8a et 17 C). Les couches Z1 et E traduisent donc le même contexte que F1 et E étudiés dans la coupe A : diminution de la taille des cailloux qui présentent un bon classement, augmentation de la teneur en calcaire, faible proportion de matrice. Z1 est donc probablement l'équivalent de F1 mais on ne peut pas mieux préciser cette correspondance.

e - Couche D2 :

Identifiable par le charbon de bois qu'elle renferme, la couche D2 présente ici d'autres caractéristiques que dans la coupe A. A sa base, la petite taille des cailloux (fig 18) rappelle le remaniement de E évoqué pour la coupe A. Mais le mode augmente rapidement jusqu'à 25 mm tandis que la proportion de matrice est insignifiante (10 %). Les cailloux sont bien classés, leurs courbes de fréquences sont symétriques dans l'ensemble. Cet éboulis sans matrice est comparable à la base de D1.

f - Couches Y7, Y6 :

La matrice est nettement plus abondante et présente un maximum du sommet de Y6, pour diminuer ensuite (fig 17). En Y7 et à la base de Y6 les cailloux sont assez bien classés, mais vers le haut, leur distribution devient plus aléatoire (fig 18). Vers le milieu de Y6, granules et sable grossier (fig 17 A et B) deviennent très abondants (50 %). La teneur en calcaire de la fraction inférieure à 0,05 mm diminue régulièrement (13 à 9 %). La matrice est plus riche à la fois en sables grossiers et en argile (35 %). Ces caractéristiques ne ressemblent à aucun des sédiments vus jusqu'ici. La stratification discontinue et lenticulaire des deux couches est en opposition avec les variations progressives et cohérentes des critères sédimentologiques. Y7 et Y6 sont encadrés par D2 à la base, B2a au sommet, ce qui fait un équivalent de D1 + C + B3. La couche C ne s'est pas déposée dans ce secteur puisqu'on la perd dès la bande K. De même pour B3, dont les caractéristiques sédimentologiques sont assez précises. Ainsi, Y6 et Y7 seraient l'équivalent de D1 dont elles partagent au moins l'hétérogénéité. Cependant, cette "concordance" n'est pas très satisfaisante : alors que pour D1, on avait constaté un assèchement progressif du climat (avec peu de matrice, diminution de l'apport de sable siliceux) on observe ici le contraire. On peut donc penser que pendant le dépôt de D1, les conditions de sédimentation variaient sensiblement d'un point à l'autre de l'abri (Peut-être ce dernier était-il envahi par la végétation ?). D'autre part, depuis le dépôt de F1, E et D2 les conditions topographiques

fig 23 Variations climatiques d'après la sédimentologie

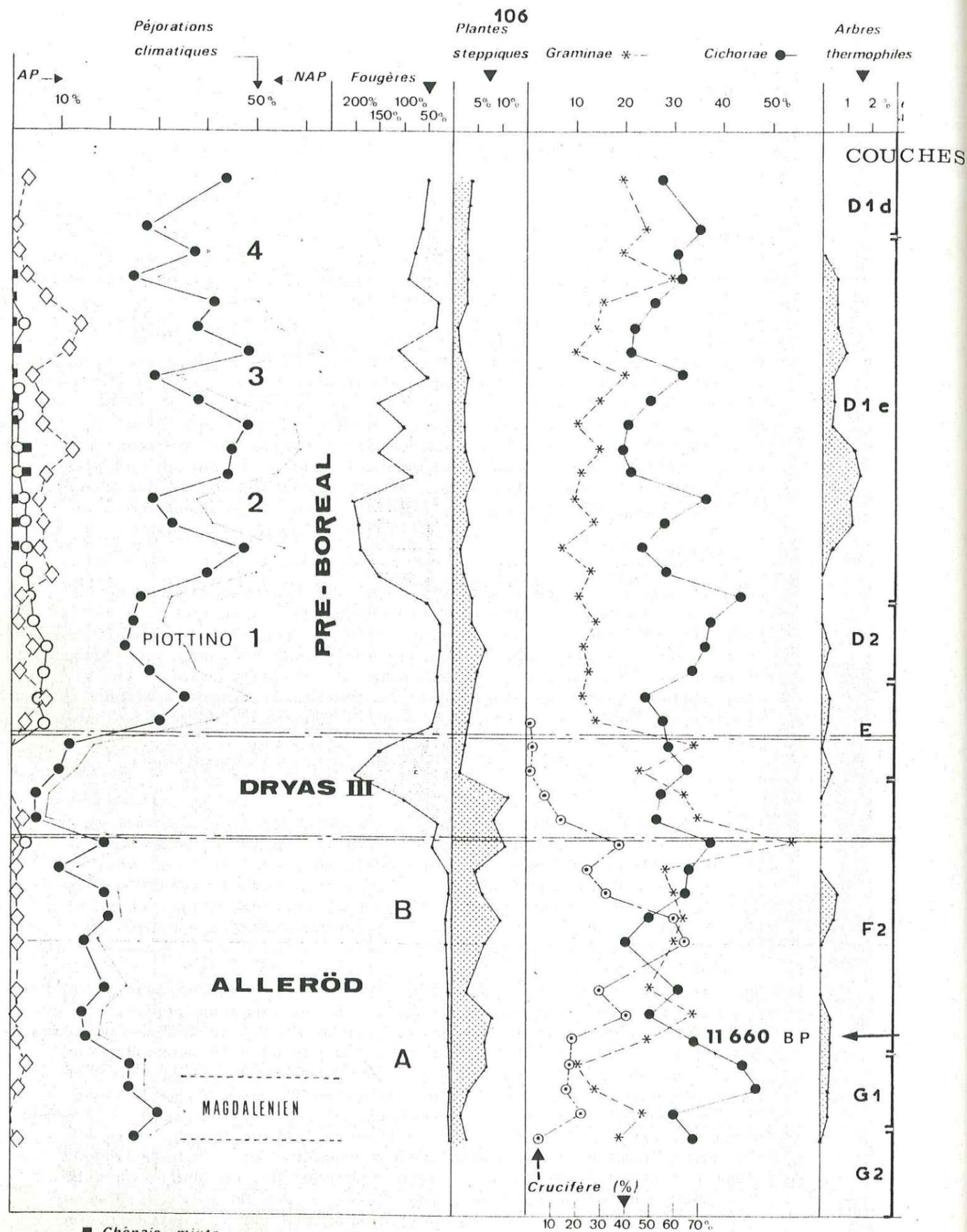


fig 24 Analyse palynologique de la coupe A (bandes L et M) par Michel Girard

étaient modifiées : les éboulis après avoir comblé la dépression dans la partie antérieure de l'abri (coupe sagittale fig 3, bandes 10 et 11) formaient un cône qui conditionnait la répartition des grains : sur la crête s'accumulaient de préférence les sédiments fins. De cette manière les sédiments de la coupe C sont en moyenne plus riches en matrice que leurs homologues de la coupe A.

g - Couche B2a :

Cette couche, étudiée dans le chapitre V.5 est bien visible contre la paroi, mais disparaît progressivement vers la droite. Dans ce secteur, elle est particulièrement riche en galets calcaires (fig 17 E). Elle s'insère entre des sédiments à matrice très abondante (sommet de Y6 et base de Y4, fig 17 A) qui confirment l'augmentation d'humidité constatée dans la coupe A. La forte calcimétrie provient de la présence de sédiment fluviatile.

h - Couches Y4, Y3, Y2 :

Le sommet de Y4 représente une nouvelle augmentation de la proportion de cailloux (60 %) qui montrent des polygones de fréquences symétriques, centrés sur 25 mm (fig 18). Y3 est par contre pauvre en cailloux (20 %), et Y2 n'en comporte que 40 % environ. Dans la matrice (fig 17 B), la proportion de sables diminue jusqu'en Y3 puis augmente vers le sommet. Dans l'ensemble, la proportion de sables très grossiers s'accroît vers le haut, de même que la calcimétrie (fig 19) ressemblent beaucoup à celui des limons du plateau (fig 6) : mode bien exprimé à 0,25 mm, mode très étalé autour de 0,025 mm. Il faut noter la présence de galets calcaires (fig 17 E) dans ces trois couches et une certaine proportion de galets siliceux dans quelques prélèvements (fig 17 F). La présence d'éléments fluviatiles soulève le même problème ici que pour la couche B2a. Leur dissémination dans 1 m de sédiments clastiques parle en faveur d'un apport naturel.

La couche Y4 présente quelques analogies avec B1 :

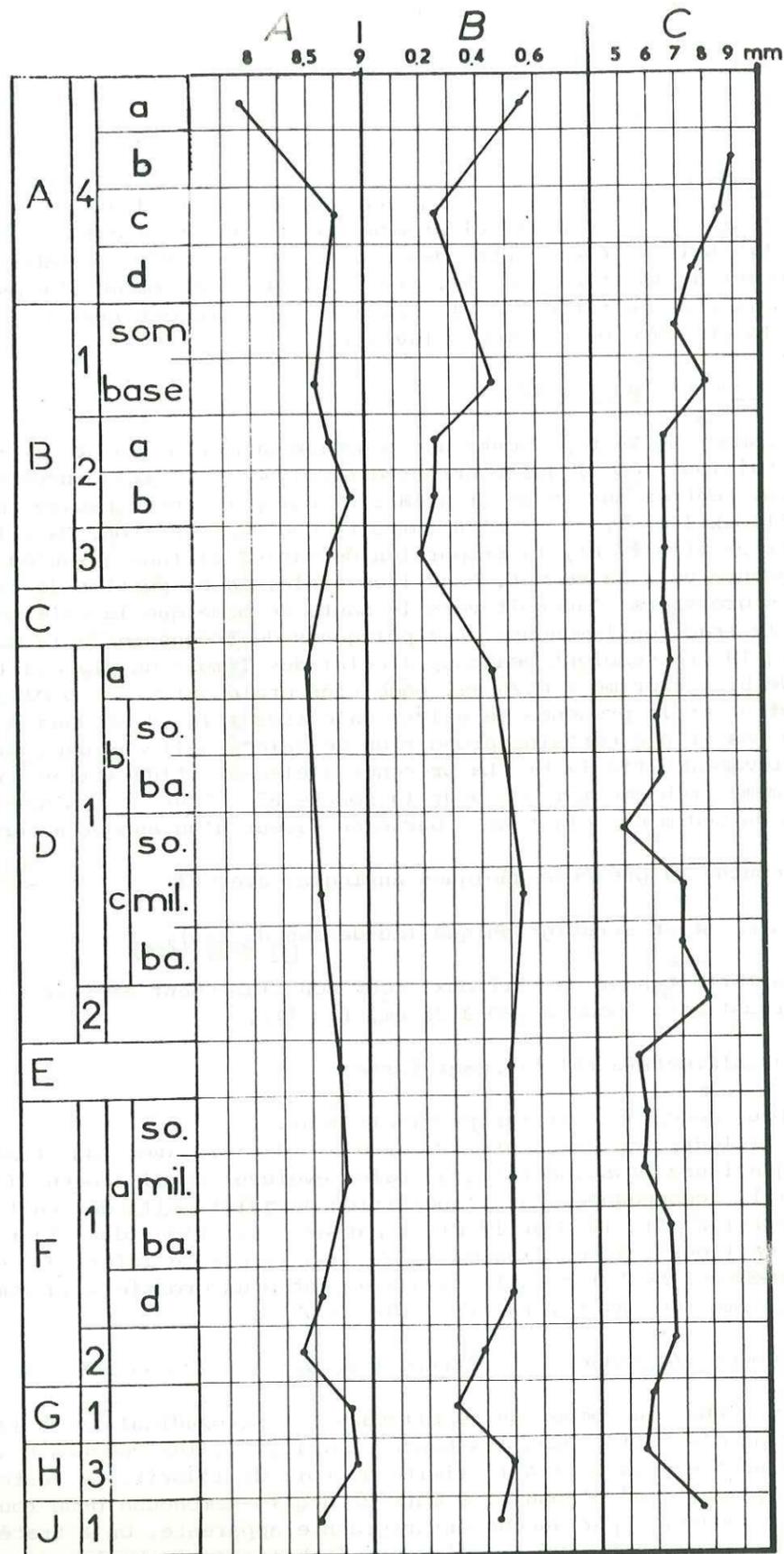
- sa position stratigraphique (au-dessus de B2a),
- sa forte teneur en cailloux, leur bon classement et leur relative grossièreté (mode de 20 à 25 mm, fig 11),
- la calcimétrie relativement forte.

On peut donc les corrélérer provisoirement.

Par ailleurs, on est tenté de corrélérer Y3 et Y2 avec A4d et A4c, vu que leurs granulométries globales évoluent parallèlement (fig 10 et 17), accompagnées par l'apparition de galets siliceux en faible proportion (fig 13 G et 17 F) et par des variations dans la taille des cailloux : assez fins en Y3 et dans la partie inférieure de Y2 (comme pour A4d) les cailloux deviennent plus grossiers au sommet de Y2 (comme pour A4c) (fig 11 et 18).

i - Coupe I/J bandes 6 à 12 (fig 3 et 9) :

Cette coupe, au sommet du remplissage est perpendiculaire à la crête du cône d'éboulis. Dans les bandes 10, 11, 12, les couches B se terminent en biseau (à la limite du toit de l'abri). Le reste de la coupe, constitué d'éboulis à matrice argilo-limoneuse brun-rouge, n'est subdivisé par aucune stratigraphie apparente. On a tracé les courbes d'égale teneur en calcaire, établies après analyse systématique de la coupe (fig 9). Ces courbes font apparaître deux faits :

fig 25 Coupe A : pH (A) Δ pH (B)

et cristallinité de l'Illite (C) mesurée en mm

- les teneurs en calcaire sont plus faibles dans le plan axial du cône d'éboulis : on constate que les teneurs augmentent dès que l'on s'éloigne de la crête. Ce phénomène traduit probablement un tri gravitaire qui provoque l'accumulation de sédiment fin (hérité du plateau) sur la crête du cône d'éboulis (phénomène évoqué dans le chapitre V, 6, f).

- on retrouve à plus grande échelle la diminution de teneur en calcaire constatée dans le sommet de la coupe A. Au sommet du remplissage les teneurs en calcaire sont pratiquement nulles.

Il n'a pas été possible de corrélérer la partie inférieure de la coupe I/J avec la coupe A (il s'agit probablement de la couche D1).

7. Analyses dans la coupe E et corrélations (fig 11, 19, 20) :

a - Couche X2 :

Eboulis pauvre en matrice (15 %) dont la composition globale varie peu avec la hauteur (fig 20 A). Les cailloux sont de taille moyenne (modes à 20 et 31 mm) et assez bien classés. Les gros cailloux et les blocs sont présents. A partir du sommet de la couche (prélèvement 9.1 fig 11), des éléments plus fins (mode à 16 mm) deviennent dominants. Ils seront largement représentés dans la couche X1. La matrice présente peu d'originalité par rapport à celle de la coupe C (fig 19) sinon que les limons sont encore moins bien classés. La teneur en calcaire de la fraction inférieure à 0,05 mm diminue légèrement de bas en haut. Cette variation est plus accusée pour la fraction inférieure à 2 mm (fig 20, D).

La granulométrie des cailloux nous conduit à proposer la corrélation de X2 avec le sommet de Y4 (coupe C) et avec B1 (coupe A).

b - Couche X1 :

Pendant le dépôt de cette couche, la proportion de matrice a progressivement augmenté, passant de 30 % à la base à 55 % au sommet. Un petit niveau plus caillouteux (prélèvement 7.1) tout au sommet semble "accidentel" (fig 20 A). Dans la matrice, les variations sont très faibles et se résument à une légère augmentation de la teneur en sables (fig 20 B). Les teneurs en carbonates (fig 20 C et D) augmentent jusqu'au deuxième tiers de la couche, puis amorcent une diminution. A la base, les cailloux gros et moyens sont abondants (fig 11, prélèvements 8.9 et 8.3) et mal classés. Vers le haut, leur granulométrie s'affine (mode dominant à 16 mm) et le tri devient meilleur. L'enrichissement progressif en matrice culmine dans la base de la couche A3 qui ne comporte plus que 17 % de cailloux. Nous proposons de corréler X1 et A3 avec le sommet de la coupe C (couche X2) et avec la base de A4 (coupe A).

c - Partie supérieure de la coupe E :

La corrélation entre les parties supérieures des coupes E et A semble difficile et peu fructueuse : d'une part, les faciès sont très différents pour ces épisodes sédimentaires. D'autre part, le sommet de la coupe A est mal connu, les fouilles l'ayant à peine effleuré, et les vestiges archéologiques y étant peu abondants. La couche A4b et la fosse d'incinération appartiennent à l'époque gallo-romaine (fouilles 1966) et trouvent leur homologue dans la couche A1a de la coupe E. La couche argileuse rouge A4a est donc probablement le terme le plus jeune du remplissage. Les couches A3, A2b, A2a n'ont pas d'homologue dans la coupe A, ou se résument à la couche A4a.

Ces couches dessinent l'évolution suivante :

- après l'augmentation de la proportion de matrice observée pour X1 et la base de A3, le taux de cailloux augmente progressivement, culmine (72 %) à la limite entre A3 et A2b, et décroît à nouveau dans la moitié inférieure de A2b (fig 20 A). La granulométrie des cailloux s'exprime par des courbes bimodales (fig 11, prélèvements 4.2, 5, 6.1, 6.2) avec un mode à 16 ou 20 mm, un autre à 31,5 ou 40 mm. La matrice montre toujours un mode à 0,20 ou 0,25 mm et un mode mal défini dans les limons. Ces derniers sont moins abondants que dans les couches X. La calci-métrie dessine un très léger pic au sommet de A3. A partir de ce niveau, on trouve quelques galets siliceux mêlés aux éboulis.

- au milieu de la couche A2b, la proportion de matrice est maximale (90 %) mais progressivement, dans la partie sommitale de la coupe E, elle diminue de moitié. Corrélativement, la teneur en carbonates passe de 35 à 25 %. Dans la matrice, le classement est très mauvais. La proportion de sables augmente très légèrement. En A1, le classement des cailloux est mauvais : les éléments moyens (31 mm) sont aussi bien représentés que les petits (12-16 mm).

Si l'on admet que l'absence de cailloux traduit des épisodes climatiques tempérés (absence de gel pendant l'hiver). La granulométrie globale de la coupe E (fig 20 A) traduit un réchauffement progressif qui culmine au milieu de A2b, entrecoupé d'un (ou deux ?) épisode (s) plus frais (entre A3 et A2b et un 7.1 ?). Le haut de la coupe traduirait un refroidissement progressif. Cependant, aucun de ces niveaux ne présente d'indices de gel important : les "refroidissements" ne concernent probablement que la rigueur des hivers.

Les variations du taux de calcaire (fig 20 C, D) semblent indiquer un épisode assez humide (plus fort apport en sable siliceux) au sommet de X2 et à la base de X1. Les limons sont un peu mieux classés dans ces couches.

Dans les deux tiers supérieurs de la coupe, la proportion de calcaire décroît globalement, très lentement. D'après cet indice, l'humidité aurait donc augmenté progressivement.

Dans l'abri, nous n'avons pas encore pu observer les rapports entre la stratigraphie et le concrétionnement, beaucoup de couches ayant été détruites par les fouilles anciennes. Mais il est tardif, puisqu'il a bréchifié toute la partie est de la coupe A. On peut raisonnablement l'attribuer à la phase tempérée décrite ci-dessus.

Les corrélations des couches et les interprétations climatiques sont respectivement résumées par les figures 22 et 23.

Il n'est pas possible de dater la formation de l'abri tant que les couches profondes ne seront pas atteintes. Les dépôts fluviatiles datent probablement du tardiglaciaire (Bölling, Dryas II ?). Leur étude précise sera indissociable d'une étude plus générale des formations alluviales de la basse vallée de l'Ain.

L'Alleröd est caractérisé par un climat assez doux mais les indices de froid laissent à penser que les hivers étaient encore rigoureux. D'abondantes chutes de blocs se sont produites pendant cette période. Si leur origine n'est pas climatique, elle est peut-être liée au déblaiement de la vallée (phénomène également évoqué pour la grotte des Romains).

Le Dryas III est bien marqué et se traduit par une abondante production d'éboulis qui recouvrent peu à peu l'ancienne terrasse fluviatile. Après le maximum du froid, qui provoque l'amenuisement sur place des fragments calcaires, le réchauffement du Pré-Boréal semble assez brutal. Néanmoins, la destruction des parois reste très active et le volume d'éboulis s'accroît rapidement. On peut penser que les hivers étaient encore assez froids durant cette période, qui voit par ailleurs une diminution progressive de l'humidité. La stratigraphie confuse relevant de cette époque rend les interprétations délicates. Il est probable que des glissements au sein des éboulis ont légèrement mélangé les sédiments.

L'analyse palynologique n'est pas encore terminée pour les niveaux supérieurs. Il faut probablement attribuer au Boréal les éboulis sans matrice des couches B et X2. Ils témoignent d'une période assez sèche, entrecoupée par un épisode plus humide. Les hivers étaient encore froids et produisaient d'abondants éboulis.

La période Atlantique ne se distingue pas par un concrétionnement très apparent, mais plutôt par la cimentation des couches sous-jacentes. Cette époque correspond au réchauffement décelé dans les couches A4 et A3 : période tempérée, assez humide, qui se termine par un épisode plus frais.

D'après l'industrie associée, la couche A2b appartient déjà au Sub-Boréal : le climat est encore tempéré-chaud mais refroidit lentement, tandis que l'humidité croît. Le remplissage de l'abri est plus lent : il s'y dépose encore quelques éboulis, mais surtout des sédiments fins, argiles limoneuses qui prennent une teinte rouge. Le début du Sub-Atlantique ne semble pas avoir produit de changements importants : le climat devient progressivement plus frais et plus humide.

L'abondance des éboulis déposés dans l'abri Gay indique que le versant constituait un micro-climat froid durant tout le Postglaciaire. Rien d'étonnant à cela : son exposition au Nord en fait encore actuellement un endroit particulièrement inhospitalier.

TROISIEME PARTIE

ABRI DE LA COLOMBIERE

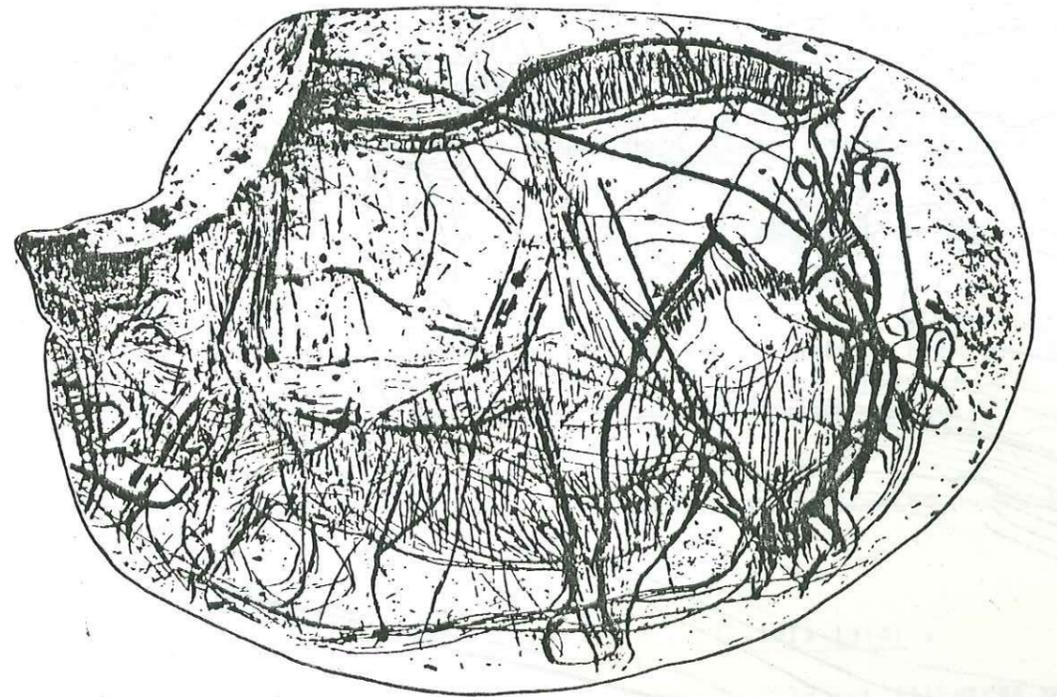




fig 1 Vue générale de l'abri de la Colombière

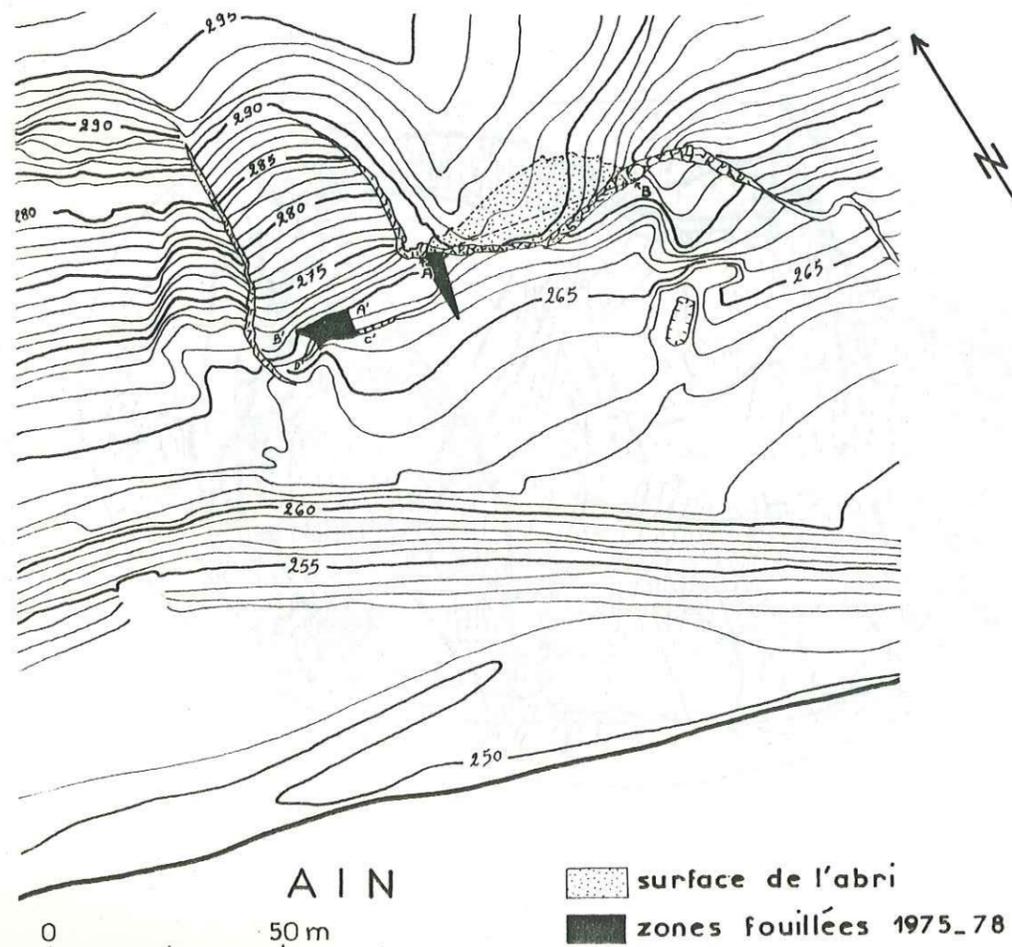


fig 2 Topographie du site (d'après H. Movius, 1956). Les points A et B servent de base au carroyage horizontal. On a indiqué l'emplacement approximatif de la coupe figure 9

I - INTRODUCTION :

A. Le site (fig 1) :

L'abri sous roche de la Colombière s'ouvre environ 700 m à l'amont de l'abri Gay, sur la rive droite de l'Ain. La beauté du site, maintes fois évoquée, tient autant aux dimensions de l'abri (50 m de long, environ 15 m de haut), à sa forme presque symétrique, à son orientation plein Sud, et à son entourage : la petite falaise kimméridgienne dont il occupe la moitié, surplombe un lambeau de terrasse fluviatile abandonné par l'Ain à 20 m au-dessus de son niveau actuel. Le site se trouve à la sortie d'une courbe de l'Ain, dans sa concavité.

Le pendage des bancs calcaires est bien visible dans la partie Est de l'abri : environ 30° Est. Deux types de roche se superposent : à la base, un calcaire oolithique jaune, plus haut un calcaire lithographique blanc dont les éclats ressemblent au silex "cacholonné" des couches paléolithiques. L'affleurement rocheux est abondamment diaclasé et karstifié : dans son sommet s'ouvrent plusieurs petits boyaux rapidement colmatés par une argile rouge très compacte.

Le remplissage de l'abri, formé de sables et d'éboulis, peut atteindre 15 m d'épaisseur (sondage H. Movius, 1948) ; mais seuls les niveaux supérieurs présentent un intérêt archéologique. A l'Ouest, le remplissage passe à un dépôt de pente qui remonte le long du pointement rocheux jusqu'aux deux tiers de sa hauteur (fig. 1 et 2)

B. Historique des recherches :

L'intérêt archéologique du site fut découvert en 1867 par Adrien Arcelin. Dans une courte note, cet auteur décrit un niveau néolithique déjà fort bouleversé, concrétionné par endroits, qu'il avait sondé sur une faible profondeur. Par la suite, de nombreuses fouilles bouleversèrent presque complètement les niveaux supérieurs, parmi lesquels une couche magdalénienne, appelée couche B.

Dans les années 1913-1914, le docteur L. Mayet, de la Faculté des Sciences de Lyon, et J. Pissot, pharmacien à Poncin, y entreprirent des fouilles très étendues en surface et en profondeur. Ils constatèrent la destruction des niveaux supérieurs, mais découvrirent, à 1,50 m sous la surface du sol, un niveau à industrie paléolithique qui fournit de remarquables oeuvres d'art mobilier (neuf galets et deux grosses esquilles de mammoth gravés). Les fouilles donnèrent lieu à une monographie très complète, publiée en 1915.

Les fouilles continuèrent de façon anarchique après la première guerre mondiale, vidant à peu près complètement l'abri de ses sédiments.

En 1948, le Professeur H. Movius, de l'Université de Harvard, y entreprit des recherches importantes pendant deux mois. Les fouilles ont apporté beaucoup de précisions sur le gisement lui-même et son environnement géologique. Elles furent complétées en 1949 et 1950 par une étude des formations quaternaires de la région, et publiées en 1956.

Depuis 1975, de nouvelles recherches sont en cours à l'extrémité ouest de l'abri.

II - STRATIGRAPHIE :

A. Stratigraphie établie par L. Mayet et J. Pissot (1913-1914) :

Non décrite en détails dans la publication de 1915, elle est illustrée par quelques photographies (pages 31 à 45) que l'on peut situer facilement grâce à la paroi rocheuse qui ne s'est pas modifiée depuis 50 ans. De bas en haut, ces auteurs décrivent :

VIII "Niveau de base stérile" formé de sables bien stratifiés, contenant des lentilles d'éboulis (Mayet et Pissot, fig. 15 et 16). Ce sédiment, exploité

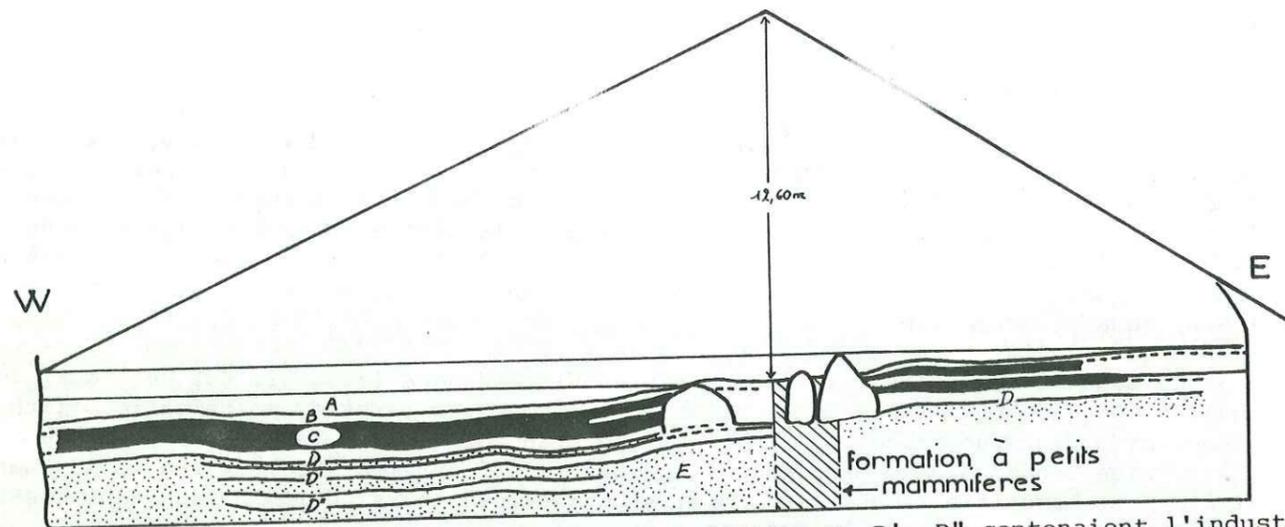


fig 3 Stratigraphie de L. Mayet et J. Pissot (1915). D, D', D'' contenaient l'industrie "aurignacienne"

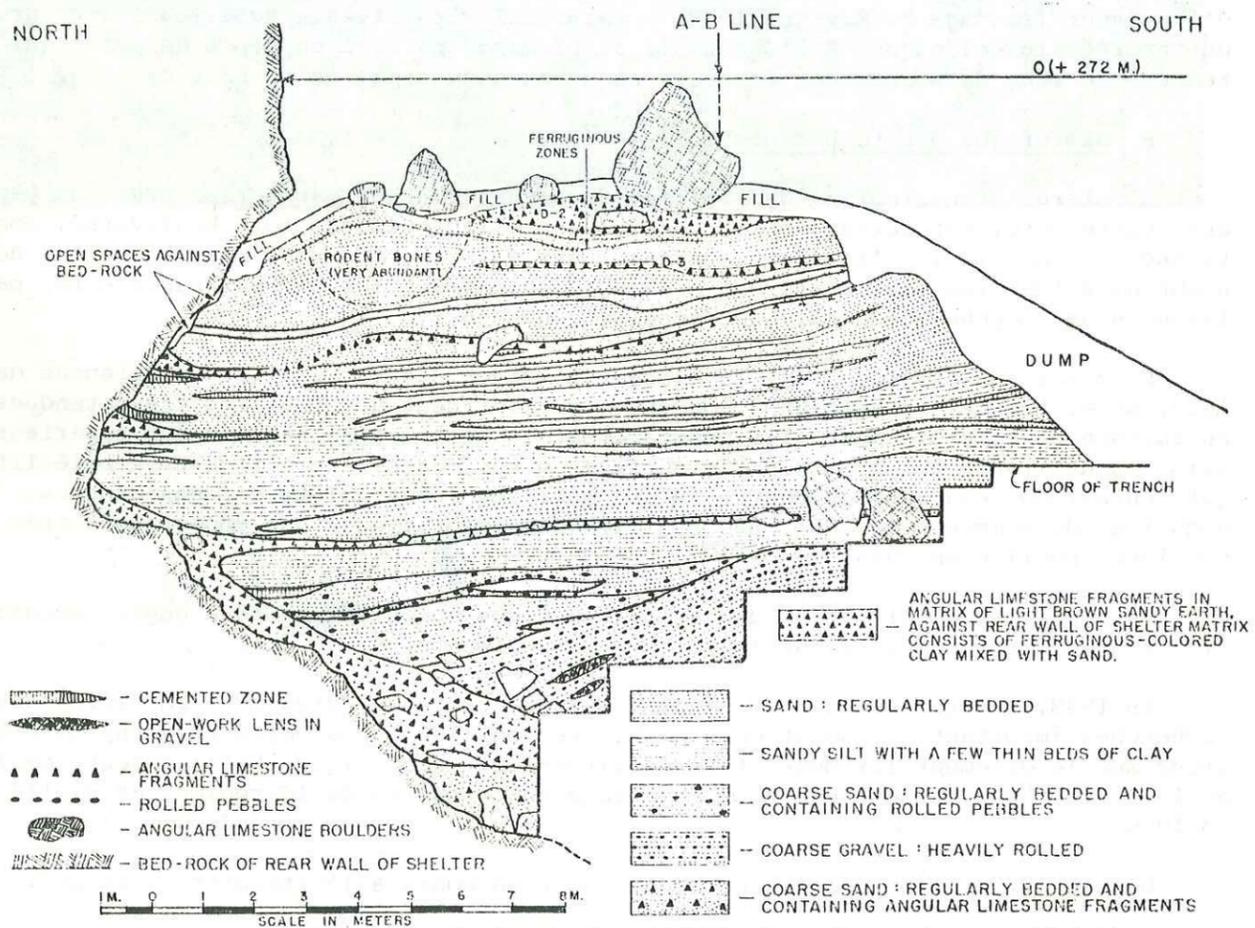


fig 4a Stratigraphie de H. Movius (1956) dans le centre de l'abri

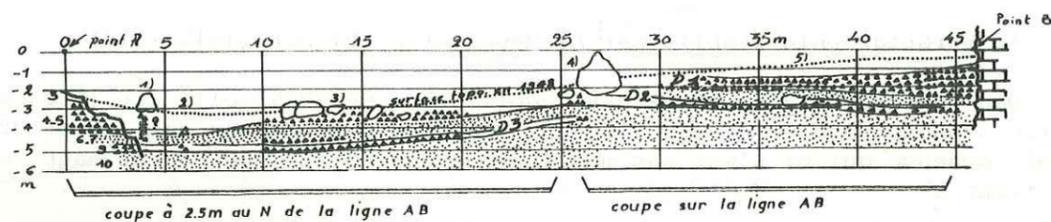


fig 4b Schéma situant les coupes publiées par H. Movius par rapport aux fouilles 1975-1978 (on les a numérotées de gauche à droite)

dans une sablière à l'avant de l'abri (Mayet et Pissot, fig. 4 et 12) a été reconnu sur une épaisseur de 10 m. Il s'agit de la haute terrasse de l'Ain. D'après les photographies, cette formation semble érodée à son sommet.

- VII Eboulis à matrice sableuse fine, apparemment peu ou pas stratifié, d'épaisseur variable (45 cm environ). Cette couche, appelée D'', a fourni quelques rares silex taillés, qui n'ont malheureusement pas été singularisés dans le lot des silex "périgordiens".
- VI Sables stériles à litage horizontal très net. A la base, on distingue une lentille de limons (beaucoup plus sombre en coupe). Ce type de dépôt, comme celui de VIII, provient probablement de débordements périodiques de la rivière. Epaisseur : 50 cm. Appellation : E.
- V Sables fins et éboulis appelés D', ayant fourni une industrie lithique peu abondante, qui n'a pas non plus été répertoriée spécialement. Epaisseur : 45 cm. La photographie n'en donne qu'une idée très vague. Il semble que les cailloux étaient plus abondants que la matrice.
- IV Mince couche (10 cm) de sables stériles et de cailloux.
- III Eboulis à matrice sableuse (?) épais de 50 cm environ. Cette couche a fourni les objets d'art mobilier et l'essentiel de l'industrie lithique dite "des niveaux D".
- II Couche C, épaisse de 1 m environ. Sables à litage horizontal, mélangé à des éboulis. Dans le secteur est de l'abri, cette couche aurait contenu un niveau à "industrie microlithique", mais cette information n'a jamais pu être confirmée.
- Ibis Couche B, magdalénienne, qui était encore visible sur 30 à 40 cm d'épaisseur en 1915. Sa nature n'est pas connue exactement.
- I Couche A : niveaux néolithiques et plus récents.

Pour Mayet et Pissot, les couches D appartenaient à la terrasse fluviatile : la présence d'une épaisse couche de sables lités stériles (C) ne laissait aucun doute à ce sujet. L'industrie des couches D était attribuée à l'Aurignacien.

Notre figure 3 montre la disposition de cette stratigraphie dans une coupe semi-schématique parallèle à la paroi. A l'aplomb du boyau qui s'ouvre au centre de l'abri, les couches étaient recoupées verticalement par un dépôt bréchifié rouge très riche en microfaune ("formation à petits mammifères") formé par un ruissellement intense en provenance du karst. Les auteurs décrivent un enrichissement progressif en argile, de bas en haut : il s'agissait probablement des argiles "de colmatage" citées plus haut.

B. Stratigraphie de H. Movius (1948) :

Cet auteur a adopté la même stratigraphie, en modifiant quelque peu l'appellation des couches. Ainsi, D, D', D'' deviennent D1, D2, D3. Les deux niveaux stériles intercalaires deviennent E1, E2, les sables "de base" s'appellent F. Mais il fournit une description très complète de chaque couche (fig. 4a, 4b)

- contre la paroi, sur 50 cm environ, il trouve partout un éboulis à matrice sableuse dont se "détachent" à leurs niveaux respectifs, les couches D. Celles-ci plus épaisses vers la paroi, sont souvent constituées de lentilles contiguës mais peuvent aussi former des strates régulières et fines sur plus de 10 m de longueur.

- les couches D sont décrites comme un éboulis assez fin, à matrice "sablo-terreuse" brun-rouge ou gris-rougeâtre, plus grossière et plus sombre que les sables

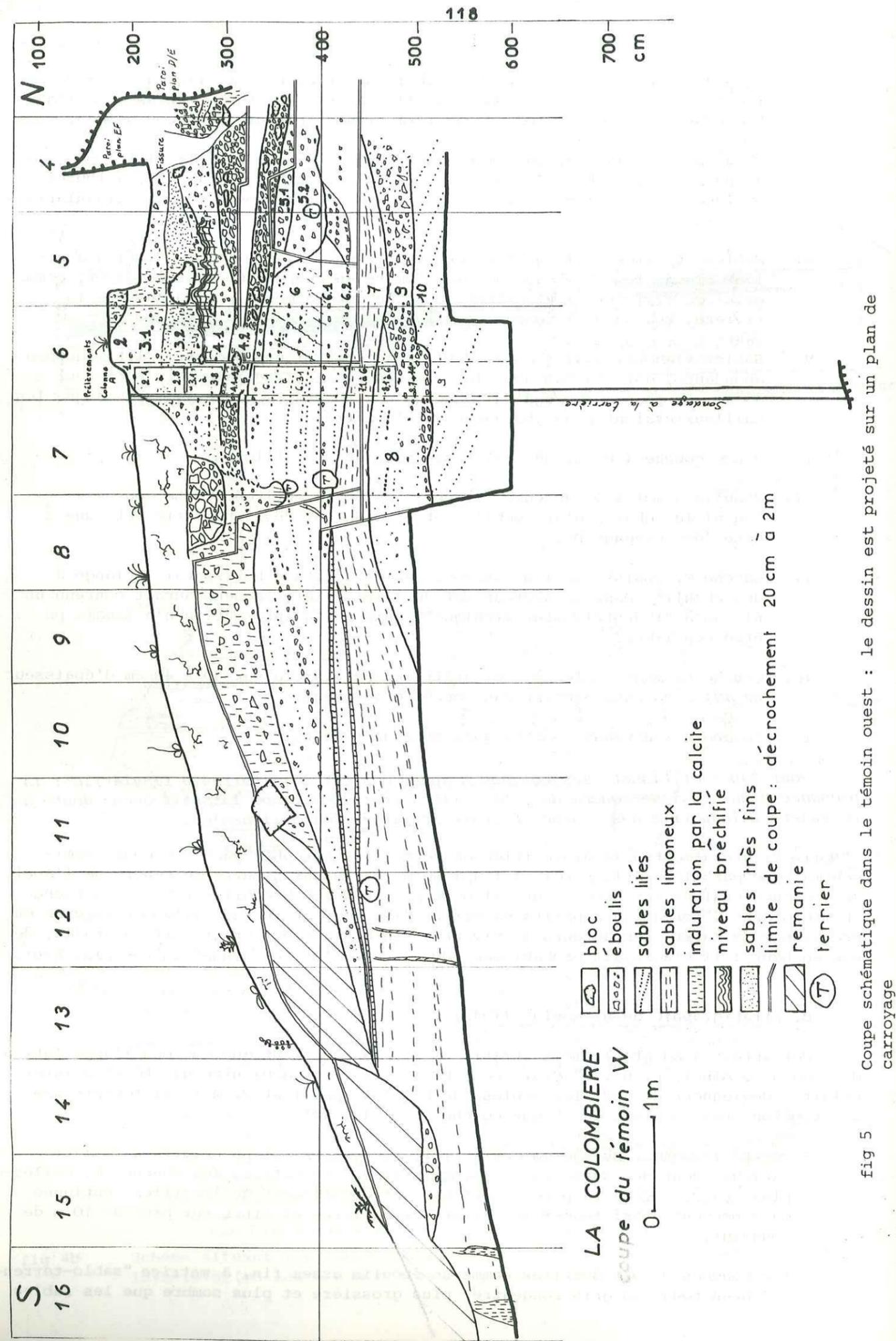


fig 5 Coupe schématique dans le témoin ouest : le dessin est projeté sur un plan de carroyage

fluviatiles F ou E2. Ces dépôts ne sont pas lités mais contiennent quelques lentilles (métriques) de sable gris. Les cailloux ne présentent aucune altération.

- un sondage profond de 10 m, dans la partie médiane de l'abri a révélé la structure de la terrasse de l'Ain :

- . à partir de - 9 m, la paroi rocheuse dessine un retour (pente à 45° vers la vallée) qui est recouvert d'une nappe d'éboulis.
- . plusieurs couches à galets et sables grossiers, inclinées vers la paroi, témoignent d'une période où la rivière coulait dans l'abri.
- . plus haut, la terrasse est formée d'un complexe limono-argileux subdivisé en nombreuses lentilles assez fines.
- . au sommet, les sables prédominent sur les limons.
- . deux couches d'éboulis, comparables à D3 et comportant quelques blocs, sont interstratifiées dans les sédiments fluviatiles.
- . un concrétionnement très localisé a cimenté certains lits de sables.

Plusieurs faits intéressants sont à noter en outre :

- la couche D2 contenait de nombreux blocs dont plusieurs avaient été débités sur place par le gel en petits cailloux (Movius, p. 29). D'après les coupes, il semble bien que les plus gros blocs soient tombés vers la fin du dépôt de D2.
- à l'extrémité est du gisement, les couches D1 et C étaient séparées par un lambeau de sol, sédiment brun foncé à cailloux roulés et altérés.
- la couche C est décrite comme un sable brun très fin, comportant quelques cailloux non altérés.

L'essentiel de l'industrie était concentré dans la couche D1. La couche D3 s'est révélée totalement stérile, D2 a fourni une dizaine de silex. Un silex isolé est signalé dans la couche E1.

Les analyses sédimentologiques effectuées à Harvard montrent une grande similitude entre les sables de F, D, E, C, (Movius, pp. 37-41) tant pour le classement et les médianes que pour les teneurs en carbonates. Les auteurs sont catégoriques pour inclure D3 et D2 dans la haute terrasse de l'Ain. Pour D1 et C, ils sont moins affirmatifs, mais précisent cependant qu'il ne peut pas s'agir de sédiments éoliens.

La publication de H. Movius comporte une étude approfondie des formations quaternaires de la région (p. 45-72) : vallée de l'Ain, lac de Nantua, Rhône, etc... On peut retenir la relation très convaincante établie entre la terrasse de 23 m de l'Ain et les moraines würmiennes du Rhône dans la cluse de Lagnieu (basse vallée de l'Ain). On constate en effet que le glacier du Rhône n'a jamais complètement obstrué la vallée de l'Ain (Movius, fig. 18-19).

L'emplaiement de la vallée de l'Ain (terrasse de 23 m) n'est donc pas dû à un barrage, mais aux abondants apports détritiques du glacier, qui dépassaient la capacité d'érosion du cours d'eau. Dès le retrait du glacier, le lit de la rivière s'est à nouveau enfoncé. La terrasse de la Colombière est donc vraisemblablement contemporaine

D'après les connaissances actuelles, il s'agirait du Würm II, c'est-à-dire une période située entre 55 000 et 40 000 ans B.P.

Cet âge ancien ne s'accorde pas avec les datations effectuées sur les charbons de la couche D1 : entre 9 600 et 13 500 B.P. (Université de Columbia). Par ailleurs, l'étude de l'industrie et du style des figures (J. Allain, 1958 ; L. Pradel, 1959 ; A. Leroi-Gourhan, 1965) tend à montrer que le supposé Périgordien des couches D est probablement un Magdalénien moyen (Magdalénien III ou IV), dont l'âge serait compris entre 9 000 et 13 000 B.P. approximativement. La date de 13 000 B.P. a d'ailleurs été

confirmée par la datation, en 1973, d'une esquille de mammoth, peu suspecte de "contamination" : 13 390 ± 300 B.P. (Ly 433).

Cette contradiction entre les datations absolues, la typologie et les données géologiques rendait particulièrement intéressantes les nouvelles études menées dans le secteur ouest de l'abri.

C. Stratigraphie du témoin ouest. Fouilles 1975-1978 (fig. 5, 6, 7) :

De bas en haut, nous avons distingué neuf couches principales :

- couche 10** : sable compact, gris-jaune. Le litage, incliné de 30° environ vers la paroi, est souligné par de nombreux lits plus riches en limons qui apparaissent sombres en coupe (fig. 6). Quelques minces niveaux de cailloux (épaisseur d'un fragment) sont interstratifiés. Au contact de la paroi, cette formation est séparée du rocher par un espace vide de 10 à 20 cm (H. Movius et L. Mayet font état de la même observation dans le centre de l'abri). Cette fissure reparaît plus haut dans le remplissage. Près d'elle, le sédiment présente quelques déformations (comme des plis centimétriques) mais n'est pas perturbé. A son sommet, près de la paroi, la couche 10 s'enrichit en cailloux et granules : il s'agit en grande partie des oolithes qui constituent la roche et qu'un fractionnement très poussé a libérés. Le sédiment est traversé par des terriers assez volumineux, dont certains présentent un remplissage lité : il pourrait s'agir de bioturbations sub-contemporaines de la couche. La couche 10 est limitée vers le haut par une surface d'érosion très nette, manifestement fluviale. Vers le bas, nous l'avons complétée sur 3,50 m environ par un sondage à la tarière, dont les résultats sont schématisés sur la figure 18.
- couche 9** : Eboulis assez hétérométrique à matrice sableuse. Les cailloux ne présentent pas d'orientation préférentielle mais sont groupés en petites lentilles très discontinues qui évoquent des "crachées" successives. La couche est fine loin de la paroi (3 à 7 cm) et s'épaissit brusquement à la limite 7/6 (15 à 25 cm). Dans cette zone, les lentilles de cailloux sont franchement interstratifiées dans les sables de la couche 8 (fig. 5). Les deux formations sont donc, au moins pour la moitié inférieure de c.8, contemporaines. Le contexte fluviale de la couche 9 ne fait aucun doute : dans la bande 5 (fig. 6), elle comprend à sa base un niveau de cailloux recouvert de limons et de sables lités, le haut étant limité par une surface d'érosion. Elle passe latéralement aux sables lités de la couche 8, et se trouve scellée par les limons manifestement fluviaux de la couche 7. La couche 9 a été, elle aussi, affouillée par des terriers. Nous n'y avons décelé aucun indice d'activité humaine.
- couche 8** : Sables gris-jaune clair, assez fins, enrobant des cailloux anguleux dont l'abondance diminue de la base vers le sommet. Le litage, bien visible au sommet, correspond à de légères variations de granulométrie. Le sédiment est plus hétérogène dans les 2/3 inférieurs : on observe la juxtaposition désordonnée de zones plus ou moins limoneuses (bioturbations ?). Interstratifiée avec c.9 à sa base, elle semble plutôt la recouvrir dans son tiers supérieur, et se pince à 2 m de la paroi. Epaisseur maximale observée : 60 cm.
- couche 7** : Limon sableux brun-clair, compact. Le litage, faiblement visible (feuillets millimétriques), subhorizontal, est souligné par quelques lentilles plus sableuses. La fouille a fait apparaître des "ripple-marks" au sommet de la formation : espacés de 10 cm environ, ils sont parallèles à la paroi, et formés de plusieurs feuillets, ce qui suppose une immersion assez longue et une agitation constante. La couche s'arrête peu avant la paroi (50 cm). A partir de la limite 8/9 elle s'épaissit considérablement, suggérant un chenal décamétrique parallèle à l'abri. Dans les bandes 8, 9, 10, elle dessine une faible crête. Vers l'extérieur de l'abri, son sommet est cimenté par la calcite qui a imprégné certains niveaux sableux. Dans les bandes 14 et 16 (fig. 5) des plans subverticaux (pendage 80°S) correspondant peut-être à des failles de tassement, sont soulignés par une cimentation assez forte.

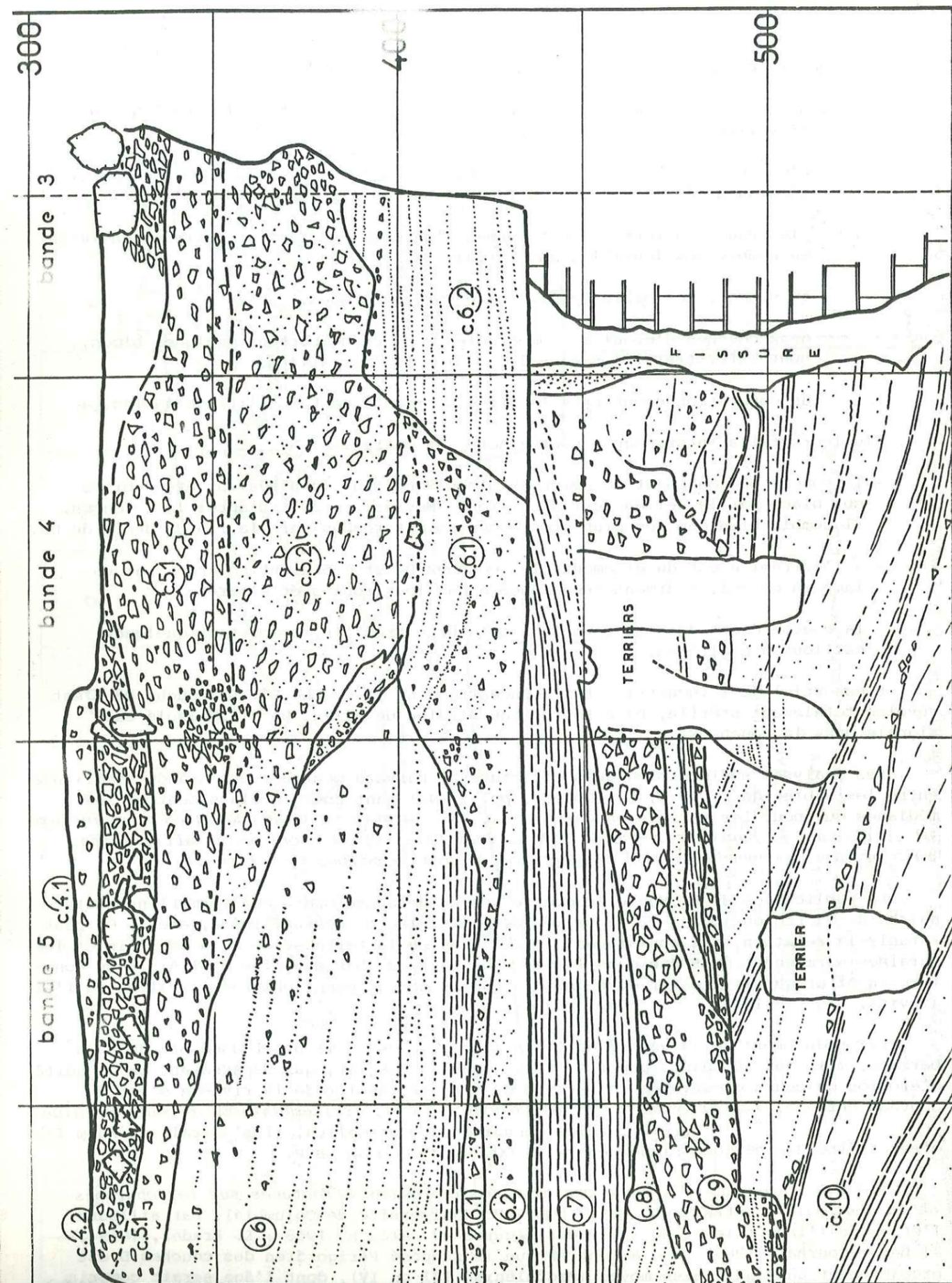


fig 6 Partie inférieure du témoin ouest

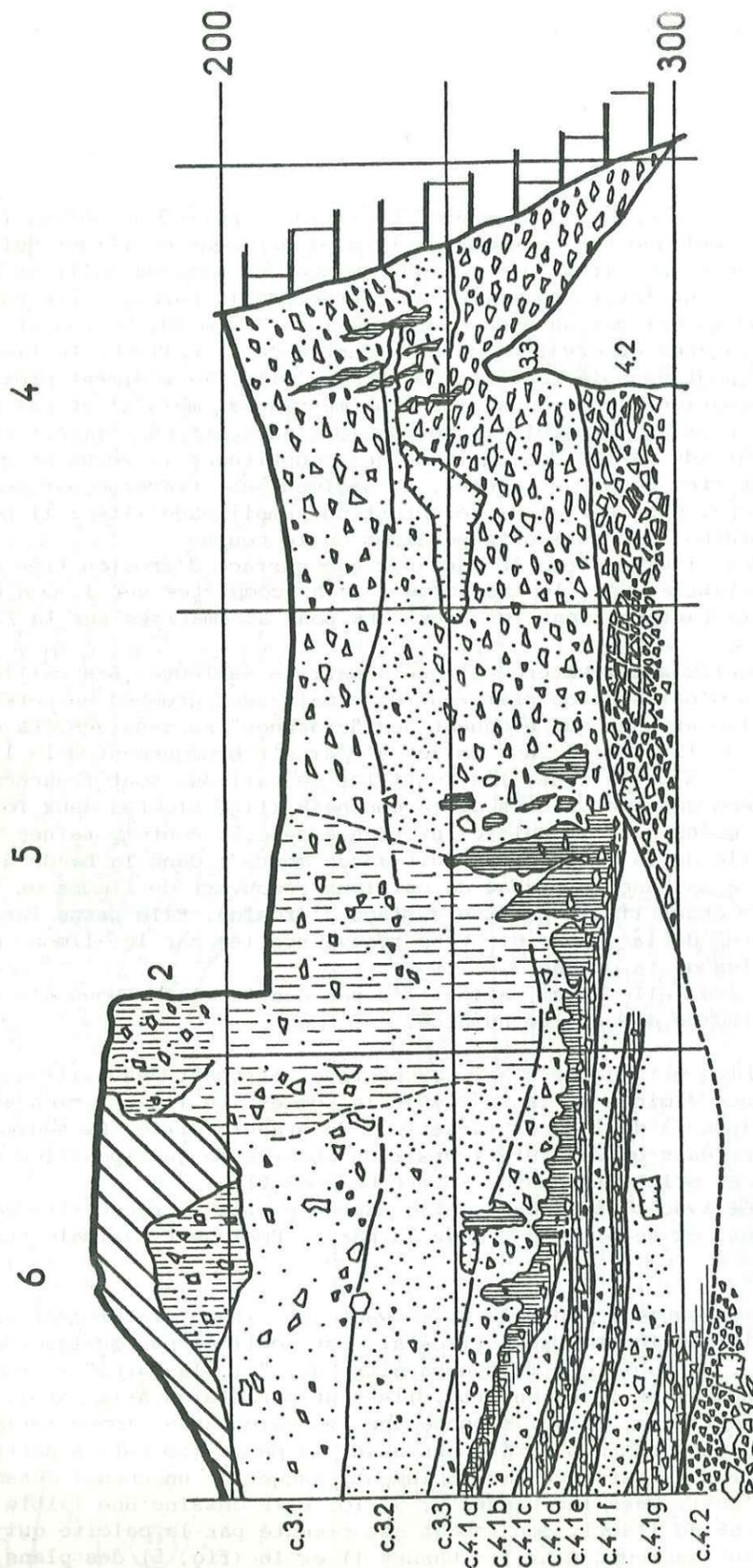


fig 7 Partie supérieure du témoin ouest

e) couche 6 : Sables, limons et lentilles de cailloux, dont la disposition de détail, est compliquée par leur rapport mal observable avec l'ensemble 5. Le dépôt semble caractérisé par des alternances de sédimentation et d'érosion :

- couche 6.2 : sables gris-jaune à litage subhorizontal (légères variations de granulométrie, feuillets centimétriques). Contre la paroi, c.6.2. atteint 50 cm.
- surface d'érosion qui ne laisse subsister de 6.2 qu'un témoin contre la paroi et une lentille au sommet de c7.
- couche 6.1 : sables et cailloux sans stratification apparente sauf dans la bande 4 (fig. 6) où le litage dessine le remplissage d'un petit chenal.
- surface d'érosion qui recoupe les litages précédents à la limite 4/5.
- couche 6. A la base : limons à litage horizontal (10 cm). Vers le haut : sables gris-jaune lités qui enrobent quelques cailloux dans le tiers supérieur (épaisseur maximale : 80 cm). Le litage, visible grâce aux variations de granulométrie, est constitué de feuillets assez minces (8 à 30 mm), continus parfois sur plus de 2 m. Il dessine une "crête" arrondie qui culmine dans la bande 7 : cependant, cette structure n'est pas celle d'une dune : les feuillets de sable sont tous parallèles entre eux.

La couche 6 est traversée par plusieurs galeries de terriers, dont certains sont vides et semblent subactuels, tandis que d'autres ont subi un remplissage et une bréchification qui témoignent de leur ancienneté. Dans les bandes 5 et 6, le sédiment est traversé par des "fissures" parallèles, inclinées de 60° environ vers l'extérieur de l'abri.

La couche 6 s'arrête contre une surface d'érosion (bandes 4 et 5, fig. 6) qui dessine un petit chenal au rebord sud arrondi. Cette érosion semble s'être produite en milieu aérien car sa concavité n'est pas tournée vers la rivière comme c'était le cas pour toutes les précédentes. *Il semble donc bien que le dépôt de la couche 6 soit la dernière manifestation fluviale observable dans le témoin ouest.*

f) couche 5 : Eboulis à matrice sableuse ou sablo-argileuse.

- couche 5.2 : éboulis à matrice sableuse, sans litage apparent, qui forme le remplissage du petit chenal évoqué plus haut. Epaisseur maximale : 50 cm.
- couche 5 : éboulis à matrice sablo-argileuse brune. Epaisseur maximale : 30 cm.

Les couches 5 n'existent que dans le voisinage de la paroi. Elles n'ont livré aucune industrie.

g) couches 4 (fig. 6 et 7) :

- couche 4.2 : éboulis très hétérométrique à structure d'"open work" (sans matrice). Le sédiment comporte plusieurs blocs de taille décimétrique dont quelques-uns sont éclatés sur place, donnant naissance à un éboulis très compact. La couche est inclinée vers l'intérieur de l'abri (10 à 15 ° ?). En coupe, elle dessine un sillon dont le point le plus profond se situe vers la limite 5/6. Epaisseur : 10 à 30 cm environ, plus forte contre la paroi. Près de la paroi, une "fissure", large de 50 cm au maximum, recoupe toute la couche (fig. 7) et entame la couche 3. Le sédiment 4.2 est particulièrement riche en microfaune.
- couche 4.1 : alternance d'éboulis à matrice sablo-argileuse brune (4.1g, e, c, a) et de sables à cailloux (niveaux 4.1b, d, f). Dans la coupe effectuée en 1977, cette alternance n'était visible que sur 2 m de large environ. Elle occupe la dépression décrite dans le paragraphe précédent (fig. 7). Les sables, très fins, ne présentent aucun litage. Les niveaux 4.1a et 4.1c sont

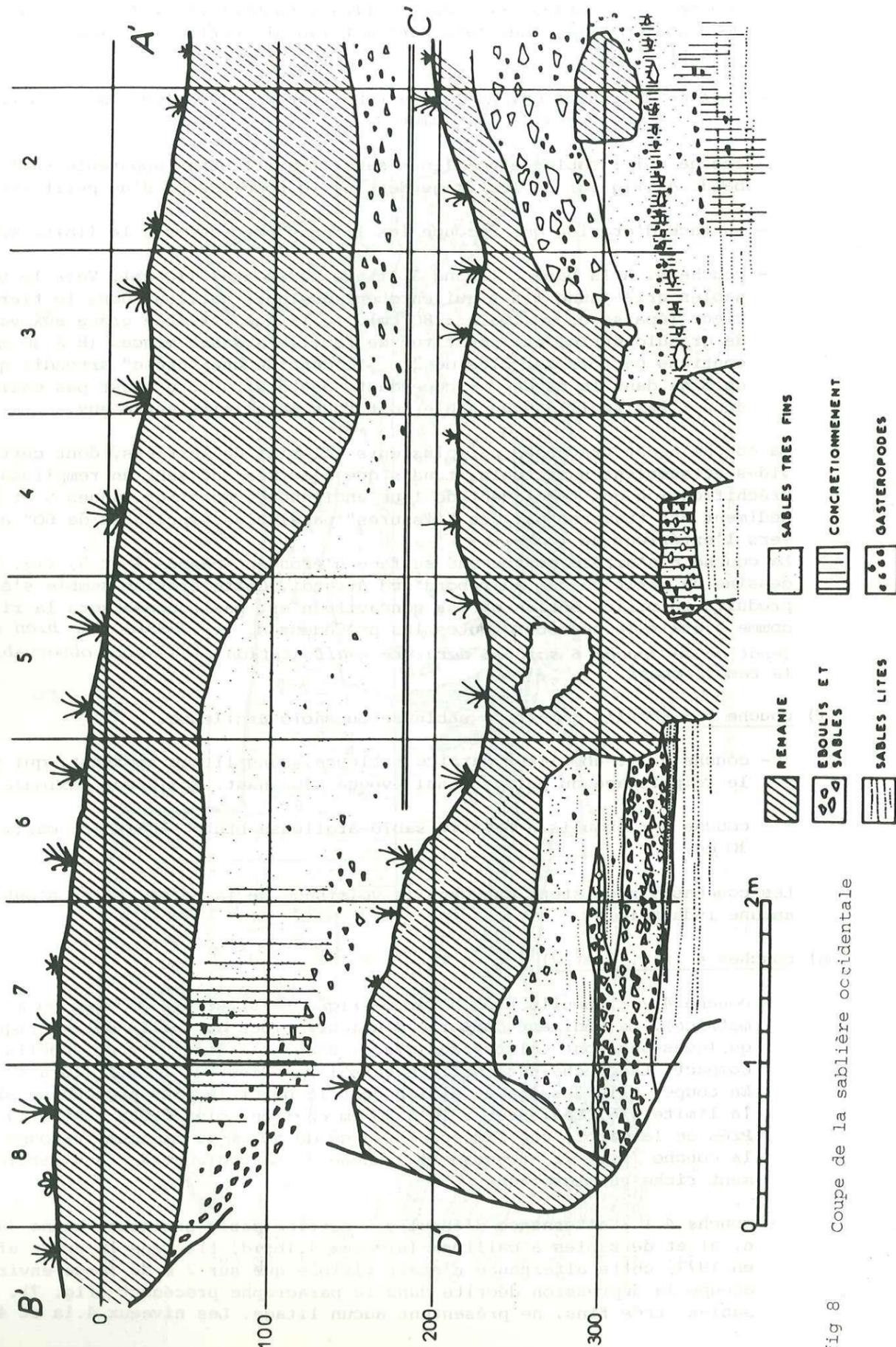


fig 8 Coupe de la sablière occidentale

surmontés par une zone bréchifiée très dure, liée probablement à la variation de perméabilité entre c.3.3 et les niveaux plus argileux. La limite supérieure de cette zone cimentée est très nette et constitue une surface ondulée, inclinée de quelques degrés vers le centre de l'abri. Epaisseur maximale de c.4.1 : 50 cm.

h) couche 3 : Sables très fins et éboulis.

- couche 3.3 : éboulis à matrice de sables jaunes très fins. La couche s'épaissit contre la paroi, passant de 10 à 40 cm. Dans les bandes 5 et 6, cette couche a fourni deux éclats de silex.
- couche 3.2 : sables jaunes très fins, sans litage apparent. Ses limites avec c.3.3, et c.3.1 sont progressives. A l'aplomb de la falaise, la couche 3.2 (tout comme 3.1) est traversée verticalement par une zone de concrétionnement diffus qui rend les limites de couches invisibles. Dans ce secteur, on trouve de nombreuses concrétions en forme de racines : tubes de calcite (diamètre 0,5 mm à 15 mm) blanche, aux formes tortueuses, souvent ramifiés. Les sections montrent une structure spongieuse entourée d'un "cortex" plus dur. L'orientation de ces concrétions est quelconque. Elles sont probablement liées à la végétation : autour des racines, la calcite dissoute dans l'eau de percolation, précipite plus facilement. Des concrétions de ce type, mais isolées, existent également dans la couche 6. La couche 3.2 nous a fourni une industrie assez abondante en comparaison avec la stérilité des couches sous-jacentes :

. contre la paroi, une lentille de sables indurés contenait une quinzaine de pièces : lames, éclats lamellaires, deux outils et un nucléus. Le silex qui ressemble à de la porcelaine correspond à ce que l'on connaît pour les niveaux D.

. dans la bande 4, contre et au-dessus d'un bloc (fig. 7) un petit atelier de taille a fourni une centaine d'éclats, très petits pour la plupart. Il s'agit d'un silex jaune-vert à éclat gras, différent du silex précédent.

. dans le reste de la couche, quelques éclats de silex ont été trouvés à différents niveaux.

- couche 3.1 : cette couche ne diffère de la précédente que par la plus grande abondance des cailloux, surtout vers la paroi. Elle n'a pas fourni d'industrie mais un peu de faune : ours, renne.

i) couche 2 : Nous désignons ainsi (provisoirement) les sédiments dégagés par la fouille en 1978 au sommet de la coupe étudiée jusqu'à présent. Il s'agit de cailloux et de sables fins semblables à la couche 3. Les sédiments reposent sur d'énormes blocs dont la base n'a pas encore été atteinte (ils appartiennent probablement à c.4.2). Deux niveaux semblent se dégager :

- vers le bas, un niveau fort mal délimité, "riche" en faune, principalement du renne (fig. 8)
- au sommet, un niveau à pierres brûlées qui a fourni quelques éclats de silex.

La couche 2 est plus riche en sable dans les bandes 5 et 6 (entre les blocs et la paroi), plus riche en cailloux vers l'extérieur. Elle ne présente aucune stratification et les cailloux ont toutes les orientations possibles. Il est difficile pour le moment de la corréler avec les couches 3 (on ne peut pas estimer leur pendage) mais elles sont probablement contemporaines.



fig 9 -

Vue générale du témoin ouest avec les principales formations
les couches 3 sont masquées par la brêchification

D. Corrélation des fouilles de 1975-1978 avec les résultats antérieurs :

Une coupe schématique, parallèle à l'abri, permet de situer les coupes publiées par H. Movius en 1956 (fig. 46).

La couche 9 est vraisemblablement l'équivalent de D3 autant par son aspect (comparable aux anciennes photographies) que par sa position stratigraphique (au-dessus de sables à litage oblique) et altimétrique qui est bien dans le prolongement des coupes 2 et 3 de H. Movius. On constate que la coupe 1 de cet auteur situe D3 40 cm plus haut mais cette situation n'est en accord ni avec nos observations, ni avec ses autres coupes : il pourrait s'agir d'une erreur de dessin.

La couche D2 pourrait bien être représentée par c.4.2. et c.5.1, bien que les indications altimétriques ne soient pas concordantes à ce sujet. Le rapprochement est justifié par la présence de blocs, parfois éclatés sur place, et par la matrice brune de c.5.1.

L'équivalent de D1 pourrait donc être la couche 4.1, et C serait représenté par les couches 3, ce qui est conforme à la figure 9 de Movius, qui indique par ailleurs que dans ce secteur, D1 et D2 sont directement superposées, sans intercalation de sables. Il est également possible que D1 ne se soit pas déposée dans le témoin ouest : le peu d'industrie découvert par les fouilles de 1977 en c.3.2 ne constitue pas un argument. La comparaison est rendue difficile par le fait que les couches du témoin ouest présentent un certain pendage et passent latéralement (vers l'Ouest) à un dépôt de pente mal connu.

E. Stratigraphie des dépôts de pente à l'Ouest de l'abri. Coupes A'B' et C'D' :

Pour mieux comprendre les sédiments du témoin ouest, il était nécessaire de connaître la nature des dépôts de pente qui forment un glacis très plan sur la bordure ouest de la Colombière (fig. 2). Nous avons choisi d'effectuer une coupe NW-SE à la limite supérieure de la terrasse fluviatile, reconnaissable dans la topographie par une légère rupture de pente (coupes A'B' et C'D' parallèles et décalées de 1 m environ, fig. 2 et 9).

Le sommet de la terrasse fluviatile se situe à l'altitude 268, donc environ 60 cm plus bas que dans le témoin ouest. De bas en haut, on observe :

- sables gris-jaune à litage horizontal, localement cimentés par des imprégnations de calcite.
- éboulis à matrice sableuse non litée. La disposition de cette couche, plus épaisse près du rocher, rappelle celle de la couche 9. Elle est localement recouverte par des sables lités, derniers dépôts fluviatiles observables dans cette coupe.
- sables hétérogènes non lités, gris-jaunes, contenant quelques cailloux. Ce sédiment est riche en coquilles de gastéropodes qui forment un véritable niveau dans les bandes 3 et 2.
- sables jaunes très fins non lités contenant quelques cailloux vers le rocher.

Aucune de ces couches n'a fourni des traces d'activité humaine. La stratigraphie est très perturbée par les travaux agricoles (vignes) et par de nombreux terriers.

Les sédiments des coupes A'B' et C'D' présentent des analogies très nettes avec ceux du témoin ouest :

- le sommet de la terrasse fluviatile présente des figures de sédimentation typiquement fluviatiles : litage très fin, mais bien tranché, correspondant à des variations de la granulométrie, intercalation de lits limoneux : ces dépôts peuvent provenir de débordements périodiques. La terrasse est érodée à son sommet : dans la coupe C'D' elle culmine 1,5 m plus bas qu'à l'extrémité est de l'abri.

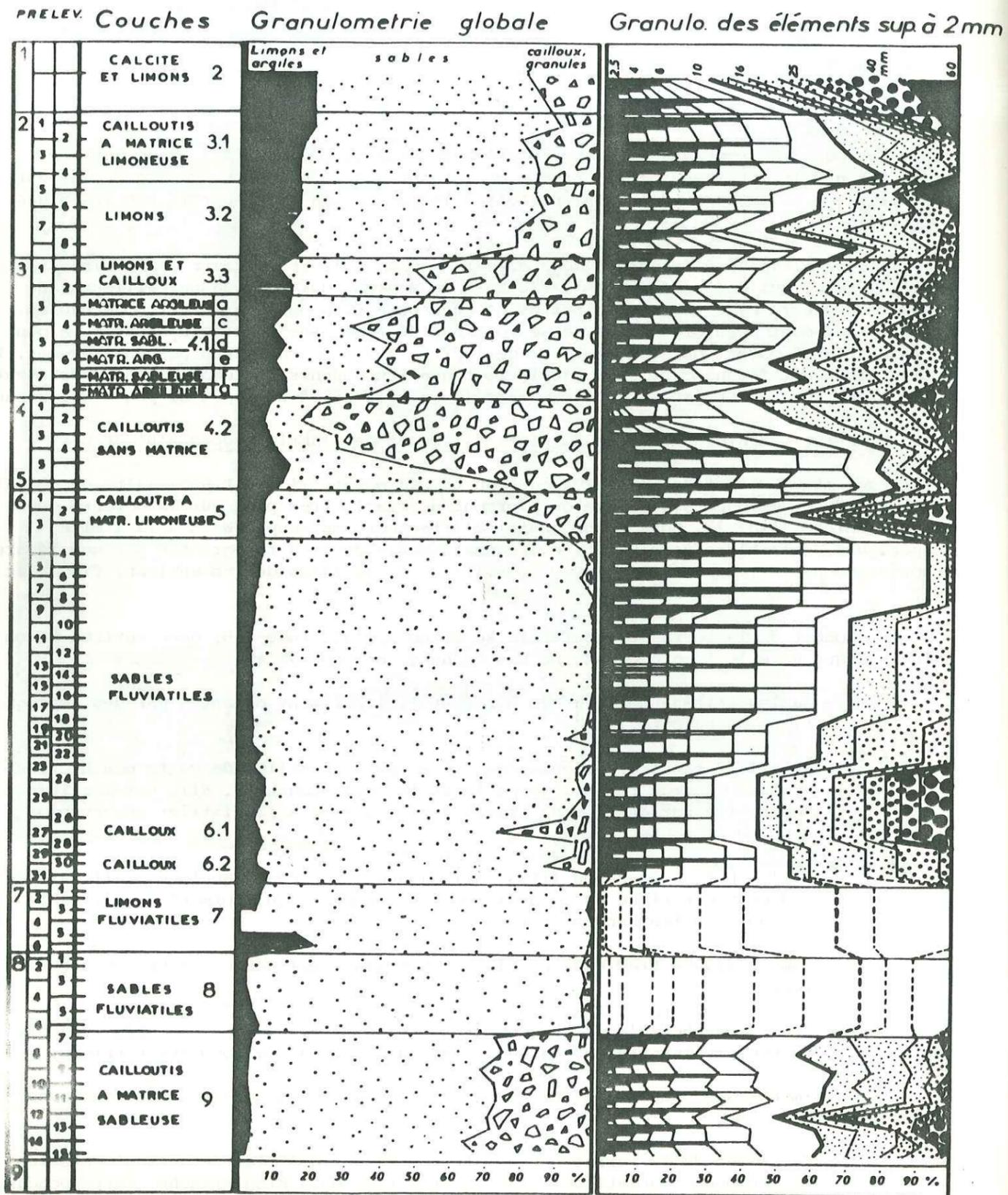


fig 10 Colonne de prélèvements A. A : granulométrie globale. B : granulométrie de la fraction supérieure à 2 mm, ramenée à 100 %

- des couches d'éboulis sont interstratifiées dans les sables fluviatiles. Leur épaisseur diminue quand on s'éloigne du rocher qui les a produits.

- au-dessus des dépôts lités, on observe une stratigraphie formée de sables fins (ou très fins) non lites et d'éboulis. Ces sables ne semblent pas avoir été déposés par la rivière (absence de tout litage) mais proviennent plutôt d'un remaniement éolien de matériaux fluviatiles. Une autre observation confirme cette origine éolienne : un petit sondage effectué contre le rocher de la Colombière à l'altitude 281 fait apparaître le même type de sédiment : sables jaunes très fins mêlés de cailloux.

III - ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES :

A. Méthodes :

Comme pour l'analyse de l'abri Gay, nous avons surtout utilisé les méthodes granulométriques, sous plusieurs formes. Les comptages sur les fractions grossières se sont révélés intéressants mais d'une interprétation difficile.

L'exoscopie effectuée sur les grains de quartz des niveaux supérieurs a donné de bons résultats.

Enfin, la calcimétrie et le dosage des phosphates tricalciques ont été appliqués à de nombreux échantillons.

Pour les prélèvements, nous avons rafraîchi la limite ouest des fouilles antérieures, en respectant les contours irréguliers de cette coupe. Les prélèvements ont d'abord été effectués sur une colonne, en stratigraphie artificielle. Plus tard, la stratigraphie des bandes 4, 5, 6 apparaissant, nous avons prélevé des échantillons dans chaque couche, obtenant ainsi des résultats beaucoup plus nuancés.

B. Les éléments du remplissage :

Les matériaux disponibles pour le remplissage sont moins diversifiés que pour l'abri Gay ou la grotte des Romains.

a. *argiles rouges* : elles colmatent de nombreuses fissures et grottes, en particulier le boyau qui s'ouvre sous le toit de l'abri. Ces argiles semblent avoir été mobilisées à certaines époques (publication L. Mayet-J. Pissot). Dans le témoin ouest, cependant, on n'en trouve aucune trace.

b. *éboulis* : les cailloux du remplissage proviennent en majeure partie du toit et des parois de l'abri. Dans le témoin ouest quelques éboulis ont pu arriver par la pente, ce qui explique le pendage est des couches 4. Les parois de l'abri sont lissées par l'altération ("usure") dans toutes les parties hautes qui n'étaient pas protégées par le remplissage. De nombreux trous dans le plafond et la falaise ont servi de repaire aux oiseaux de proie : les sédiments de la Colombière sont riches en microfaune provenant de pelotes de rejection.

Les parties inférieures de la paroi, protégées jusqu'à une date récente par le remplissage, montrent des arêtes avivées par le gel. La destruction thermoclastique a exploité les réseaux de diaclases qui parcourent la roche, et qui, à la Colombière, ont une densité très variable d'un point à un autre. La granulométrie "primaire" des cailloux devait, elle aussi, beaucoup varier avec l'emplacement.

L'activité thermoclastique est très faible ou nulle actuellement, l'état de la paroi n'a pas changé de façon appréciable depuis 1915, date des photographies de Mayet et Pissot. D'ailleurs, elle a dû être très faible durant tout le Postglaciaire.

Il fallait probablement des conditions rigoureuses pour déliter la roche de la Colombière : froid, humidité abondante. Ce dernier facteur est peut-être le plus important : on sait qu'il faut une imprégnation suffisante de la roche pour que le gel devienne efficace. Or, la Colombière, par sa forme et son exposition au Sud, est actuellement un lieu très sec.

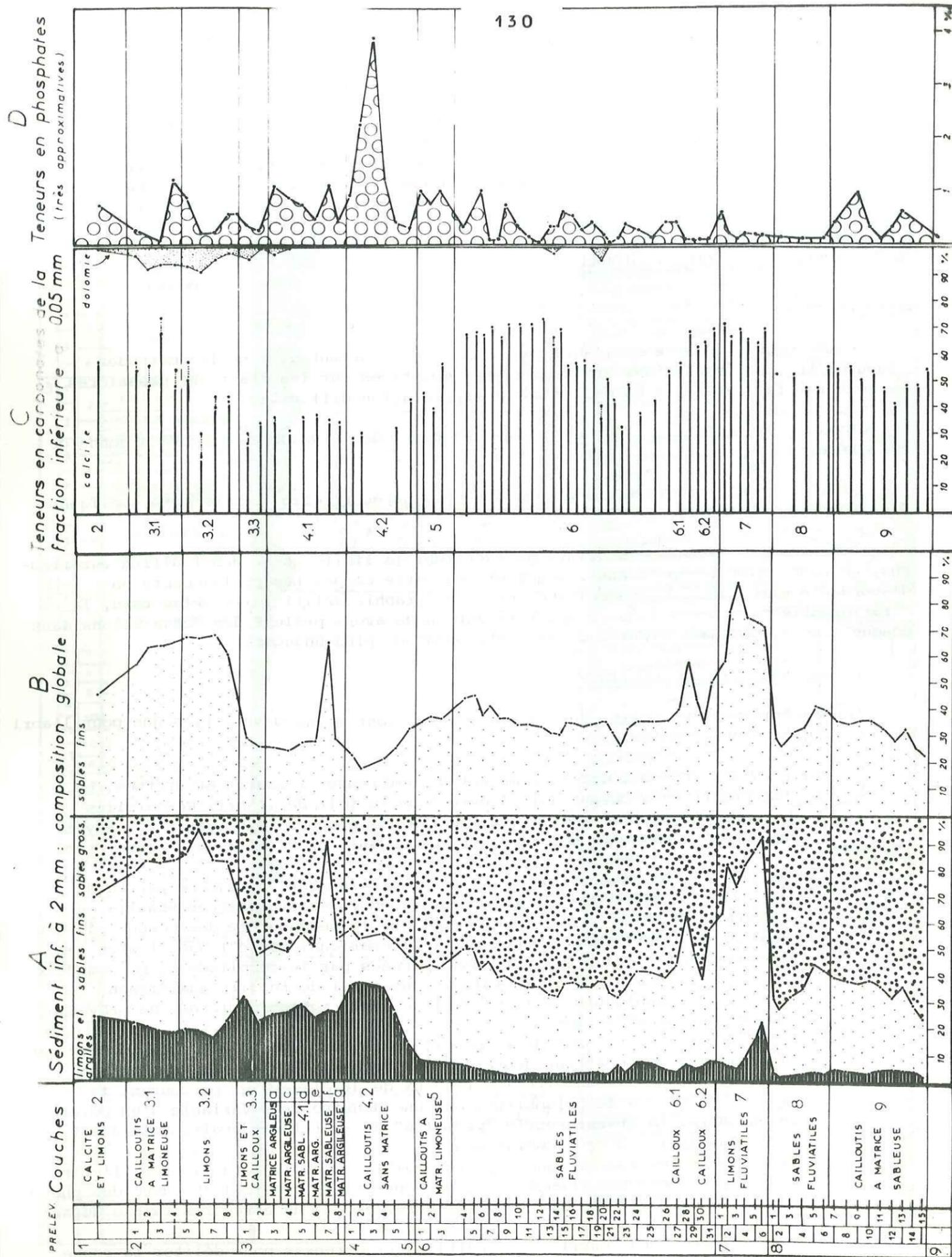


fig 11 Colonne de prélèvements A. A : granulométrie du sédiment inférieur à 2 mm.
B : sables fins. C : teneurs en carbonates de la fraction inférieure à 0,05 mm.
D : dosage semi-quantitatif des phosphates calciques

On peut mal apprécier l'intensité du froid : l'action principale du gel se situe entre 0 et -4°C , mais il est vrai qu'un gel très intense pénètre plus profondément dans la roche, bien que dans ce cas, la fréquence gel-dégel soit moindre. Il faut remarquer qu'à la Colombière, site bien ensoleillé, les oscillations thermiques entre la nuit et le jour devaient être importantes en climat froid. L'action du gel sur le sédiment en place est plus facile à mettre en évidence : la comminution des éboulis a été importante.

c. *sables fluviaux* : les sables déposés par l'Ain sur sa terrasse de 23 m sont fins, "varvés" mais très pauvres en argile. Il n'est pas étonnant qu'ils aient été remobilisés par le vent ultérieurement, vu leur faible cohésion. Ce transport éolien suppose que la végétation était peu développée sur le fond de la vallée : les débordements fréquents de l'Ain dans un lit majeur plus élevé que l'actuel (et donc plus large) expliqueraient cet état.

C. Résultats des analyses :

a. Granulométrie globale (fig. 10) :

La proportion de cailloux est assez faible en couche 9 (30 %) et stable de bas en haut. Elle devient ensuite très faible ou nulle dans les couches 8, 7, 6, pour atteindre rapidement un maximum au sommet de la couche 4.2 (80 %) (le niveau comporte des blocs mais leur proportion n'a pas pu être estimée). Elle décroît ensuite irrégulièrement, atteignant 50 % au sommet de la couche 3.3. Un second maximum se dessine dans le tiers supérieur de la couche 4.1 (70 %).

La proportion de cailloux est faible (20 %) dans le sommet de la coupe (couche 3.2, 3.1, 2).

Les pourcentages de fraction inférieure à 0,05 mm sont très faibles (2 à 8 %) dans la moitié inférieure de la coupe, à l'exception de la couche 7 (sables limoneux à ripple-marks) où ils atteignent 20 %. A partir de la couche 5, cette fraction augmente très progressivement, formant 20 % des sédiments au sommet de la coupe.

b. Analyse de la fraction inférieure à 2 mm :

1 - Granulométrie des sables en fonction des couches (fig. 11)

elle complète bien ces observations :

La composition globale de la fraction inférieure à 2 mm est assez stable dans les couches 9, 8, 6 : 5 à 10 % de limons ; 25 à 40 % de sables fins ; 55 à 70 % de sables grossiers. La couche 7 se caractérise par la prépondérance des sables fins (75 à 90 %), avec 25 % de limons à sa base.

Dans la première moitié de c.4.2, le taux de limons et argiles augmente très sensiblement (de 10 à 38 %), au détriment surtout des sables fins. Son évolution dans les couches 4.1, 3, 2 a été analysée sur une autre série d'échantillons, plus significatifs (fig. 17, A, B, C, D). On observe que le taux de sables fins varie peu en 4.1 tandis que les taux de limons et de sables grossiers fluctuent en "dents de scie" : les niveaux 4.1 g, e, c, a comportent deux fois plus de fraction inférieure à 0,05 mm que les niveaux 4.1 f, d, b. De plus, ce pourcentage augmente de bas en haut (de 25 à 40 %).

Dans les couches 3 et 2 (fig. 17), les limons et argiles ne représentent pas plus de 20 %, avec toutefois une légère augmentation au sommet de 3.3 (30 %). Dans la partie supérieure de la coupe (couche 3.2, 3.1, 2) la prépondérance des sables fins est très nette.

La fraction inférieure à 0,05 mm n'a pas été analysée systématiquement : les teneurs en argiles sont très faibles, à l'exception des niveaux 4.1 a, c, e, g.

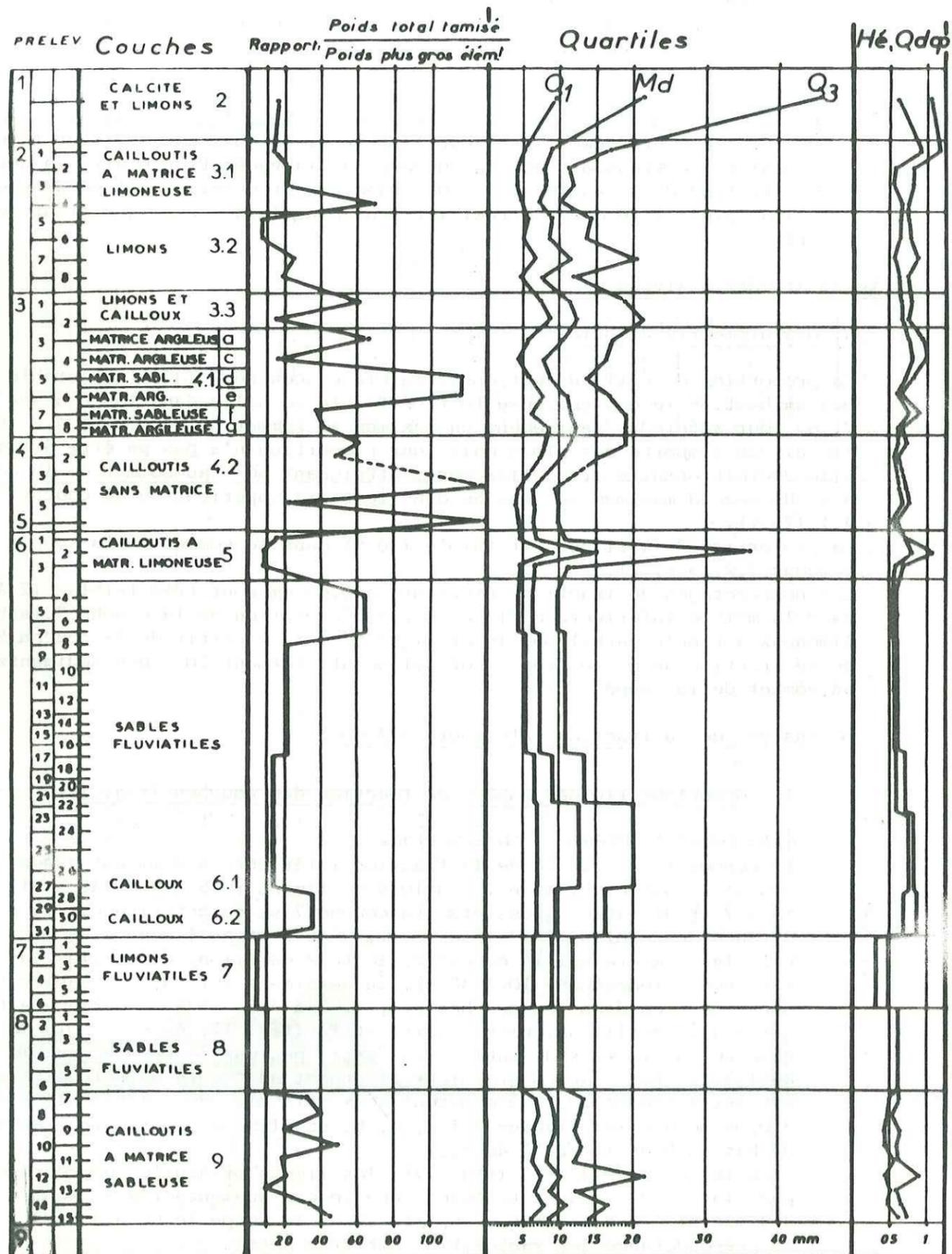


fig 12

Colonne de prélèvements A. A : précision relative des granulométries. B, C, D : indices calculés sur les diagrammes cumulatifs de la fraction supérieure à 2 mm, ramenée à 100 %

2 - Granulométrie des sables fluviaux lit par lit :

Les analyses systématiques de la figure 11 avaient été réalisées sur des tranches successives épaisses de 5 à 10 cm. Chaque prélèvement comportait plusieurs lits de texture différente, et reflétait donc une granulométrie "moyenne". Pour connaître la composition précise de chaque lit, nous avons effectué deux séries de prélèvements très précis dans la couche 6 (fig. 14, A et 17, E, F). On voit ainsi que la composition granulométrique peut beaucoup varier d'un niveau à l'autre, sur un intervalle de quelques mm. Les lits bien visibles dans la coupe sont ceux qui comportent un pourcentage plus élevé de limons ou de sables grossiers. Les variations correspondent probablement aux différentes phases des crues qui ont édifié la terrasse.

3 - Granulométrie des niveaux profonds de la terrasse :

Une trentaine d'échantillons successifs ont été prélevés à la tarière, sur une profondeur de 3,50 m, dans la bande 7 (fig. 5 et 18). Leur granulométrie, malgré certains mélanges lors de la manipulation de l'appareil, donne une idée de la composition profonde de la terrasse. A l'altitude 950, un obstacle (bloc ou retour de la paroi) a arrêté le sondage.

La composition des sables varie beaucoup (fig. 18). Les niveaux les plus profonds sont franchement grossiers (petits galets et sables très grossiers) mais passent rapidement à des sédiments très fins, sablo-limoneux avec une teneur en argile non négligeable.

Entre les altitudes 850 et 750, les sédiments sont plutôt fins (limons et argiles 5 à 10 %, sables fins 45 à 60 %) mais on observe aussi quelques intercalations plus grossières (prélèvements 18, 16, 13). L'échantillon 10 est le plus caractéristique d'une série de sédiments fins prélevés entre 700 et 750 : 22 % de limons, 75 % de sables fins. Il s'agit d'un dépôt comparable à la couche 7 (fig. 11).

Entre 700 et 600, la composition des sables fluviaux est très proche de celle des couches 9, 8, 6 : très faible teneur en limons, sables grossiers dominants.

La succession observée ressemble par certains traits à la coupe du sondage profond de H. Movius (1948) : sédiments très grossiers à la base, alternance de couches plus ou moins fines sur 2 m, sables pauvres en limons au sommet.

4 - Courbes de fréquences cumulées et indices granulométriques (fig. 14, 16, 17) :

4.1 - courbes de fréquences cumulées (fig. 14) :

Les sables fluviaux prélevés lit par lit (fig. 14, A) sont très bien classés à l'exception des échantillons qui contiennent plus de 20 % de limons. Les valeurs de Hé (fig. 17 et 19) se situent autour de 0,3, celles de So autour de 1,3. Les médianes varient beaucoup : entre 0,15 et 0,60 mm, la plupart se situant vers 0,25 mm. Asq est légèrement positif sauf dans le niveau limoneux 101 où sa valeur est forte (et positive) : les sables grossiers sont mieux classés que les fins.

Dans les niveaux inférieurs de la terrasse (fig. 18, B), la dispersion des médianes est encore plus prononcée : entre 0,06 et 0,7 mm : le sondage a traversé des sédiments fins, surtout vers la base (prélèvements 21, 22). Le classement est légèrement moins bon mais il faut attribuer cela au mode de prélèvement moins sélectif. Les échantillons prélevés dans les couches 8 et 6 (fig. 14, C, n° 6-12, 6-24, 6-28, 8-13) présentent des courbes très semblables, aux médianes voisines de 0,2 mm, au classement assez bon. Dans les couches supérieures (à partir de 4.2) les teneurs en éléments très fins (inférieurs à 0,05 mm) sont nettement plus

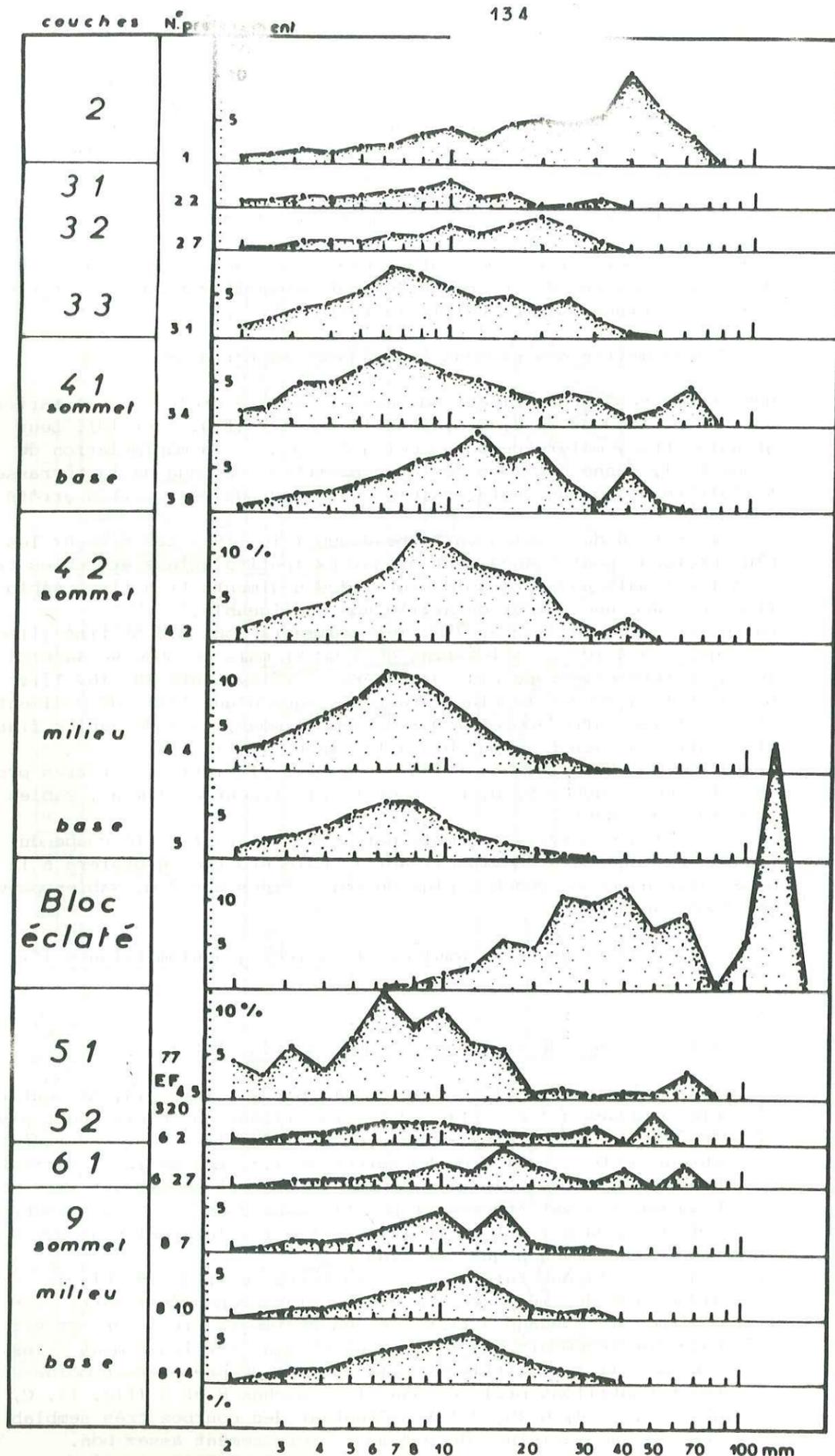


fig 13 Granulométrie de la fraction supérieure à 2 mm, exprimée en histogrammes de fréquences simples. Les pourcentages sont calculés par rapport au poids total du sédiment

importantes. Les courbes expriment un moins bon classement. Dans la couche 4.2, (fig. 14, F) le sédiment inférieur à 2 mm est bimodal : un premier mode est bien exprimé autour de 0,25 mm, un autre s'amorce dans les sables très grossiers : 2 mm au plus. Dans ce dernier cas, il s'agit de fragments de calcaire, produits par la gélifraction du sédiment. Le classement est mauvais : Hé = 0,75 à 1,1 (fig. 17).

Les sédiments argileux de la couche 4.1 (fig. 14, F, niveaux a, c, e, g) sont moyennement à mal classés : Hé = 0,70 à 1,40, So = 2,06 à 3,34 (fig. 17 et 19). Leur courbe cumulative présente un point anguleux à 0,3 mm : il pourrait s'agir d'un effet de concrétionnement.

Les niveaux sableux de la même couche (niveaux b, d, f) sont mieux classés, ce que traduit les indices Hé, So, Asq (fig. 17).

Leurs médianes sont voisines de 0,2 mm.

Les sables de la couche 3.3 s'apparentent plus à 4.1 qu'aux couches 3.1 et 3.2 (fig. 14, E, échantillons 3.1, 3.2, 3.3), bien que leurs médianes soient plus "fines".

Dans les couches 2, 3.1, et 3.2 la fraction fine présente plusieurs particularités :

- une très faible variabilité, bien que l'on ait échantillonné sur 70 cm : les médianes sont très proches, et les courbes presque confondues (fig. 14, D et E, échantillons 1 à 2.8).
- des médianes proches de 0,12 mm, ce qui est plus fin que la plupart des sables fluviaux.
- un meilleur classement que celui des sédiments sous-jacents. L'hétérométrie augmente légèrement vers le sommet (0,40 à 0,68), de même que le sorting index So (1,5 à 1,6). Ce classement est cependant moins bon que celui des sédiments fluviaux.
- une teneur en limons voisine de 20 % (fig. 17)

Les limons de pente présentent des caractéristiques semblables, bien que leur médiane décroisse avec l'altitude : à 10 m au-dessus du témoin ouest, la teneur en limons est plus élevée (38 %), le classement est médiocre (Hé = 1,1), la médiane est de 0,08 mm. D'une manière générale, Asq est fortement positif quand la teneur en limons dépasse 20 % : dans ce cas, en effet, Q1 est plus ou moins déplacé vers les fines.

En résumé, les courbes granulométriques permettent de différencier 3 types de sédiments fins :

- les sables fluviaux : pauvres en limons, bien ou très bien classés, avec des médianes souvent proches de 0,25 mm mais pouvant beaucoup varier.
- les matrices des couches 4.2, 4.1, 3.3 : la teneur en limons est rarement inférieure à 20 %, le classement est bon ou mauvais, les médianes sont proches de 0,2 mm. Certaines courbes sont vaguement bimodales.
- les matrices des couches 2, 3.1, 3.2 : les teneurs en limons sont très proches de 20 %, le tri est assez bon, les médianes sont rassemblées autour de 0,12 mm, et la granulométrie varie très peu sur une même verticale.

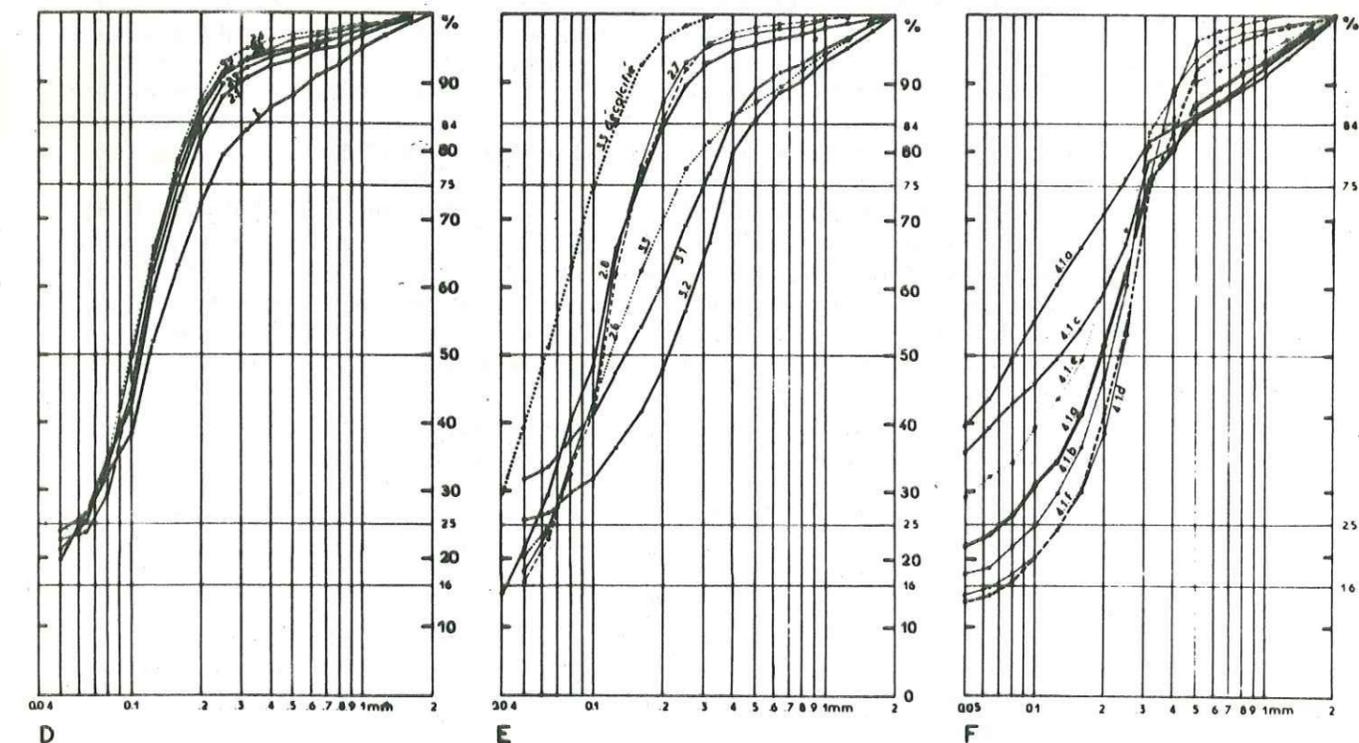
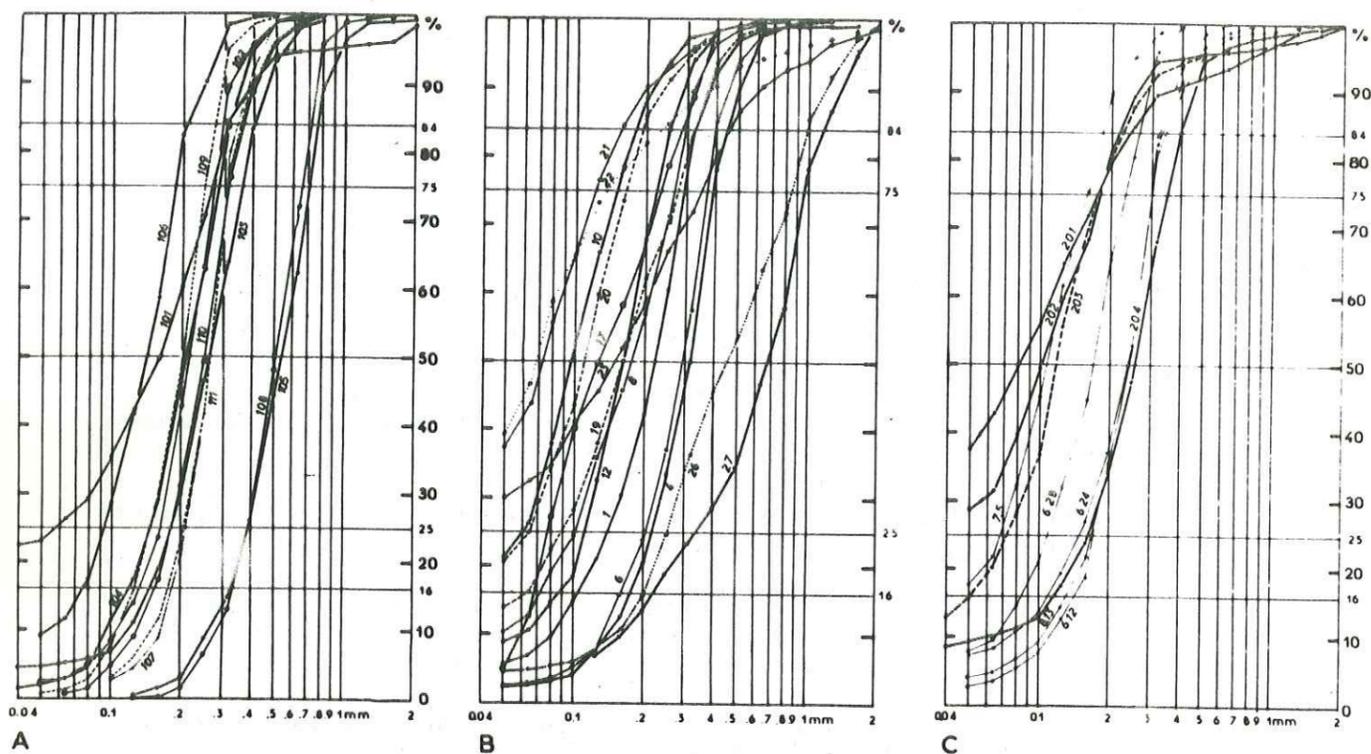


fig 14 Granulométrie des sables : A : sables fluviaux prélevés lit par lit (fig 17)
 B : niveaux profonds de la terrasse. C : 201 à 204 : limons de pente, les autres échantillons proviennent des couches 6, 7 et 8. D : couches 2 (1), 3.1 (2.1 à 2.4 et 3.2 (2.5). E : couches 3.2 (2.6 à 2.8), 3.3 (3.1 à 3.3). F : couche 4.1

4.2 - diagrammes "hétérométries-médianes", "sorting index-médianes", diagramme triangulaire (fig. 16, A, B, C) :

Ces trois diagrammes font plus ou moins bien apparaître les familles de courbes évoquées ci-dessus. On a utilisé un symbole différent par type de sédiment.

- hétérométries-médianes : les sables prélevés "lit par lit" (symbole : un point) occupent la partie inférieure du diagramme, suivis de près par les sables des niveaux inférieurs de la terrasse (symbole : un gros point). Les sédiments des couches 2, 3.1, 3.2 (symbole : un astérisque) sont regroupés sur un petit segment vertical. Les points des autres sédiments sont dispersés dans la partie supérieure. Sur le même diagramme, on a tracé trois ellipses qui enveloppent les données numériques fournies par J. Tricart et A. Cailleux (Initiation à l'étude des sables et des galets, 1959) : loess, dunes, manteaux éoliens. On constate que les sédiments du sommet de la coupe n'appartiennent à aucun de ces ensembles. En fait, si ces sédiments ont été transportés par le vent, ils l'ont été sur une faible distance, et la granulométrie du matériau de base (sables fluviaux) joue encore un rôle.

- sorting index-médianes : ce diagramme fait apparaître la même distribution des points que le précédent, mais les familles sont mieux groupées.

- diagramme triangulaire : trois fractions granulométriques du sédiment inférieur à 2 mm sont représentées : limons et "argiles", sables fins, sables grossiers. Les points sont nettement groupés en 3 familles :

- sédiments fluviaux (points noirs) dans la bande "0 à 10 % de limons".

- sédiments du sommet de la coupe (astérisques), auxquels s'ajoutent deux points de sables fluviaux et deux points des "limons de pente" (une croix) : entre 10 et 30 % de limons, et entre 60 et 80 % de sables fins.

- sédiments du "milieu de la coupe" (triangles et carrés) : couches 4.2, 4.1, 3.3 entre 10 et 40 % de limons, 10 et 40 % de sables fins.

Les sables associés au sommet du remplissage étudié présentent donc plusieurs particularités qui les distinguent des sables fluviaux : grande homogénéité, finesse, teneurs en limons appréciables. Il s'agit très probablement de sables remaniés et déposés par le vent, conclusion que confirme la présence de sédiments semblables à côté de l'abri, mais à une altitude bien supérieure. Leur classement n'est pas aussi bon qu'on pourrait l'attendre pour des dépôts de ce type. On peut proposer deux explications à cela :

- d'une part, le transport a été court : les sables fluviaux étaient à proximité immédiate de l'abri ;

- d'autre part, les sables comprennent deux matériaux ayant des densités différentes : quartz et calcaire. Voir ci-dessous (fig. 19bis) les variations de la granulométrie entre le sédiment naturel et le sédiment décalcifié (couche 3.3).

Enfin, ces sables fins ont subi des actions chimiques (cimentation par la calcite) qui ont modifié dans une certaine mesure la granulométrie primitive.

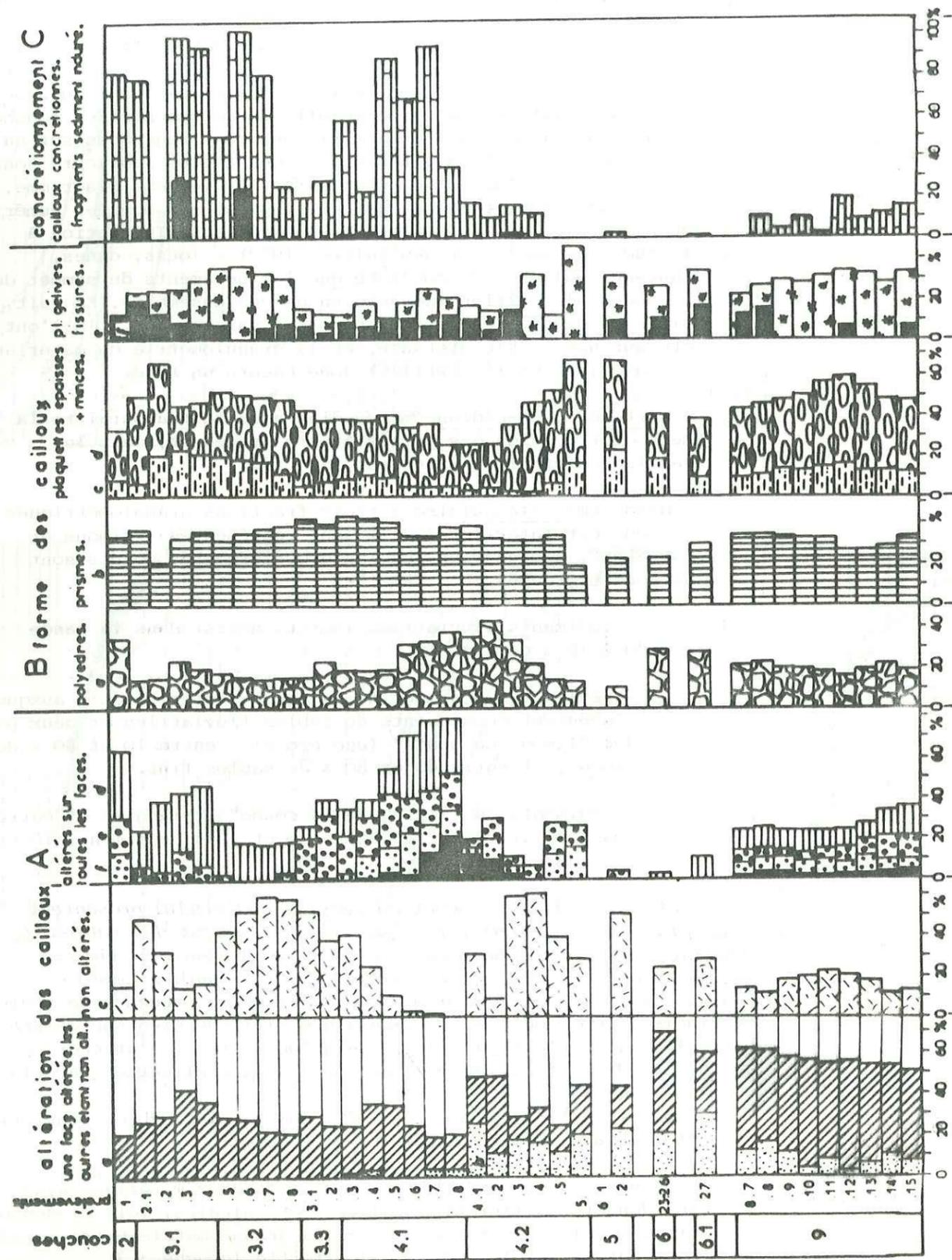


fig 15 Altération, formes, concrétionnement des cailloux. Les pourcentages sont calculés par rapport au nombre total de cailloux

Pour les sédiments des couches 4.2, 4.1 et 3.3, la situation est moins nette : ils comportent une fraction limoneuse appréciable ce qui les rapproche des couches 3.1 et 2. Cependant, leurs médianes plus élevées sont plutôt celles des sables fluviaux. Ces dépôts témoignent-ils des derniers débordements de l'Ain ou d'actions éoliennes violentes ? L'absence de litage et le contexte général de ces couches font pencher en faveur de la seconde hypothèse.

5 - Carbonatimétrie :

Les teneurs en carbonates ont été mesurées au manocalcimètre sur la fraction inférieure à 0,05 mm. On constate que toutes les valeurs sont comprises entre 30 et 75 %. Les variations des teneurs suivent d'assez près celles de la proportion en sables fins (voir fig. 11, B et C), ce qui est normal vu que la fraction argileuse est pratiquement inexistante. A partir du sommet de 4.1, les sédiments comportent une faible part de dolomie (10 % au maximum).

6 - Exoscopie des grains de quartz (fig. 20) :

Plusieurs grains de quartz provenant des couches supérieures (3.1, 3.2) ont été examinés au microscope électronique à balayage, après lavage à l'acide HCl dilué. La figure 20 en représente quatre : il s'agit de grains très arrondis, ayant donc subi au départ, une assez longue évolution fluviale (cependant dans les sables de la Colombière, les grains anguleux sont abondants). Les traces récentes sur les grains permettent de distinguer trois actions :

- action éolienne se traduisant par d'assez gros enlèvements (fig. 20, a, b base du cliché, c) et de nombreux "coups d'ongles" sur certains grains (fig. 20, d).

- ces traces de chocs sont polies par une reprise en milieu fluvial qui a eu pour effet de déposer un peu de silice secondaire dans les parties concaves de certains grains et dans les enlèvements (fig. 20, a, c).

- les traces les plus fraîches témoignent d'un milieu à haute énergie : certains grains sont cassés (c), sur d'autres on observe de gros enlèvements : plan de choc avec traces d'ondes concentriques (fig. 20, b). Ce dernier épisode semble bien éolien. Les parois rocheuses ont peut-être permis des impacts particulièrement violents.

La surface des grains de quartz est donc fortement conditionnée par le milieu fluvial mais des actions éoliennes étaient présentes dans les dernières phases du transport.

7 - Dosage semi-quantitatif des phosphates calciques (fig. 11, D) :

La teneur en phosphates reflète ici l'abondance relative en microfaune : les pelotes de rejection sont assez abondantes dans tout le remplissage et leur présence se traduit par des pics irréguliers sur la courbe des dosages. Les phosphates sont plus abondants dans la partie supérieure du remplissage, malgré des fluctuations importantes. Un pic à très forte teneur correspond à une lentille très riche en ossements de petits mammifères intercalée dans l'éboulis 4.2 : cette couche est riche en faune, surtout à l'aplomb de la falaise.

c - analyse de la fraction supérieure à 2 mm :

1 - Variations de la composition avec les couches (fig. 10, B) :

Une limite (arbitraire) a été matérialisée entre les fractions de

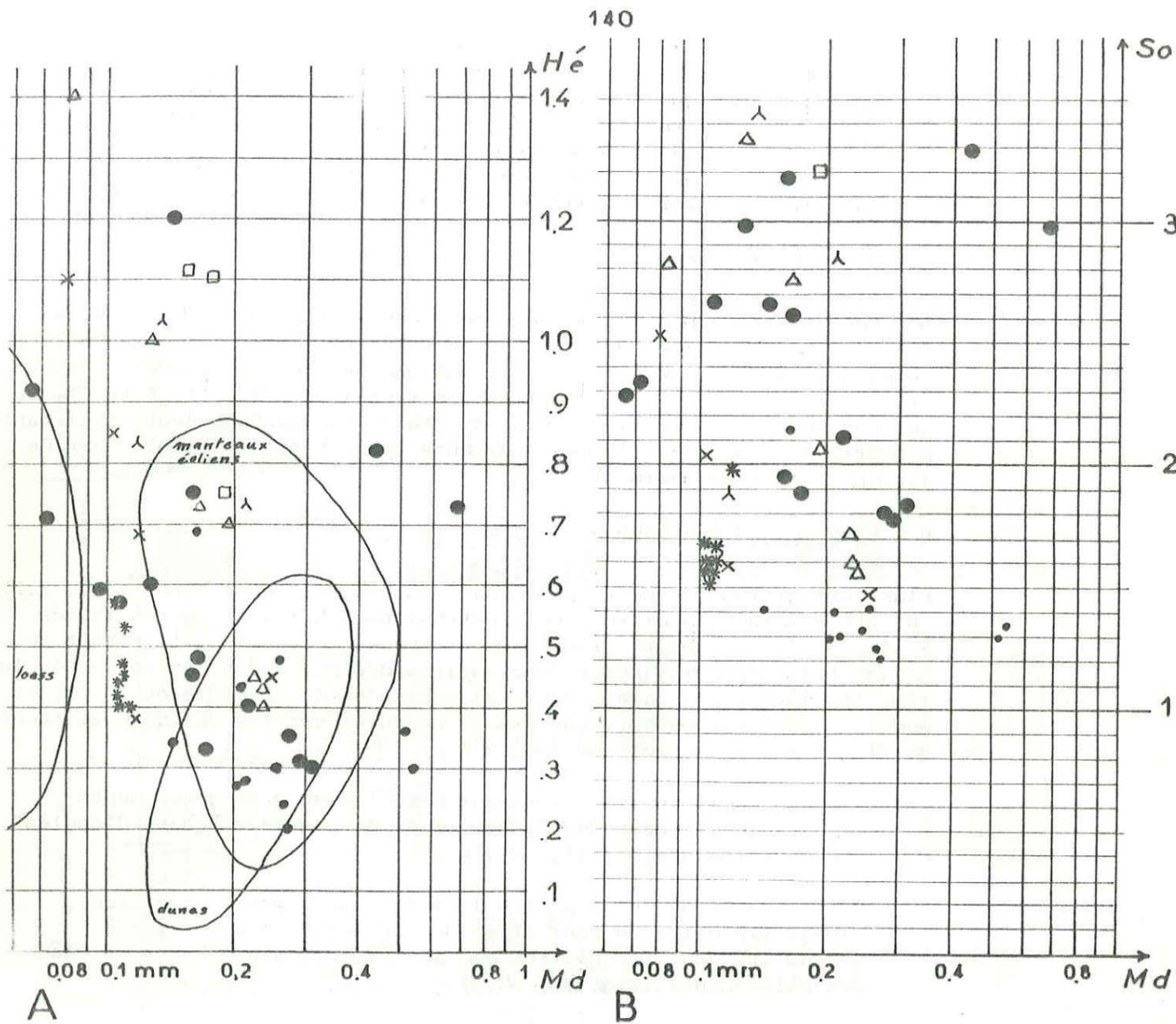
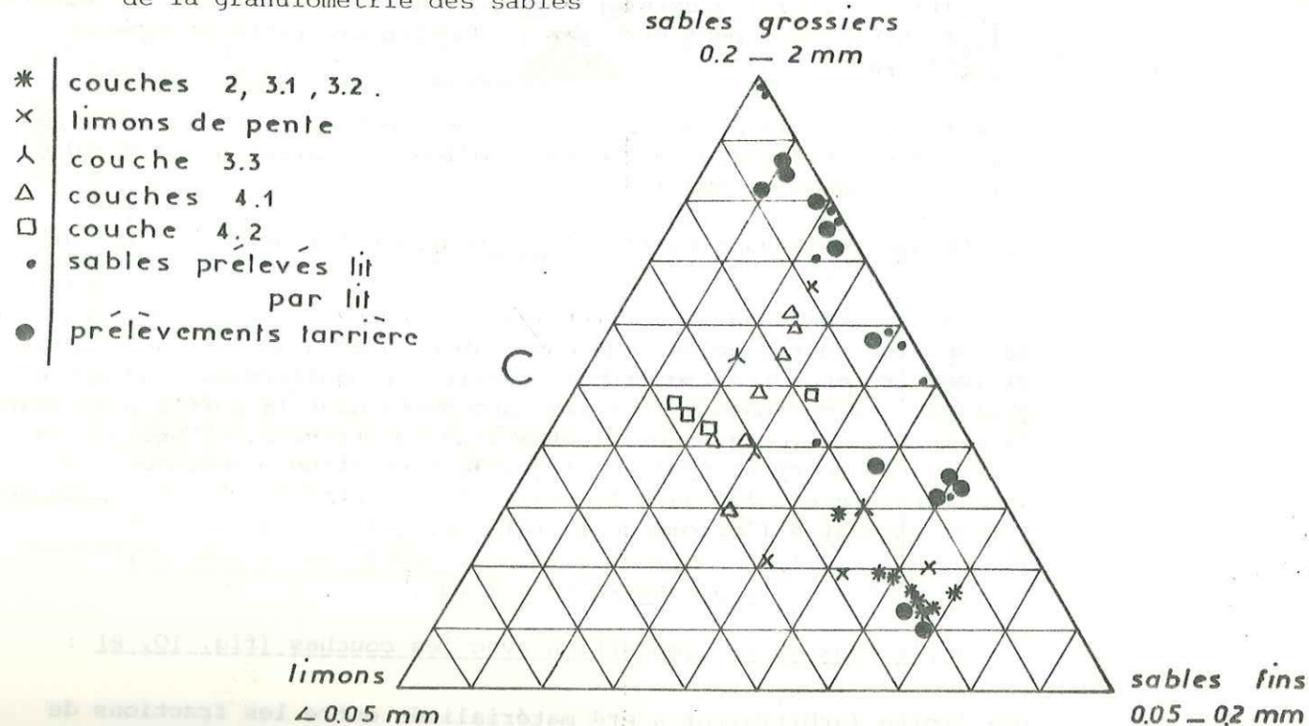


Fig 16 A : diagramme Md, Hé : les enveloppes entourent des valeurs numériques fournies par Tricart et Cailleux (1959). B : diagramme So, Md. C : diagramme triangulaire de la granulométrie des sables



8 et 10 mm. Dans le bas de la coupe, il a fallu regrouper plusieurs échantillons pour obtenir des lits analysables : conséquence de la faible teneur en cailloux. Le tableau montre peu de variations significatives. La fraction comprise entre 8 et 100 mm représente généralement 40 %, ce qui signifie que les granules dominent. On remarque deux zones dans lesquelles le matériel est particulièrement fin ; au sommet de la couche 6 (mais ici les cailloux représentent un très faible pourcentage dans la composition globale) et à la base de la couche 4.2. Par ailleurs, on note que le sommet du remplissage (couches 2 et 3.1 sommet) comporte nettement plus de cailloux grossiers. En tous cas, il n'existe pas de corrélation entre le pourcentage de fraction supérieure à 2 mm (fig. 10,A) et la composition granulométrique de cette fraction.

2 - Fréquences cumulées de la fraction grossière et indices (fig. 12) :

Nous avons tracé les courbes en fréquences cumulées de la fraction calcaire (c'est-à-dire supérieure à 2 mm), ramenée à 100 %. Ces courbes présentent peu d'intérêt en elles-mêmes mais permettent d'établir des indices comparables entre eux : quartiles, hétérométrie, Asq. Les trois quartiles varient comme les courbes de composition globale du sédiment grossier (fig. 10, B) : peu de variations dans la couche 9, un sédiment fin à la base et au sommet des couches fluviatiles 8, 7, 6, des fluctuations de faible importance dans la partie supérieure de la coupe, avec une tendance "fine" à la base de la couche 4.2 où les trois quartiles sont inférieurs à 10 mm. Plus haut, on note que le sédiment est un peu plus grossier à la base de 4.1, en 3.3, et en 2. Le classement varie peu lui-aussi (fig. 12, C). Les valeurs de Hé et Qd_q sont relativement faibles (0,5 - 0,7) dans la couche 9 et au sommet de la couche 6. Dans la moitié supérieure de la coupe, on note que le classement est d'abord assez bon en c.4.2 et dans la base de c.4.1. Au sommet de 4.1, le classement est moins bon puis les valeurs de Hé et Qd_q diminuent à nouveau (couche 3) tout en restant légèrement plus fortes qu'en 4.1. Les fortes valeurs de l'hétérométrie au sommet de c.3.1 et en c.5 correspondent à des échantillons isolés et ne sont probablement pas significatives.

L'asymétrie interquartile (fig. 12, D) est le plus souvent négative, montrant que les fractions fines (granules) sont mieux classées que les fractions grossières (cailloux). Cependant pour certains échantillons, elle est positive : les plus représentatifs sont la base de 4.2 et la couche 3.1. On constate d'ailleurs une augmentation régulière de Asq entre le sommet de 4.1 et le milieu de 3.1.

On a indiqué la précision des granulométries précédentes en montrant l'évolution du rapport "poids total sur poids du plus gros élément" (fig. 12, A). Ce rapport varie beaucoup : pour bon nombre d'échantillons, il est supérieur ou égal à 20 (parfois il dépasse 100). Pour un certain nombre d'échantillons, il est médiocre ou même franchement mauvais : 5 à 15. Mais il ne semble pas que ces variations se répercutent sur les résultats des analyses qui présentent une évolution assez cohérente (comparer par exemple les colonnes A et B de la figure 12). Une exception cependant : l'échantillon 6.2 dans la couche 5 présente un résultat aberrant, à cause de la trop faible quantité prélevée.

En résumé, la granulométrie des fractions grossières et les indices exprimés en fonction des couches, montrent peu de variations : on constate un affinement des matériaux à la base de 4.2 et au sommet de c.6. Les fragments calcaires sont plus grossiers dans la couche 2. Dans toutes les autres couches, ils sont assez fins.

3 - Granulométrie de la fraction grossière exprimée en fréquences simples (fig. 13) :

Les fréquences illustrées par la figure 13 sont calculées par rapport au poids total du prélèvement, y compris les fractions sableuses. Les courbes rendent donc compte de la distribution des fréquences et de la

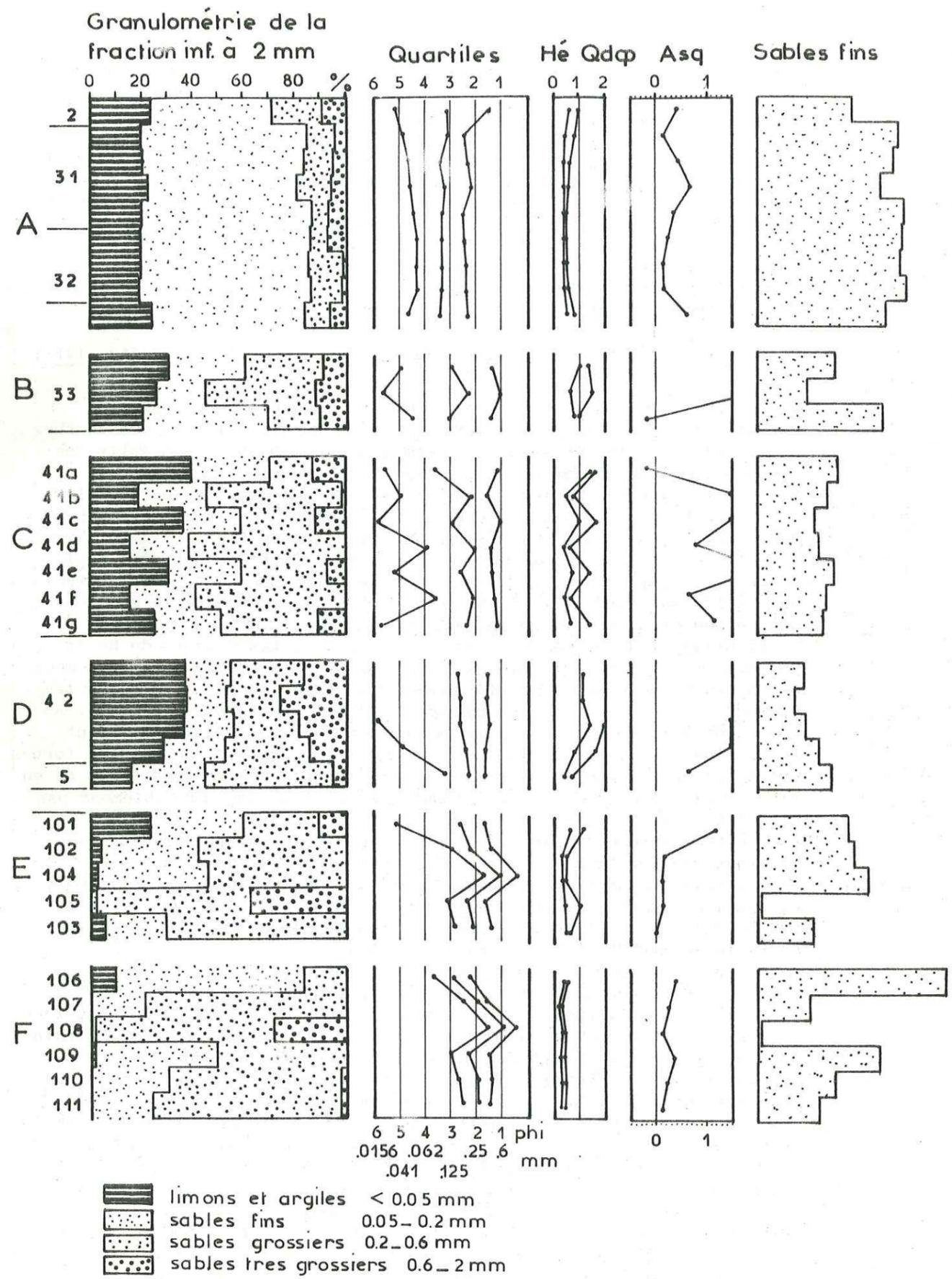


fig 17 composition de la fraction inférieure à 2 mm : prélèvements effectués dans les couches : A, B, C, D : partie supérieure du témoin ouest, E, F : sables fluviaux prélevés lit par lit

proportion de fraction grossière dans le remplissage. On n'a représenté que quelques échantillons représentatifs. La couche 4.2 a fourni un élément d'analyse intéressant : un bloc éclaté sur place dans le sédiment, dont on a pu recueillir tous les fragments. Le bloc s'est brisé selon les diaclases les mieux exprimées dans la roche (ces mêmes réseaux de diaclases sont visibles sur la paroi). On peut donc se rendre compte de la granulométrie "primaire" produite par la fracturation tectonique de la roche dans le secteur des prélèvements : un pic à 125 mm représente la partie du bloc non démantelée. Les autres fragments sont regroupés entre 25 et 40 mm. On constate immédiatement que tous les autres sédiments sont nettement plus fins : il semble donc que le fractionnement "secondaire" des cailloux (effectué sur le sédiment en place) ait été important, aboutissant à un sédiment assez fin, comme celui de la couche 4.2 : courbe bien symétrique avec un mode à 6,3 mm. En appliquant cette hypothèse, on aboutit à l'interprétation suivante :

- dans la couche 9, la comminution n'est pas extrême : les modes se situent entre 10 et 16 mm. Si on ajoute à cela que la production de cailloux a été modérée (40 %) on peut penser que le gel était "moyen", et les alternances gel-dégel relativement peu nombreuses. Mais il est possible que le résultat ait été modifié par l'enfouissement "rapide" des cailloux sous les sables fluviaux.
- le niveau 6.1 ne présente pas de différence avec la couche 9.
- la couche 5.2 fournit un sédiment plus fin : mode entre 6,3 et 10 mm. Mais la proportion de cailloux est encore faible.
- cette tendance s'accroît fortement dans la couche 5.1 : modes à 6,3 mm et 10 mm. La courbe est irrégulière mais la proportion de cailloux et granules forte : 80 % (prélèvement hors de la colonne A).
- le froid semble avoir été vif et durable durant le dépôt de la couche 4.2 : les courbes très régulières témoignent d'un sédiment assez "évolué". Le fractionnement est maximal (modes à 6,3 mm), de même que la destruction de la paroi (70 à 80 % de cailloux et granules).
- au sommet de la couche 4.2 se dessine un léger réchauffement. La courbe montre toujours un mode dans les fins (8 mm) mais un second mode se profile autour de 16 mm. Il faut rappeler qu'une chute de blocs importante s'est produite à cette époque. Correspond-elle à un réchauffement "en profondeur" de la roche ?
- le mode dans les fractions plus grossières se confirme à la base de la couche 4.1. Au sommet de cette dernière et dans la couche 3.3, on retrouve cependant un sédiment très comminué dont le mode se situe à 6,3 mm. Les fractions grossières restent néanmoins représentées : la fracturation n'est pas extrême.
- le sédiment 3.2 montre un mode à 20 mm mais la production de fragments calcaires a été faible : climat moins froid ou simplement plus sec ?
- dans la couche 3.1, le mode se situe à 10 mm ce qui semble être la dernière manifestation de froid prolongé observable dans la coupe : mais les cailloux et granules ne représentent qu'une très faible proportion, si bien qu'il faut rester prudent dans l'interprétation.
- le sédiment de la couche 2 est franchement plus grossier : la destruction thermoclastique de la paroi est redevenue plus active, mais le froid n'a pas duré assez longtemps pour en affiner les produits.

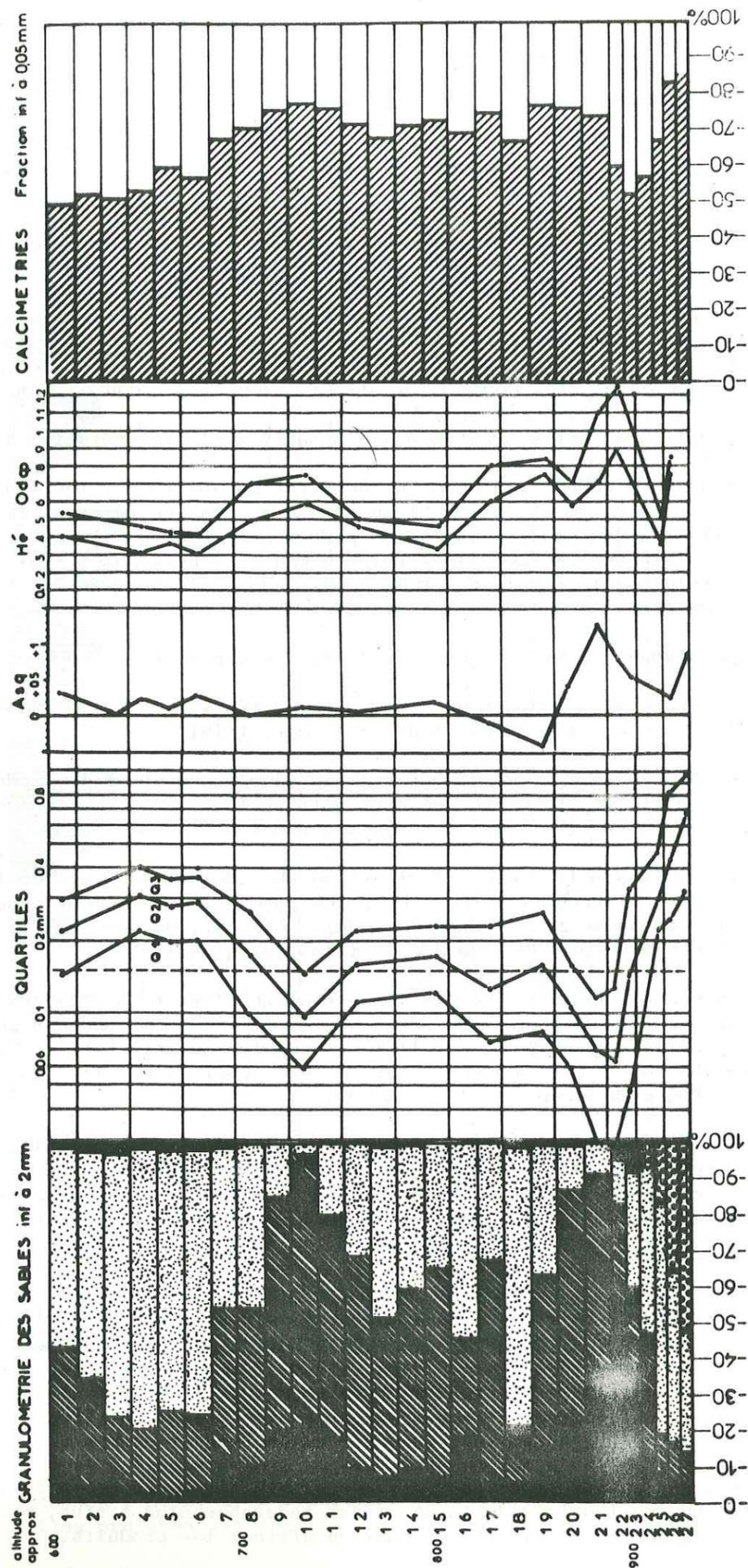


fig 18 Niveaux profonds de la terrasse : analyse de la fraction inférieure à 2 mm

4 - Analyse des formes, des états de surface, du concrétionnement des cailloux :

Vu la relative finesse du sédiment, nous avons effectué ces comptages sur toute la fraction comprise entre 10 et 100 mm pour disposer chaque fois d'un échantillonnage suffisant (au moins 100 cailloux). Ceci introduit évidemment un facteur d'incertitude important : on ne compare pas des lots de même taille, vu que le mode varie d'une couche à l'autre.

FORMES (fig. 15, B) : les polyèdres marquent un pic (40 %) sur le sommet de 4.2 et la base de 4.1 : ils correspondent donc préférentiellement à la fraction 12-20 mm qui est bien représentée dans ces couches et beaucoup moins dans toutes les autres, sauf c.2 (voir fig. 13). Il est donc très probable que les pourcentages de "formes" soient plus influencés par la granulométrie que par les variations climatiques. Les plaquettes minces et gélives sont présentes dans toutes les couches mais nettement moins abondantes dans les couches 4.2 sommet, 4.1, 3.3, c'est-à-dire celles où la proportion de cailloux et granules dépasse 50 %. Les proportions de cailloux fissurés ne présentent pas de fluctuations significatives : la fissuration de la roche est indépendante du gel. Le calcaire de la Colombière ne se craquèle pas comme celui de l'abri Gay.

ETATS DE SURFACE (fig. 15, A) : les cailloux ayant une facette altérée et une face fraîche prédominent dans la partie inférieure du remplissage (couches 9, 6). Pendant le dépôt de c.9, la paroi était donc "usée" ou continuait à être usée, ce qui constitue un indice d'humidité. L'usure du sédiment en place était faible, argument en faveur d'un enfouissement rapide.

Dans les couches 5 et 4.2 (base), le pourcentage de cailloux altérés sur une face diminue progressivement. Les facettes corrodées (fig. 15, A, b) sont assez abondantes dans ces couches, reflétant l'état de la paroi. Il est étonnant de constater que plus haut les facettes corrodées deviennent moins abondantes et disparaissent, comme si la corrosion de la paroi correspondait à des conditions climatiques précises. Ce changement pourrait provenir également d'une accélération de la gélivation de la paroi : il est probable que la corrosion n'apparaît que quand la roche a été exposée assez longtemps aux intempéries. Dans la couche 4.1 les cailloux altérés sur toutes les faces deviennent abondants (55 %). Leur proportion croît jusqu'au milieu de la couche et diminue rapidement vers le haut. Les sédiments ont donc connu une phase nettement plus humide.

Il faut noter que dans la base de 4.1 les sédiments ont été gélivés sur place postérieurement à l'altération chimique : les cailloux de la catégorie g atteignent 20 % (cailloux présentant une face très altérée, une face altérée et une face fraîche).

La couche 3.2 est marquée par la grande abondance de cailloux non altérés (60 %) qui dénote un assèchement, confirmé par la faible proportion de cailloux usés sur une face : la paroi restait anguleuse. L'altération à l'intérieur du sédiment est très faible.

L'humidité a été plus forte pendant le dépôt de la couche 3.1. On constate une nette augmentation des formes usées et une diminution corrélative des cailloux non altérés. L'usure est à nouveau très forte pour les cailloux de la couche 2.

LE CONCRETIONNEMENT (fig. 15, C) : est abondant dès la couche 4.1. Mais il s'agit d'une induration sur place du sédiment par des eaux de percolation ce qui explique la distribution hétérogène des pics : l'infiltration a été très freinée par les petits niveaux argileux de la couche 4.1. Au contact du premier niveau imperméable, le dépôt de calcite a été abondant, provoquant la formation d'un "pseudo-plancher stalagmitique". Ce concrétionnement est évidemment postérieur au remplissage étudié, et correspond à une période "chaude", Alleröd ou Postglaciaire.

sables	m m			échelle ϕ						
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	16	50	84	Hé	Qdqp	So	Asq
101	0,058	0,162	0,266	5,06	2,65	1,68	0,69	1,10	2,14	1,2
102	0,162	0,217	0,277	2,91	2,20	1,33	0,28	0,38	1,30	0,2
103	0,182	0,260	0,361	2,78	1,94	1,29	0,48	0,50	1,41	0
104	0,146	0,210	0,285	3,06	2,25	1,64	0,43	0,475	1,40	0,15
105	0,390	0,540	0,710	1,61	0,89	0,38	0,30	0,435	1,35	0,10
106	0,093	0,142	0,185	3,72	2,82	2,25	0,34	0,50	1,41	0,3
107	0,210	0,270	0,310	2,44	1,89	1,54	0,20	0,23	1,21	0,25
108	0,390	0,520	0,655	1,57	0,94	0,47	0,36	0,38	1,30	0,15
109	0,148	0,205	0,245	2,98	2,29	1,42	0,27	0,38	1,29	0,30
110	0,181	0,254	0,315	2,69	1,98	1,43	0,30	0,40	1,32	0,2
111	0,205	0,265	0,315	2,51	1,92	1,46	0,24	0,32	1,24	0,15
sondage tarière										
1	0,140	0,220	0,295	3,27	2,18	1,62	0,40	0,53	2,11	0,3
4	0,217	0,310	0,400	2,50	1,69	1,15	0,30	0,45	1,84	0,2
5	0,200	0,276	0,360	2,60	1,86	1,21	0,35	0,415	1,80	0,1
6	0,205	0,29	0,365	2,65	1,79	1,34	0,31	0,41	1,78	0,25
8	0,100	0,164	0,262	3,80	2,61	1,35	0,48	0,69	2,62	0
10	0,060	0,097	0,150	4,57	3,37	2,47	0,59	0,65	2,50	0,10
12	0,112	0,160	0,220	3,51	2,64	2,00	0,45	0,49	1,96	0,05
15	0,122	0,173	0,230	3,32	2,53	1,92	0,33	0,46	1,89	0,15
17	0,077	0,127	0,230	3,89	2,98	1,80	0,60	0,79	2,99	-0,25
19	0,085	0,160	0,270	4,18	2,64	1,67	0,75	0,83	3,18	-0,95
20	0,060	0,108	0,160	4,84	3,21	2,43	0,57	0,70	2,67	0,4
21	0,025	0,072	0,118	6,00	3,85	2,85	0,71	1,10	2,33	1,25
22	0,025	0,067	0,130		3,95	2,30	0,92	1,23	2,28	0,75
23	0,098	0,144	0,340		2,85	1,20	1,20	1,56	2,66	0,55
26	0,255	0,44	0,84	2,32	1,18	0,04	0,82	0,90	3,29	0,25
27	0,322	0,68	0,96	2,18	0,56	-0,21	0,73	0,75	2,98	0,85
couches 2 et 3										
1	0,055	0,120	0,217	5,16	3,06	1,55	0,68	1,00	1,99	0,4
2.1	0,066	0,110	0,170	4,80	3,18	2,40	0,53	0,83	1,60	0,15
2	0,063	0,109	0,154	4,57	3,27	2,32	0,47	0,65	1,56	0,45
3	0,058	0,110	0,160	4,57	3,18	2,18	0,45	0,65	1,66	0,7
4	0,065	0,106	0,150	4,34	3,34	2,47	0,40	0,59	1,52	0,35
5	0,067	0,107	0,150	4,27	3,31	2,43	0,42	0,60	1,50	0,25
6	0,066	0,107	0,158	4,32	3,28	2,34	0,40	0,60	1,55	0,2
7	0,066	0,107	0,158	4,24	3,28	2,43	0,44	0,63	1,52	0,2
8	0,052	0,103	0,152	4,57	3,40	2,32	0,57	0,80	1,68	0,6
3.1		0,137	0,30	4,93	2,87	1,36	1,03	1,35	3,45	
2	0,045	0,211	0,365	5,57	2,24	1,06	0,73	1,55	2,85	2,15
3	0,065	0,117	0,230	4,38	3,10	1,43	0,83	0,93	1,88	-0,15
couche 4.1										
a	0,03	0,082	0,238	5,64	3,61	1,23	1,40	1,50	2,82	-0,20
b	0,100	0,225	0,292	4,97	2,15	1,59	0,45	0,71	1,71	1,75
c	0,026	0,128	0,290	5,80	2,97	1,09	1,00	1,72	3,34	1,75
d	0,130	0,238	0,315	3,97	2,07	1,46	0,40	0,60	1,56	0,75
e	0,037	0,165	0,281	5,21	2,60	1,38	0,73	1,45	2,76	2,10
f	0,127	0,234	0,320	3,76	2,10	1,28	0,43	0,67	1,59	0,65
g	0,073	0,193	0,310	5,72	2,37	1,15	0,70	1,35	2,06	1,15

	Q ₁	Q ₂	Q ₃	16	50	84	Hé	Qdqp	So	Asq
201	0,027	0,080	0,174		3,65	2,10	1,10	1,40	2,53	0,65
202	0,042	0,102	0,175		3,30	2,25	0,85	1,05	2,04	0,8
203	0,073	0,117	0,180	4,32	3,10	2,20	0,38	0,65	1,57	0,1
204	0,163	0,255	0,350	3,12	3,12	1,55	0,45	0,55	1,46	-0,25
couche 4.2										
4.1		0,155	0,350		2,72	1,60	1,10	2,65	6,60	
4.2		0,168	0,67		2,60	0,60	1,05	3,30	9,10	
4.4	0,018	0,160	0,380	6,97	2,62	0,29	1,27	2,20	4,95	2,8
4.5	0,032	0,190	0,300		2,40	1,62	0,75	1,65	3,20	2,8
5	0,115	0,214	0,300	4,00	2,23	1,75	0,40	0,67	1,61	0,59

fig 19 Indices granulométriques de la fraction inférieure à 2 mm

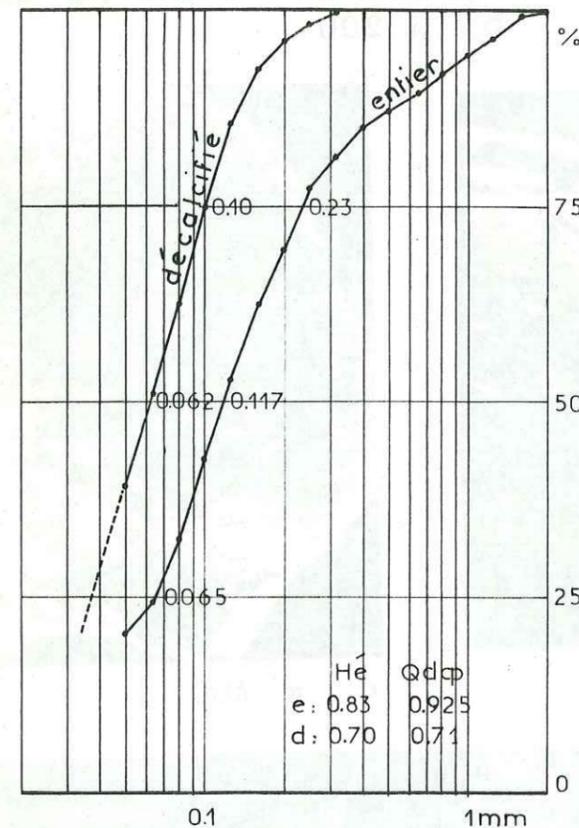
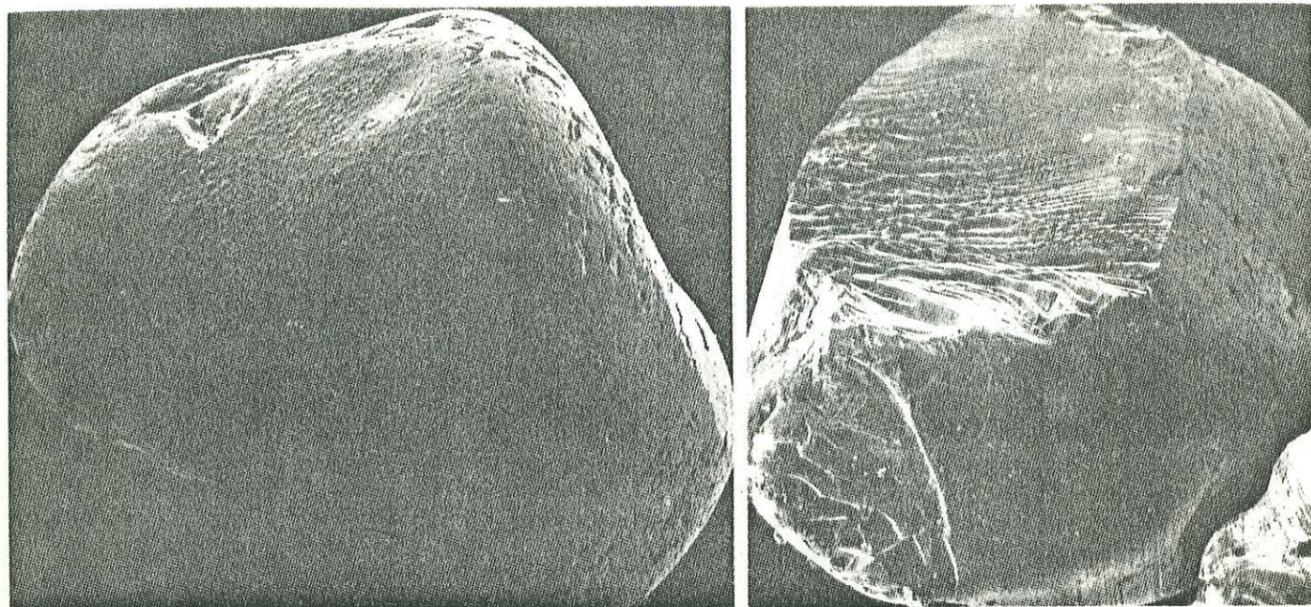


fig 19 bis sable de la couche 3.3
courbe cumulative avant
et après décalcification.

D. Histoire du remplissage et variations climatiques :

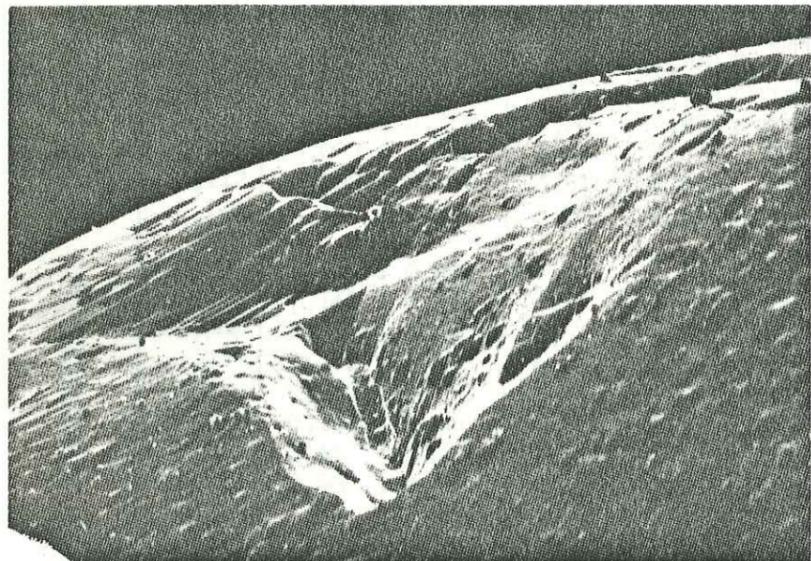
Les couches profondes de la terrasse rencontrées par le sondage profond de Movius et par notre sondage à la tarière témoignent d'une époque où l'Ain coulait dans l'abri de la Colombière, ou du moins très près : dépôts de sables grossiers et de galets dont le transport exige une certaine compétence du courant.

Les sables sus-jacents ont été déposés dans un milieu plus calme, vu l'absence presque complète de sédiments grossiers. Néanmoins, la rivière restait proche de l'abri, car la stratigraphie montre des figures franchement fluviales : chenaux de grandes dimensions, litages obliques ou entrecroisés. Les niveaux limoneux pourraient correspondre à des débordements du cours d'eau. Il s'agirait d'épisodes où la terrasse de la Colombière était largement immergée : l'eau se retirait lentement, ce qui permettait la décantation des particules les plus fines dont la surface était ondulée de ripple-marks.

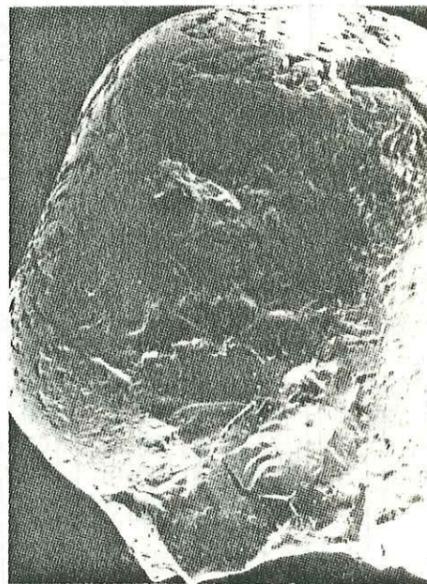


a. x 200

b. x 200



c. x 1000



d. x 200



e. x 200

fig 20 Grains de quartz de la couche 3.2. Observation au microscope électronique à balayage

Les niveaux supérieurs de la terrasse témoignent encore de débordements épisodiques, mais à caractère plus bref : les eaux se retiraient de l'abri dès le début de la décrue ce qui explique l'absence de limons.

Durant cette période de sédimentation fluviatile, plusieurs épisodes froids sont "enregistrés" : ils correspondent aux niveaux à cailloutis observés par Movius dans son sondage profond. La couche 9 correspond à l'un des plus récents. La saturation de la roche en eau devait être facilitée par la proximité de la rivière qui "baignait" les pieds de l'abri. On peut d'ailleurs s'étonner que la production d'éboulis dans cette période froide par définition (le glacier du Rhône se trouvant à quelques kilomètres) ait été aussi modeste. Les oscillations thermiques étaient-elles trop peu fréquentes ?

Dans le témoin ouest, la fin de la période fluviatile et le début de la sédimentation d'éboulis sont séparés par un ravinement : la terrasse avait donc eu le temps d'être partiellement érodée.

La destruction thermoclastique de la paroi commence progressivement, les premiers éboulis (couche 5.2) se mélangent plus ou moins avec les sables fluviatiles. Par la suite, elle s'intensifie, aboutissant au dépôt de 5.1 puis de 4.2 qui est un éboulis sans matrice. Cet épisode culmine avec une chute de blocs qui semble s'être produite dans tout l'abri à la même époque. Faut-il voir dans cet événement un phénomène climatique ou plutôt, comme à Pierre-Châtel, une réaction de la roche au déblaiement de la vallée qui devait être assez avancée à cette date ? De toute manière, les couches 5.1 et 4.2 se sont mises en place sous un climat froid : la comminution est importante ce qui suppose de nombreuses alternances gel-dégel et aussi une humidité suffisamment abondante pour imprégner cet éboulis pauvre en matrice (neige ?).

La première moitié de la couche 4.1 témoigne de conditions nettement moins rigoureuses : la fragmentation des éboulis est moindre et probablement aussi plus lente puisque l'humidité, toujours abondante, a le temps "d'user" la surface des cailloux. Cependant, le gel est toujours présent. Les niveaux "argileux" pourraient correspondre à une augmentation du couvert végétal (formation de sols). Les minces niveaux de sable grossier correspondraient à des épisodes éoliens violents.

Avec le sommet de la couche 4.1, les conditions redeviennent plus rigoureuses (comminution des éboulis) et passent progressivement à un régime assez froid et sec : couches 3.3 et 3.2 dans lesquelles les proportions de cailloux "non usés" sont importantes. Le sable très fin de ces couches est vraisemblablement d'origine éolienne : il s'agit d'un remaniement des sables de l'Ain, que la très faible teneur en argile rend peu cohésifs. L'extension de ces sables "soufflés" n'est pas encore déterminée, mais il est probable qu'ils remontent de quelques dizaines de mètres dans le versant. Leur abondance à cette extrémité de l'abri tient probablement à la topographie du lieu.

Les sables éoliens sont également présents dans le sommet du témoin ouest : couches 3.1 et 2. Les sédiments fournissent quelques indices de plus grande humidité : augmentation de la proportion de cailloux usés. La couche 2 témoigne d'un climat moins froid, à en juger d'après la grossièreté de ses éboulis.

Nous ne connaissons évidemment pas le sommet du remplissage de la Colombière : d'après les différents auteurs, il devait représenter une faible épaisseur et témoignait d'une sédimentation très ralentie.

IV - CONCLUSION :

L'analyse sédimentologique de la Colombière permet de situer le remplissage dans un contexte froid, humide à la base et plutôt sec au sommet. La présence de sables éoliens dans les couches supérieures est un élément nouveau qui fournirait une explication commode au problème des industries "périgordiennes" : ces dernières reposeraient sur la terrasse et seraient recouvertes par des sables soufflés. Cependant, il faut être prudent car le témoin ouest ne constitue que l'extrémité d'un gisement dont la majeure partie est actuellement détruite. Toutefois, si la couche D1 de Movius est bien représentée par c.4.1, elle n'appartient probablement pas à la terrasse de l'Ain, mais se situe au-dessus : l'un des principaux arguments de Movius (et aussi de Mayet et Pissot) était le caractère fluvial de la couche C (représentée ici par la couche 3). On a vu que, dans le témoin ouest, cette couche est plutôt d'origine éolienne.

Un autre argument en faveur de "l'appartenance" à la terrasse était les silex trouvés dans les niveaux plus profonds D2, D3, E. Mais leur nombre est extrêmement faible (Movius en cite une dizaine en tout), et on n'a donc aucune certitude quant à leur équivalence avec l'industrie de la couche D1. En outre, la bioturbation des couches est assez importante : terriers, zones "floues" de la couche 8. Une introduction "accidentelle" de ces silex dans les niveaux sableux n'est donc pas à exclure.

La position chronologique de la Colombière se décrit donc ainsi : si on donne foi à la récente datation au $14C$ 13 390 BP \pm 300 (Ly 433) qui convient assez bien à la typologie de l'industrie (équivalent d'un Magdalénien III), la couche 4.1 se situerait à la limite entre Dryas I et Bölling, l'essentiel des éboulis appartiendrait donc au Dryas I.

Les sables fins de la couche 3 se seraient alors déposés durant le Bölling. Les études de pollens et de microfaune actuellement en cours permettront sans doute de préciser ce cadre chronologique.

STRATIGRAPHIE		MOVIUS EVENEMENTS MAJEURS	HUMIDITE	FROID	^{14}C	PERIODES CLIMATIQUES
FOUILLES 1975-78						
2	C	SABLE EOLIEN				
3.1						
3.2						
3.3						
4.1 a b c d e f g	D1	ARGILE. SABLE GROSSIER EOLIEN ?			13 390 BP \pm 300 LY. 433. sur os mam- moth.	BOLLING
4.2	D2	CHUTE DE BLOCS.				
5.1						
5.2						
6	E2	RAVINEMENT. DEBORDEMENTS PERIODIQUES.				DRYAS I
7		CRUES IMPOR- TANTES.				
8-9	D3	CRUES.				
10	F	CRUES PLUS OU MOINS IMPORTANTES.				
NIVEAUX PROFONDS		LA RIVIERE COULE DANS L'ABRI.				

fig 21 Variations climatiques déduites de la sédimentologie

A - LES VARIATIONS CLIMATIQUES DURANT LES QUINZE DERNIERS MILLENAIRES EN JURA
MERIDIONAL. COMPARAISONS AVEC LE GISEMENT DE SAINT-THIBAUD-DE-COUZ (SAVOIE) :

Les trois remplissages que nous avons étudiés se succèdent dans le temps : on a donc peu de recoupements entre les trois courbes climatiques. Par chance, un gisement situé en Savoie a livré une séquence climatique qui recouvre la même période : il s'agit de l'abri de Saint-Thibaud-de-Couz, fouillé entre 1969 et 1972 par P. Bintz, A. Bocquet, R. Desbrosse et P. Lequatre. La comparaison avec ce site relativement proche (voir Introduction, fig 1) est évidemment très intéressante.

Le Dryas I se manifeste à la Colombière par un froid intense et croissant, accompagné d'une forte humidité. A Saint-Thibaud, on observe également une phase froide, mais sèche, durant laquelle se dépose un éboulis très grossier sans matrice. Mais il est possible que les deux couches ne soient pas strictement contemporaines : celle de Saint-Thibaud pourrait être un peu plus ancienne, tandis que les sédiments de la Colombière appartiendraient à l'extrême fin du Dryas I.

Le début du Bölling est marqué par un net réchauffement et une humidité assez forte dans les deux gisements : le concrétionnement et les indices de paléosol en témoignent. A la Colombière, on observe ensuite un assèchement assez net, et deux pulsations froides d'intensité décroissante. A Saint-Thibaud, le froid semble plus continu, et toujours assez intense. L'humidité est forte à la base, très forte au sommet : entre les deux, un épisode plus sec pourrait correspondre à la phase sèche de la Colombière.

Le Dryas II n'est pas représenté à Saint-Thibaud. A la grotte des Romains, la coulée à blocs inférieure est la conséquence d'un climat froid très humide. Cet épisode est suivi d'une pulsation tempérée qui provoque la croissance de concrétions. Suit un nouvel épisode froid et sec qui délite abondamment les stalagmites de cette grotte et qui se situerait dans la base de l'Alleröd. Il faut cependant signaler que les premières datations au 14C (charbons de bois et faune) situent la base de cette séquence dans le Bölling. Seule la dernière datation, effectuée sur les coquilles de mollusques correspond au Dryas II. L'analyse palynologique confirme cette datation.

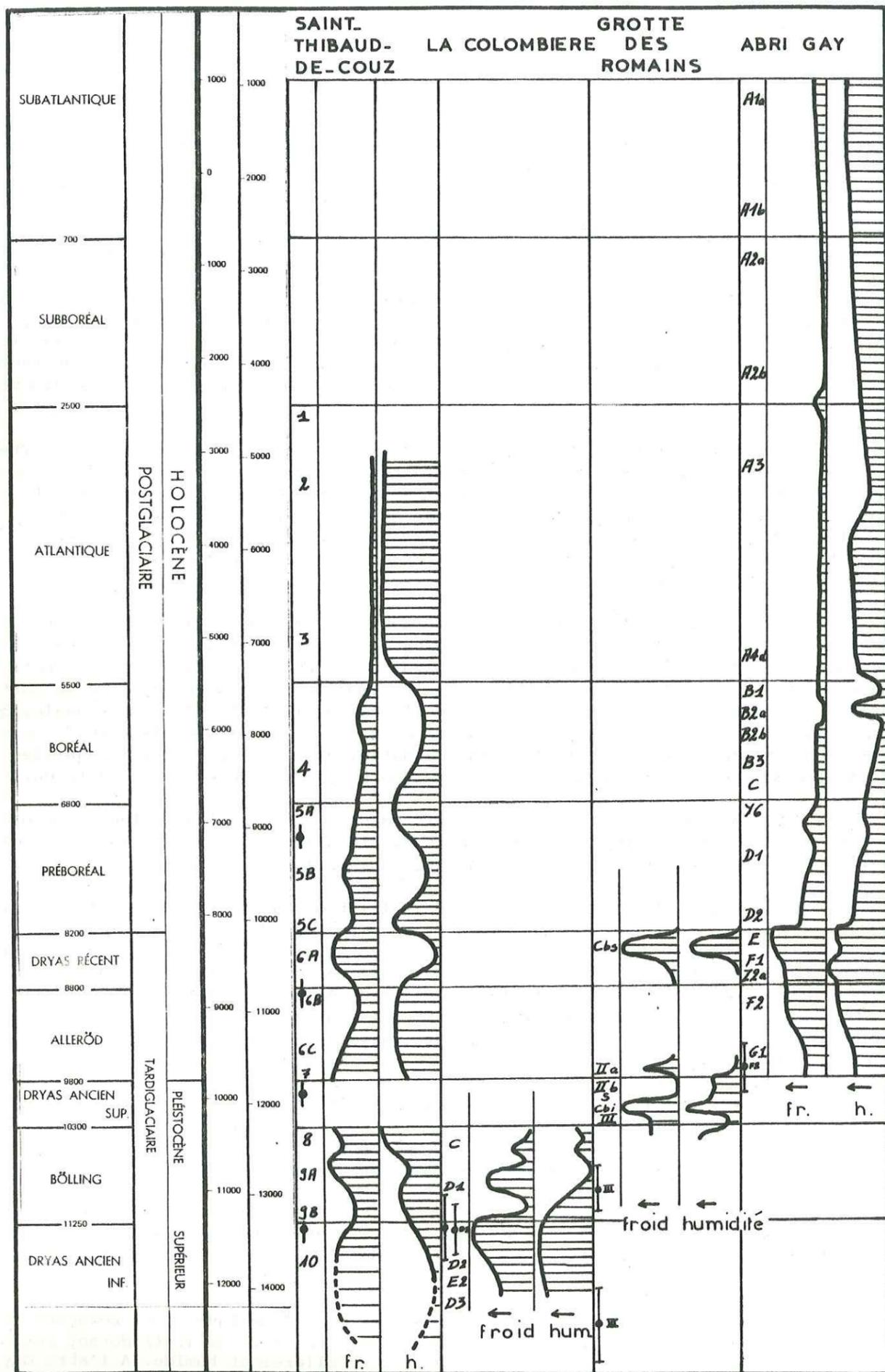
L'Alleröd est marqué à Saint-Thibaud par un réchauffement lent, peu prononcé, et une humidité abondante. A l'abri Gay, le climat était également frais et humide, avec une accentuation de ces caractères vers le sommet de la séquence.

Le Dryas III était très froid dans les trois gisements : éboulis grossier à Saint-Thibaud, nouvelle coulée à blocs à la grotte des Romains, forte comminution des éboulis de l'abri Gay. Cependant, l'appréciation de l'humidité est en opposition entre Saint-Thibaud et les autres sites : climat très sec à Saint-Thibaud, très humide à la grotte des Romains et l'abri Gay. Peut-être cette différence est-elle liée aux conditions de sédimentation : le remplissage de Saint-Thibaud s'est formé principalement aux dépens de la paroi tandis que les deux autres gisements étaient plus "ouverts" sur l'environnement.

Le Préboréal est caractérisé à Saint-Thibaud par un réchauffement "humide" entrecoupé par l'oscillation froide et sèche du Piottino. Cette oscillation est également "enregistrée" par les pollens de l'abri Gay mais sans conséquence pour la sédimentation qui exprime un net réchauffement et un assèchement progressif.

Le Boréal semble avoir été très sec (et tempéré) à l'abri Gay, malgré un bref épisode plus humide (couche B2a). Cet assèchement a été également enregistré à Saint-Thibaud où un concrétionnement plus tardif a enrobé les sédiments de cette époque.

A partir de l'Atlantique, les fluctuations climatiques sont beaucoup moins violentes. L'abri de Saint-Thibaud est abondamment concrétionné (tuf) durant cette période, ce qui témoigne d'un climat tempéré et régulièrement humide. A l'abri Gay, il semble que la première "moitié" de l'Atlantique ait été plus humide que la seconde : mais il est possible que l'influence de l'homme s'exprime ici dans une modification de la sédimentation. Un petit épisode plus froid sépare Atlantique et Subboréal à l'abri Gay.



Le sommet de la séquence (Subboréal, Subatlantique) traduit un léger refroidissement, et une augmentation très lente de l'humidité.

La comparaison entre ces quatre courbes climatiques montre une concordance des grandes lignes mais certaines divergences dans les détails. Il ne faut pas s'en étonner, car les incertitudes sont nombreuses : implicitement, on suppose toujours que le taux de sédimentation est constant entre deux repères chronologiques, mais ce n'est probablement pas le cas. D'autre part, les datations absolues sont toujours trop peu nombreuses. Le "calage" chronologique est donc beaucoup moins précis que les analyses climatiques. Il faut ajouter à cela l'effet de microclimats que nous évoquons au début de ce travail.

B - VALIDITE DES METHODES UTILISEES :

Cette étude a posé de nombreux problèmes de méthodologie. Il n'existe pas de règle fixe pour la compréhension d'un gisement, étant donné que les remplissages peuvent être très différents. La méthodologie doit s'adapter à ce fait, en s'intéressant aux matériaux "significatifs" des remplissages. Ainsi, dans le cas de ces gisements "récents", la morphoscopie des grains de quartz était peu recommandable, vu que la matrice des couches était héritée d'autres milieux sédimentaires. Pour la même raison, l'étude des argiles était délicate. L'étude des formes des cailloux n'a pas fourni de renseignements : la fracturation tectonique de la roche est sans doute trop importante.

D'autres méthodes mettent en évidence des variations qui sont probablement d'origine climatique mais dont l'interprétation est difficile : par exemple, le dénombrement des cailloux craquelés : ils sont généralement considérés comme un signe de froid ou de sécheresse. A l'abri Gay, on observe une "explosion" de cette catégorie dans les couches de l'Atlantique !

Enfin, certaines méthodes fournissent toujours des indices intéressants : la granulométrie des cailloux, le comptage pétrographique. Le comptage des états de surface, bien que délicat à mettre en oeuvre (l'oeil est trop subjectif quand les altérations sont faibles) donne lui-aussi de bons résultats. Mais aucune de ces méthodes ne devrait être utilisée seule : pour comprendre un remplissage, il est nécessaire de réunir un "faisceau" d'indices.

Il faut également insister sur l'importance de la stratigraphie, par laquelle toute étude doit obligatoirement commencer. Il n'est pas possible d'appliquer la sédimentologie en méthode "isolée", en prélevant quelques échantillons dans un coin du gisement. L'intérêt de cette discipline est avant tout de préciser la stratigraphie établie par les fouilleurs, de mettre en évidence les remaniements, les lacunes, les passages latéraux, etc.

Il faut d'ailleurs remarquer que le préhistorien et le sédimentologue n'utilisent pas exactement la même stratigraphie : le premier subdivise le remplissage en fonction des changements d'industrie et des différents niveaux d'occupation ces subdivisions peuvent être appliquées à une même unité sédimentaire (comme par exemple la couche F2 de l'abri Gay, subdivisée par des foyers).

Le second peut être amené à introduire de nouvelles subdivisions, basées sur des changements de texture (couches F1 de l'abri Gay) ou sur une hypothèse de travail (cas de la grotte des Romains). Mais, en général, les différences sont minimes ; la stratigraphie établie de manière empirique par le fouilleur à partir de petites différences de couleur, de texture, de consistance, se trouve justifiée par tel ou tel résultat de la sédimentologie. Celle-ci permet ensuite une meilleure description du sédiment : on observe souvent que les critères qui avaient servi de caractères distinctifs entre les couches (proportion de matrice, teneur en carbonates, granulométrie des cailloux, etc...) présentent des variations continues à l'intérieur d'une même strate alors que l'oeil tend à voir des "limites".

Enfin, rappelons que la connaissance du contexte sédimentaire d'une grotte ou d'un abri est primordiale pour sa compréhension. Bien souvent, les "clés" de l'interprétation sédimentologique se trouvent en dehors du site étudié : la connaissance des dépôts superficiels permet d'orienter efficacement les recherches à l'intérieur du gisement.

Sédimentologie générale :

- CAILLEUX A. & TRICART J. (1959) - Initiation à l'étude des sables et des galets. C.D.U. Paris.
- PERRIAUX J. (1972) - Dynamique des roches sédimentaires : la sédimentologie, in Goguel J. *Géologie*, vol. 1, La Pléiade, Paris, p. 721-757.
- POMEROL Ch. (1963) - Représentation graphique des granulométries des sables exécutés avec la série de tamis AFNOR. *Cahiers géologiques*, n° 72-73, p. 813-818.
- RIVIERE A. (1941) - Expression analytique générale de la granulométrie des roches meubles. Indices caractéristiques et interprétation géologique. Notion de faciès granulométriques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, II, p. 155-167, 3 fig.
- RIVIERE A. (1953) - Méthode d'interprétation de la granulométrie des roches meubles. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, T 8, n° spécial, p. 102-107.
- VATAN A. (1967) - Manuel de sédimentologie. 397 p., Editions tech., 7 rue Nelaton, Paris, 15^e.

Etudes de remplissage de grottes :

- BONIFAY E. (1955) - Méthodes d'étude des remplissages de grottes. *Bull. S. P. F.*, T III, fasc. 3-4, p. 144-145.
- BONIFAY E. (1956) - Les sédiments détritiques grossiers dans les remplissages des grottes. Méthode d'étude morphologique et statistique. *L'Anthropologie*, T 60, n° 5-6, p. 447-461.
- CHAVAILLON-DUTRIEVOZ N. (1952) - Etats de surface des cailloutis et des vestiges osseux dans les couches archéologiques d'Arcy-sur-Cure. *Bull. S. P. F.*, T LII, fasc. 7, p. 345-363.
- LAIS R. (1941) - Ueber Höhlensedimente. *Quatär*, T III (voir *L'Anthropologie*, 1949, T 53, p. 159-167, C.R. de R. Vaufrey).
- LAVILLE H. (1973) - Climatologie et chronologie du Paléolithique en Périgord : étude sédimentologique de dépôts en grottes et sous abris. *Thèse Doc. Etat, Fac. Sc. Bordeaux. Ronéotée.*
- MISKOVSKY J. Cl. (1974) - Le Quaternaire du Midi méditerranéen. *Etudes quaternaires 3*. Ed. du lab. de paléontologie humaine et de préhistoire. Université de Provence, 13331 Marseille.
- MISKOVSKY J. Cl. (1974) - Paléoclimatologie au cours des quinze derniers millénaires d'après l'étude sédimentologique du remplissage des grottes. *Séminaire sur l'approche géologique des quinze derniers millénaires, Montpellier, 31 Janvier-1er Février 1974.*
- PERRIN J. (1974) - Contribution à l'étude sédimentologique de l'abri du Mannenfelsen I à Oberlarg (Haut-Rhin). *Mémoire de Maîtrise, Strasbourg.*
- SCHMID E. (1958) - Höhlenforschung und Sedimentanalyse. Ein Beitrag zur Datierung des alpinen Paläolithikums. *Schriften des Instituts für Ur- und Frühgeschichte der Schweiz*, n° 13, Basel.

Phénomènes périglaciaires :

- TRICART J. & CAILLEUX A. (1962) - *Traité de Géomorphologie (III). Le modèle glaciaire et nival.* C.D.U. Paris.

Coulées de blocs :

- BOUT P., VALADAS B. & VEYRET Y. (1976) - Les limons quaternaires et les dépôts de pente dans le Massif Central. *La Préhistoire Française, T II, p. 154-156.*
- DEWOLF Y. (1975) - Paléofformes et paléoformations périglaciaires, dynamique nivale actuelle au sommet du Mont Lozère. *Bull. Ass. Géogr. Fr., n° 422-423, p. 67-70.*
- GODARD A. (1975) - Arènes litées et convois limoneux à blocs sur les versants cristallins des massifs anciens. *Etudes géographiques, mélanges Georges Viers, Univ. de Toulouse, Le Mirail, p. 283-298, 1 fig., 1 tabl.*
- GUI TER V. (1972) - Une forme montagnarde : le rock-glacier. *R.G.A., T LX, fasc. 3, p. 467-487.*
- VALADAS B. (1975) - Un exemple de dynamique actuelle dans un tablier d'éboulis. Le cas du Puy Griou (Cantal). *Comité Nat. Fr. de Géographie. Commission pour l'étude des phénomènes périglaciaires, fasc. II, p. 33-40, 1 fig.*

Eboulis grèzes litées :

- GUILLIEN Y. (1973) - Grèzes litées et terres grézeuses. *Le Quaternaire, 9è Congrès int. de l'INQUA.*
- JOURNAUX A. (1976) - Les grèzes litées du Châtillonnais. *Bull. A.F.E.Q., 3-4, p. 123-138.*

Fractionnement des roches :

- BIROT P. (1962) - Contribution à l'étude de la désagrégation des roches. *Cours C.D.U.*
- BROCHU M. (1975) - L'action du vent dans les processus de gélivation. *Fondation française d'études nordiques. VIè congrès international, Le Havre, 23-25 Avril.*
- GODARD & HOUEL-GANGLOFF (1965) - Essai de gélifraction artificielle pratiquée sur des calcaires et des grès lorrains. *Revue Géogr. de l'Est, p. 125-139.*
- GUILLIEN Y. & LAUTRIDOU J.P. (1974) - Conclusions des recherches de gélifraction expérimentale sur les calcaires des Charentes. *Bull. Centre de Géomorphologie de Caen, n° 19, p. 25-33.*
- PISSART A. (1970) - Les phénomènes physiques liés au gel, les structures périglaciaires qui en résultent, et leur signification climatique. *Ann. Soc. Géol. Belg., 93, p. 7-49.*

- POTTS A.S. (1970) - Frost action in rocks : some experimental datas. *Transaction Institute of British Geographns, n° 49, p. 109-124.*

Action du vent, sédiments éoliens :

- BAGNOLD R.A. (1960) - The physics of blown sand and desert dunes. *London Methaen a. Co., XXIV, 265 p.*
- CAILLEUX A. (1953) - Les loess et limons éoliens de France. *Bull. serv. carte géol. France, T 51, n° 240, p. 437-460, Paris.*
- JOLY J. (1963) - Le rôle du vent dans la formation des dépôts cryoclastiques de pente. *C.R. Acad. Sc. Paris, T 256, p. 3724-3725.*
- NIETER W.M. (1976) - The production and recognition of aeolian fractures on sand by silt abrasion. *Sedimentology, n° 23, p. 713-720.*

- REINECK H.E. & SINGH I.B. (1973) - *Depositional Sedimentary Environments.* Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.

Action de la pluie :

- DE PLOEY J. (1972) - Quelques expériences en rapport avec le rôle éventuel de l'érosion pluviale en milieu périglaciaire. *Bull. Centre de Géomorphologie de Caen, n° 13-14-15, p. 103-115.*

Blocs d'effondrement :

- ESCALON DE FONTON M. (1968) - Problèmes posés par les blocs d'effondrement des stratigraphies préhistoriques du Würm à l'Holocène dans le Midi de la France. *Bull. Ass. Fr. du Quaternaire, n° 17, fasc. 4, p. 289-296, 2 tabl., Paris.*

Grottes et concrétionnement :

- ADOLPHE J.P. (1972) - Obtention d'encroûtements carbonatés par gel expérimental. *C.R. Acad. Sc., T 274, série D11-39, 21/11/72.*
- CARO P. (1965) - La chimie du gaz carbonique et des carbonates et les phénomènes hydrogéologiques karstiques. *Cah. hydrogeol. B.R.G.M. n° 7, p. 54-77.*
- CAVILLE A. (1960) - Les argiles des grottes. Introduction à l'étude des sédiments souterrains. *Ann. de Spéléo. CNRS, T XV, fasc. 2, p. 283-400.*
- GEZE B. (1960) - L'évolution karstique (creusement, remplissage clastique, concrétionnement) dans ses rapports avec les alternances climatiques quaternaires. *E. Soc. Spéléo. Ital., Mém. V, T I, p. 111-126 ; 179-182.*
- GOGUEL J. (1953) - Données techniques sur l'effondrement des cavités souterraines. *Ann. spéléo., T VIII, p. 1-8.*
- RENAULT P. (1968) - Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. *Ann. de Spéolo., 214 p., Paris.*
- RENAULT P. (1970) - La formation des cavernes. *Que sais-je n° 400.*

Altération des sédiments :Cailloux craquelés :

- BONIFAY E. (1955) - Le rôle du gel dans la fissuration des galets de roche calcaire. *C.R. Acad. Sc., T 240, p. 896-898.*
- SOLEILHAVOUP F. (1977) - Les cailloux fissurés des regs sahariens : étude descriptive et typologie. *Géologie méditerranéenne, T IV, n° 4, p. 355-364.*

Etude des argiles :

- CHAMLEY H. (1967) - Possibilités d'utilisation de la cristallinité d'un minéral argileux (illite) comme témoin climatique dans les sédiments récents. *C.R. Acad. sc. Paris, T 265, p. 184-187.*
- CHAMLEY H. (1972) - Signification paléoclimatique des sédiments argileux quaternaires de Méditerranée occidentale. *Mém. BREM n° 77.*
- THIBAUT M.C. (1968) - pH et paléosols dans le quaternaire du Sud-Ouest de la France. *C.R. Acad. Sc., T 266.*

Exoscopie des grains de quartz :

- KRINSLEY D.H. & FUNNEL J. (1965) - Environmental history of sand grains from the lower and middle Pleistocene of the Norfolk, England. *Quart. I. Geol. Soc. London, 121, p. 435-456.*
- KRINSLEY D.H. & DOORNKAMP J.C. (1973) - *Atlas of quartz sand surface textures.* Cambridge University Press, 91 p.
- WHALLEY W.B. & KRINSLEY D.H. (1974) - A scanning electron microscope study of surface textures of quartz grains from glacial environments. *Sedimentology, 21, p. 87-105.*

Grotte des Romains, abri Gay, Colombière et environs :

- BINTZ P. & DESBROSSE R. (1977) - La fin des temps glaciaires dans les Alpes du Nord et le Jura méridional : données actuelles sur la chronologie, l'environnement et les industries. *Colloque internat. du CNRS, n° 271, La fin des temps glaciaires en Europe, Bordeaux, 24-28 Mai.*
- BINTZ P. & LOEBELL A. (1976) - Les remplissages de grottes et abris-sous-roche dans les Alpes du Nord et le Jura méridional. *La Préhistoire française, T II, éditions du CNRS.*
- BINTZ P. (1972) - Compte rendu de la fouille de la grotte Jean Pierre n° 1 à Saint Thibaud de Couz (Savoie). *Bull. de l'Ass. régionale pour le développement des recherches de paléontologie et de préhistoire des amis du muséum (Institut de géologie de Lyon, p. 25-29).*
- BINTZ P. (1976) - Les civilisations de l'Epipaléolithique et du Mésolithique dans les Alpes du Nord et le Jura méridional. *La Préhistoire française, T I2, p. 1405-1411, Editions du CNRS.*

- BOCQUET A., DESBROSSE R., PERRIAUX J. & USELLE J.P. (1970) - Etude du remplissage de la grotte des Romains à Virignin (Ain). *R.G.A.*, 58, n° 4, p. 671-677.
- BONNAMOUR L. & DESBROSSE R. (1965) - L'abri Gay à Poncin (Ain). Bilan des fouilles anciennes. *Bull. Soc. linn. de Lyon*, n° 10, p. 401-411, 5 fig.
- BONNAMOUR L. & DESBROSSE R. (1966) - L'abri Gay à Poncin (Ain). Fouilles 1965. *Bull. Soc. linn. de Lyon*, n° 7, p. 319-328.
- BOURDIER F. (1961) - Le bassin du Rhône au Quaternaire. Paris, CNRS éditions, 2 vol. 658 p., 296 fig., 3 tabl.
- CAMPY M. & THEOBALD N. (1976) - Les glaciers quaternaires dans les Vosges et dans le Jura. *La Préhistoire française*, T II, p. 61-64, CNRS éd.
- CHANEL E. & CATIN P. (1903) - L'abri de la Grand'Baille. *Bull. Soc. des Naturalistes de l'Ain*, n° 12, p. 23-25.
- COMBIER J. & DESBROSSE R. (1964) - Magdalénien final à pointe de Teyjat dans le Jura méridional. *L'Anthropologie*, T 68, p. 190-194, 4 fig.
- COMBIER J. & THEVENOT J.P. (1976) - Livret-guide de l'excursion A8. Bassin du Rhône, Paléolithique et Néolithique. IX^e congrès de l'UISPP, Nice.
- DEBARD E. & VILAIN R. (1976) - Les remplissages de grottes et abris sous roche dans le Jura méridional (région de Belley). *La Préhistoire française*, T II, p. 247-249, CNRS éd.
- DESBROSSE R. (1974) - Préhistoire de l'Ain et le Bugey : 1972-1974. *Le Bugey*, T 14, p. 717-728, 4 fig.
- DESBROSSE R. & MOURER-CHAUVIRE C. (1972-1973) - Les oiseaux magdaléniens de Pierre-Châtel (Ain). *Quatär*, bd 23-24, p. 149-164, 5 fig., 4 tabl., 2 pl.
- DESBROSSE R. & PRAT F. (1974) - L'élan magdalénien de Pierre-Châtel (Ain). *Quatär*, bd 25, p. 143-157, 1 fig., 3 tableaux, 5 pl.
- DESBROSSE R. (1976) - Les civilisations du Paléolithique supérieur dans le Jura méridional et les Alpes du Nord. *La Préhistoire française*, T I2, p. 1196-1213, CNRS éd.
- GIGNOUX M. & COMBAZ P. (1916) - Sur l'histoire des dernières glaciations rhodaniennes dans le bassin de Belley. *Trav. lab. univ. Grenoble*, T XI, fasc. 1, p. 33-36.
- GIGNOUX M. & BOURDIER F. (1937) - Histoire de l'ancien glacier du Rhône à la sortie du bassin de Genève. *C.R. Acad. Sc.*, séance 25.1.37, p. 310-312.
- MAYET L. & PISSOT J. (1915) - Abri sous roche préhistorique de la Colombière, près Poncin (Ain). *Lyon, Rey*, 205 p., 25 pl., 102 fig.
- MORELON N.S. (1973) - Le gisement préhistorique de la Touvière, commune d'Arbignieu (Ain). *Doc. lab. géol. fac. sci. Lyon* n° 56.
- MOVIUS H.L. & JUDSON Sh. (1956) - The rock-shelter of La Colombière. *American School of Prehistoric Research, Peabody Museum, Harvard University*, bull. n° 19, 176 p., 52 fig.
- TOURNIER J. (1924) - La grotte des Hoteaux (Ain). *Belley, Chaduc*, 84 p., 10 pl.

