



HAL
open science

**Pétroarchéologie du mortier de chaux gallo-romain.
Essai de reconstitution et d'interprétation des chaînes
opératoires : du matériau au métier antique**

Arnaud Coutelas

► **To cite this version:**

Arnaud Coutelas. Pétroarchéologie du mortier de chaux gallo-romain. Essai de reconstitution et d'interprétation des chaînes opératoires : du matériau au métier antique. Histoire. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2003. Français. NNT : . tel-00528508

HAL Id: tel-00528508

<https://theses.hal.science/tel-00528508>

Submitted on 22 Oct 2010

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.

UNIVERSITE PARIS I – PANTHEON-SORBONNE
U.F.R. HISTOIRE DE L'ART ET ARCHEOLOGIE

THESE de DOCTORAT
Discipline : Archéologie

présentée par

Arnaud COUTELAS

pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS I

PETROARCHEOLOGIE DU MORTIER DE CHAUX GALLO-ROMAIN
ESSAI DE RECONSTITUTION ET D'INTERPRETATION DES CHAÎNES
OPERATOIRES :
DU MATERIAU AU METIER ANTIQUE

Soutenue le 10 mars 2003

JURY

Mme Alix BARBET, Ecole Normale Supérieure
M. Marino MAGGETTI, Professeur Univ. de Fribourg (Suisse)
M. Jacques SEIGNE, IRAA, Univ. de Tours
M. Sander van der LEEUW, Professeur Univ. Paris I
M. Maurice RENARD, Professeur Univ. Paris VI
M. Alain PERSON, Maître de Conférences, Univ. Paris VI

Présidente du Jury
Rapporteur
Rapporteur
Directeur de thèse
Directeur de thèse
Invité

Avertissement

COUDELAS Arnaud (2003) – *Pétoarchéologie du mortier de chaux gallo-romain, essai de reconstitution et d'interprétation des chaînes opératoires : du matériau au métier antique*, Thèse de doctorat, Université Paris 1, non publiée, 479 p.

Ce document correspond au volume déposé et au travail soutenu à l'Université Panthéon Sorbonne (Paris 1). Les corrections sont réservées pour la publication ultérieure des résultats, le texte n'intègre donc pas les remarques et commentaires formulés par les membres du jury.

Remerciements

Je voudrais commencer par remercier tous les membres du jury, pour avoir accepté de rapporter et juger ce travail, et pour leur grande patience. Merci à mon directeur, Sander van der Leeuw, pour ses conseils éclairés et sa disponibilité chaque fois que besoin. Merci à Maurice Renard pour m'avoir « hébergé », accueilli au Laboratoire de Géologie des Bassins Sédimentaires (Université Pierre et Marie Curie), me permettant sans faille d'effectuer ce travail dans les meilleures conditions possibles.

Merci à Jacques Seigne et Marino Maggetti d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ce travail. Qu'ils sachent à quel point j'ai apprécié leurs remarques constructives qui ont, et qui vont, je n'en doute pas, grandement améliorer ce travail.

Je remercie triplement Madame Alix Barbet, très chère Alix, pour l'intérêt porté à ce travail, pour les conseils nombreux et toujours judicieux, et enfin pour avoir accepté la présidence du jury.

Merci à Alain Person d'avoir toujours su dégagé un peu de son temps précieux pour répondre à mes interrogations et pour avoir canalisé mes ardeurs dans une démarche scientifique raisonnée.

Je tiens particulièrement à remercier François Boyer, maître de conférences à l'Université Pierre et Marie Curie, le directeur de mes débuts. Qu'il trouve ici la marque de ma plus profonde gratitude, pour avoir initié ce travail, pour l'avoir dirigé un temps, pour sa disponibilité, et pour nos nombreuses discussions toutes autant scientifiques qu'amicales.

Mais tout ce travail n'aurait pu être accompli sans l'aide, les encouragements, et l'intérêt porté à cette recherche par les équipes intervenant sur les sites archéologiques. Je les remercie sincèrement, pour nos discussions, pour les plans, relevés et autres documents, pour les cafés, pour les montagnes de terre et autres parkings de pierres...

Pour Ribemont-sur-Ancre : Jean-Louis Brunaux, Christine Marchand et Véronique Brouquier-Reddé (UMR 8546 CNRS-ENS), ainsi que Gérard Fercoq-du-Leslay (Conseil Général de la Somme) ; merci à toute l'équipe du Centre Archéologique Départemental.

Pour Allonnes : Katherine Gruel et Véronique Brouquier-Reddé (UMR 8546 CNRS-ENS), ainsi que toute l'équipe du Centre Allonnais de Prospection et de Recherches Archéologiques (CAPRA).

Pour Escolives-Sainte-Camille : Pascale Laurent, ainsi que Cédric Dagobert (mon micro-info-morpho-géoarchéologue préféré !).

Pour le Vieil-Evreux : Laurent Guyard et Sandrine Bertaudière (Mission Archéologique du Vieil-Evreux), ainsi que Sophie Talin d'Eyzac et Christian David (INRAP).

Pour Arles : Marc Heijmans (laboratoire d'archéologie du musée de l'Arles antique), Bouzid Sabeg (Service du patrimoine de la ville d'Arles) et Gilles Martinet (co-directeur du LERM).

Pour Rungis : Eric Broine (INRAP) et Olivier Labat.

Pour Faverolles : Serge Février, ainsi que Christophe Durllet (Université de Bourgogne).

Pour Molesme : Christophe Petit (UMR 5594 CNRS-Université de Bourgogne) et Patrice Wahlen, ainsi que Jean-Pierre Garcia (Université de Bourgogne).

Pour le vaste domaine des peintures murales, aucun de ces travaux n'aurait pu être mené sans le concours du Centre d'Etude des Peintures Murales Romaines (CEPMR), de Soissons (UMR 8546 CNRS-ENS). Je remercie toute l'équipe du Centre, et en premier lieu Claudine Allag, Florence Monier et Claude Vibert-Guigne.

Je salue et remercie l'ensemble des membres du Département de Géologie Sédimentaire de l'Université Pierre et Marie Curie, et plus particulièrement Isabelle (secrétaire mais aussi, à l'occasion, garde-manger voire... bar !); Fabrice, Loïc et Denis – un merci plus appuyé au petit père Denis Langlet pour m'avoir fait découvrir le 11^e commandement; Nathalie, Johann et Mylène; et enfin les deux cocottes, Mél « est-ce que j'ai des mails ? » et Cathy « personne il m'écrit ! », qui ont désamorcé mes quelques envies « d'exploser » durant la dernière ligne droite (merci à vous deux).

Le tableau ne serait pas complet sans un grand, un très grand merci à Philippe Blanc (Université Pierre et Marie Curie) et Annie Blanc (Laboratoire de Recherche sur les Monuments Historiques) pour leur appui, leurs conseils et leur amitié; et je salue Gaston Godard (Institut de Physique du Globe) et Oumar Boudouma (Université Pierre et Marie Curie) pour m'avoir permis de participer au programme « Micro-imagerie multicanale et quantification en Sciences de la Terre » et donner les moyens matériels d'acquérir et de traiter les données.

J'aimerais encore remercier tous ceux qui ont été là, ou ici, ou pas loin, à mes côtés : Cécile, Sandrine, Mike, la « dream-team » (Sam, La Rouge et Cat), le « groupe » (Hélène, Bérengère, Claire, Alex et Christophe), les Roronettes & C^{ie} (merci pour les nonnettes !), et Sonia & Mathieu (Mathieu, je sais bien que je te l'ai trop dit, mais je te le dis quand même... merci !).

Enfin, cette thèse n'aurait jamais pu être menée à terme, ni même débiter, sans le concours de la « fondation Coutelas » : un grand merci à mes chers parents (et au fréro !).

Pétraarchéologie du mortier de chaux gallo-romain
Essai de reconstitution et d'interprétation des chaînes opératoires :
du matériau au métier antique

SOMMAIRE

Introduction Générale	9
I. Première Partie : Méthode, Matériel analytique et Matériaux	12
I.1. Introduction	12
I.1.1. Le mortier de chaux antique dans le domaine des Sciences des Matériaux.....	12
I.1.2. Le mortier de chaux antique dans le domaine des Sciences Humaines.....	13
I.1.3. Le mortier de chaux antique et l'approche pétraarchéologique.....	13
I.2. Méthode et Matériel analytique	15
I.2.1. La finalité des analyses, le fondement de l'étude : la typologie, un préalable nécessaire.....	15
a) La classification typologique.....	15
b) Les problèmes posés par la typologie.....	17
I.2.2. Avant les analyses.....	18
I.2.3. Le choix des analyses.....	20
I.2.4. Les techniques d'analyse.....	23
a) La microscopie optique en transmission (MOT).....	23
1) La caractérisation d'un mortier de chaux.....	23
- Les formes des grains.....	23
- Intervalles granulométriques et tri.....	24
- Le pourcentage de grains et de porosité.....	25
- La proportion chaux/granulat.....	27
- La coloration de la matrice à l'œil nu.....	27
2) Les apports spécifiques de l'observation en MOT.....	28
- Les critères d'identification de l'origine du granulat.....	28
- Identification des « grumeaux », nature de la pierre à chaux.....	30
- Diversité des fragments de tuileau.....	33
- La paille et les charbons de bois.....	33
- Fragments de mortier.....	36
- Structure du matériau et orientations du granulat et des vides.....	36
- Porosité : formes et remplissages.....	39
- Stratigraphie des enduits et des sols : identification et caractéristiques des limites des couches et des « sous-couches ».....	39

b) La microscopie électronique à balayage (MEB) et la fluorescence X (détecteur EDS).....	42
c) La cathodoluminescence optique (CL).....	42
d) Une technique prometteuse : la micro-imagerie multispectrale et ses traitements..	43
1) Les images multispectrales.....	44
2) Le traitement des images multispectrales.....	45
3) Traitement expérimental des images multispectrales.....	45
- Le matériau.....	45
- Proportions de granulats.....	48
- Les réactions chaux / terre cuite.....	50
e) La diffraction des Rayons X (DRX).....	50
f) L'analyse des éléments en spectrométrie d'absorption atomique.....	51
I.2.5. La mise à l'épreuve : la fresque expérimentale de Saint-Savin.....	51
a) Les matières premières.....	52
b) Les sept types de mortier.....	56
c) Les assemblages stratigraphiques et préparation du support.....	56
d) Les « pollutions ».....	60
e) Quelques aspects techniques.....	60
f) Les enseignements de cette étude.....	61
I.3. Les matériaux étudiés : de la pierre naturelle à la pierre anthropique.....	62
I.3.1. De la pierre à la pâte.....	64
a) La calcination.....	64
b) L'extinction.....	66
I.3.2. De la pâte à la pierre artificielle.....	72
a) La carbonatation et les types de chaux.....	72
b) Le granulats.....	76
c) Les recettes antiques.....	79
1) Le choix du sable naturel.....	79
2) Les recettes : nature et proportion du granulats.....	83
d) La pouzzolanité.....	84
1) La pouzzolane.....	84
2) L'activité pouzzolanique.....	85
3) Les terres cuites : des pouzzolanes artificielles.....	86
II. Deuxième Partie : le corpus, les études de sites.....	95
II.1. Les études d'enduits peints	
• A/ Roz Avel (thermes publics ?).....	99
• B/ La ville d'Aix-en-Provence, ou « la recherche des ateliers ».....	113

• C/ Corseul (quartier, II ^e s. ap. J.-C.).....	128
• D/ Fréjus (<i>domus</i> , 40-60 ap. J.-C.).....	135
• E/ Eu « Bois l'Abbé » (<i>fanum</i> , fin II ^e s. ap. J.-C.).....	146
• F/ Périgueux (<i>domus</i> , II ^e s. ap. J.-C.).....	151
• G/ Rouen (<i>domus</i> , voûte, III ^e s. ap. J.-C.).....	165
• H/ Vichten (<i>villa</i> , II ^e s. ap. J.-C.).....	175
• i/ Le sanctuaire de Zeus de Jerash (Jordanie, vers 50 av. J.-C.).....	181
II.2. Les études des mortiers de maçonnerie	
• J/ Vieil-Evreux (thermes publics, milieu II ^e au milieu III ^e s. ap. J.-C.).....	194
• K/ La ville d'Arles, ou « l'emprise des autorités ».....	217
• L/ Escolives-Sainte-Camille (thermes d'une <i>villa</i> , du I ^{er} au V ^e s. ap. J.-C.).....	254
• M/ Allonnes (sanctuaire, fin I ^{er} s. av. J.-C. à fin IV ^e s. ap. J.-C.).....	271
• N/ Molesme (<i>villa</i> ?, première moitié I ^{er} s. ap. J.-C.).....	290
• O/ Rungis (aqueduc, II ^e s. ap. J.-C. ?).....	305
• P/ Faverolles (mausolée, 20 à 30 ap. J.-C.).....	314
II.3. Q/ L'étude conjointe des enduits peints et des mortiers de maçonnerie :	
Ribemont-sur-Ancre (sanctuaire, fin I^{er} av. J.-C. au IV^e s. ap. J.-C.).....	319
II.4. Corpus, Conclusions.....	345
II.4.1. Chronologies relatives, phases de construction et de décoration.....	345
II.4.2. L'identification des matières premières dans l'environnement géologique.....	348
III. Troisième Partie : les mortiers de chaux gallo-romains.....	351
III.1. Compositions et destinations : la spécialisation des matériaux en rapport avec leur fonction architecturale.....	351
III.1.1. Le « gros œuvre ».....	354
a) Les murs.....	354
1) Les fondations et les élévations.....	354
2) Le blocage et les joints de parements.....	355
b) Les composants architecturaux des élévations.....	358
1) Les vitrages.....	359
2) Les arcs et voûtes.....	361
3) Les toitures.....	365
c) Les caves.....	367
d) Les emmarchements.....	369
1) Les escaliers et emmarchements maçonnés.....	369

2) Les mortiers de seuil.....	369
e) Les sols.....	372
1) Les sols de circulation des salles sèches.....	372
2) Les sols de circulation des salles humides.....	374
3) Les bourrelets d'étanchéité.....	375
4) Les supports de mosaïque.....	376
III.1.2. Les systèmes d'hypocauste et les bains.....	377
a) Les foyers / <i>praefurnia</i>	378
b) Les hypocaustes.....	379
1) Les sols d'hypocauste et les <i>suspensurae</i>	379
2) Les joints de pilettes (<i>pilae</i>).....	382
3) Les enduits des salles à hypocauste.....	387
c) Les bains.....	389
III.1.3. Les canalisations.....	391
a) Les canalisations et les égouts.....	392
b) Les aqueducs.....	393
III.1.4. Les enduits de protection.....	395
III.1.5. Les enduits peints.....	396
a) La peinture de la péninsule italique : un bref aperçu.....	397
b) Les enduits peints gallo-romains.....	399
1) Décor unique, support unique ?.....	399
2) Le tuileau, pour quelles couches, pour quels supports ?.....	401
3) La couche d'épiderme (a).....	405
4) Torchis, argile et paille.....	409
5) Epaisseurs et nombre de couches, limites de pose.....	413
6) Mortiers et bétons, croissance et décroissance granulométrique.....	415
7) La question des voûtes et plafonds peints.....	416
III.2. Le chantier.....	418
III.2.1. Le granulat : approvisionnement, traitements et substitutions.....	418
a) La destination.....	418
b) Les traitements.....	421
c) Les substitutions et récupérations.....	425
1) Le marbre.....	426
2) Le tuileau.....	427

III.2.2. Mise en œuvre, le chantier.....	431
a) La gestion de la matière première : les proportions chaux/granulat.....	432
b) Le respect de la recette, les pollutions, les erreurs.....	433
c) Les « petits plus » (les ajouts) et la qualité de la mise en œuvre.....	437
III.2.3. Conclusion : le chantier ou la rencontre de la géologie et de la technique.....	438
IV. Quatrième Partie : Le métier antique du mortier de chaux.....	440
IV.1. Doit-on attendre une spécialisation du travail ?.....	440
IV.2. Les ateliers de <i>tectores</i>.....	440
IV.3. Les programmes architecturaux.....	443
IV.4. Le métier antique : nature, contrôle et évolution.....	444
IV.4.1. Les caractéristiques principales du métier antique.....	445
a) Le choix de la pierre à chaux et la préparation de la chaux.....	445
b) Les maçonneries et les sols de circulation.....	446
c) Le domaine du tuileau.....	446
d) L'utilisation de l'argile.....	447
e) La diversification des compositions des mortiers de tuileau.....	447
f) Les liants des toitures : deux fonctions, deux traitements.....	447
g) Les enduits peints, un domaine à part.....	447
IV.4.2. Contrôle et influences.....	448
a) Les besoins.....	449
b) Les connaissances.....	450
c) Les savoir-faire.....	450
d) L'environnement géologique local.....	450
e) Les contraintes économiques.....	451
IV.4.3. L'évolution du métier.....	451
a) Quelle évolution ?.....	451
b) Quels moteurs d'évolution du métier ?.....	455
Conclusions, perspectives.....	458
Bibliographie.....	462
Annexes	
Glossaire.....	473
Numérotation et codification des échantillons et des enduits.....	475
La méthode FXD de calcul minéralogique.....	477

Table des figures

Tabl.I.1. Nombre d'échantillons, de lames minces et d'analyses complémentaires pour chaque étude.....	22
Fig.I.2. Classification de la forme des grains (d'après Pettijohn <i>et al.</i> 1973).....	24
Fig.I.3. Catégories de tri d'un granulat dans une lame mince (d'après Pettijohn <i>et al.</i> 1973).....	25
Fig.I.4. Chartes visuelles d'estimation des teneurs en grains sur une lame mince (Terry & Chilingar 1955)....	26
Fig.I.5. Coquille actuelle dans un mortier de chaux.....	31
Fig.I.6. Argiles d'illuviations préservées dans un mortier de chaux.....	31
Fig.I.7. Cristaux anguleux de calcite issus du broyage de marbre blanc.....	31
Fig.I.8. « Grumeau » dans un mortier de chaux et de tuileau.....	32
Fig.I.9. Grumeau avec vestiges de calcaire « incuit ».....	32
Fig.I.10. Élément de tuileau à dégraissant quartzeux.....	34
Fig.I.11. Mélange de plusieurs natures et formes de fragments de tuileau.....	34
Fig.I.12. Charbon de bois isolé dans une couche de mortier de tuileau. LPNA et MEB.....	35
Fig.I.13. Paille dans un mortier de préparation d'enduit peint.....	33
Fig.I.14. Vide de disparition d'un végétal.....	35
Fig.I.15. Exemples de fragments de mortier dans un mortier de chaux.....	37
Fig.I.16. Exemple de répartition homogène du granulat.....	37
Fig.I.17. Concentration et orientation de grains en limite de deux couches de support d'enduit.....	38
Fig.I.18. Orientation générale du granulat d'une couche de support d'enduit peint.....	38
Fig.I.19. Vides polyconcaves.....	38
Fig.I.20. Vides arrondis dans un mortier de chaux et de tuileau.....	38
Fig.I.21. Fissures de retrait dans une couche d'épiderme pauvre en granulat.....	40
Fig.I.22. Fissures de retrait autour des éléments du granulat.....	40
Fig.I.23. Cristallisations de calcite sur les parois d'une fissure.....	40
Fig.I.24. Liseré sombre en limite de deux couches de support d'enduit peint.....	41
Fig.I.25. Liseré sombre. Image bse et carte de répartition du calcium.....	41
Fig.I.26. Contact mortier de chaux et brique.....	46
Fig.I.27. Cartes de répartition des éléments chimiques de la zone de contact.....	47
Fig.I.28. Carte thématique et identification des classes de l'image.....	49
Fig.I.29. Carte thématique et pourcentage de feldspaths potassiques.....	49
Fig.I.30. Carte thématique et pourcentage de granulat.....	49
Tabl.I.31. Pourcentages relatifs de chaque phase identifiée sur la carte thématique I.28.....	48
Fig.I.32. Relevé de la fresque expérimentale de Saint-Savin.....	52
Fig.I.33a. Couche d'épiderme à poudre de marbre de la fresque expérimentale.....	54
Fig.I.33b. Couche d'épiderme à poudre de marbre d'un enduit peint gallo-romain.....	54
Fig.I.34. Scorie magmatique.....	54
Fig.I.35. Diagramme de DRX du type de mortier n°6.....	55
Tabl.I.36. Assemblages stratigraphiques des mortiers de la fresque expérimentale.....	57
Fig.I.37. Transition entre les assemblages E et D.....	59
Fig.I.38. Fissures de retrait dans les couches (a) et (b) de l'échantillon SAV 7.....	59
Fig.I.39. Restitution du four à chaux de Caton (d'après Adam 1995).....	65
Fig.I.40. Fosse à chaux à cuvelage de planches de sapin (photo Petit & Wahlen 2000).....	70
Fig.I.41. Diagramme de diffraction des rayons X du contenu de la fosse à chaux.....	70
Fig.I.42. Cycle de la chaux.....	71

Tabl.I.43. Temps avant le début de la prise suivant l'indice d'hydraulicité (d'après Fournier 1975).....	75
Tabl.I.44. Echelle et dénominations granulométriques (d'après Chamley 1987).....	79
Tabl.I.45. Recettes préconisées par Vitruve pour la confection des mortiers (d'après Adam 1995).....	83
Fig.I.46. Matrice d'un mortier contenant des argiles d'illuviation.....	87
Fig.I.47. Spectre de fluorescence X de la matrice sombre en LPNA du mortier de la fig.I.46.....	87
Fig.I.48. Structure des minéraux argileux.....	88
Tabl.I.49. Classification des minéraux argileux.....	89
Tabl.I.50. Résistance en compression de mortiers contenant des minéraux argileux (d'après He <i>et al.</i> 1995)..	90
Fig.I.51. Tuileaux montrant des bordures particulières au contact avec la chaux, LPNA.....	92
Fig.I.52. Détail du contact tuileau et chaux (MEB) et teneurs relatives en éléments chimiques.....	92
Fig.I.53. Contact entre un tuileau et la matrice. LPNA et CL.....	93
Fig.I.54. Béton de tuileau. LPNA et CL.....	93
Fig.II.1. Répartition géographique, pour la France, des sites archéologiques étudiés.....	96
Fig.II.2. Datation des phases de construction et de décoration de l'ensemble des édifices du corpus.....	98
Fig.II.3. Représentations schématiques des assemblages stratigraphiques.....	349
Tabl.II.4. Les principaux types de mortier de construction et la proximité de la source du granulat.....	350
Tabl.III.1. Fonctions architecturales 1 ^{aires} et 2 ^{aires} des mortiers et bétons de chaux gallo-romains.....	352
Tabl.III.2. Sites étudiés par M. Frizot (1975).....	353
Fig.III.3. Mur tripartite et illustration d'un chantier de construction (<i>In Adam 1995</i>).....	357
Fig.III.4. Joints de parement mis en relief après érosion des moellons de tuf, <i>Villa d'Hadrien</i>	357
Fig.III.5. Maçonnerie pompéienne, <i>via dei sepolcri</i> , tombe 20 Sud (<i>In Adam 1995</i> , p.80).....	357
Fig.III.6. Restitution du claustra des vitres soufflées des thermes du Sud, Bosra (Syrie) (<i>In Broise 1991</i>).....	360
Fig.III.7. Carottage vertical au travers d'une voûte de l'amphithéâtre d'Arles.....	360
Fig.III.8. Départ de l'arc inclus dans le mur 3 des thermes de l'Esplanade, Arles.....	360
Fig.III.9. La voûte à caissons du panthéon de Rome.....	363
Fig.III.10. Schéma de disposition des éléments de toiture (<i>In Vipard 1999</i>).....	363
Fig.III.11. Joints de tuiles en mortier de chaux (<i>In Frizot 1975</i>).....	364
Fig.III.12. Prismes en mortier de tuileau de <i>Mediolanum</i> (<i>In Frizot 1975</i>).....	364
Fig.III.13. Prisme de mortier de tuileau : joint de mortier disposé sous les <i>tegulae</i>	367
Fig.III.14. Canal 170 des thermes de l'Esplanade (Arles).....	376
Fig.III.15. Schéma du système de chauffage par hypocauste (<i>In Adam 1995</i>).....	378
Fig.III.16. Sondage dans la salle ronde J' de thermes du Vieil-Evreux.....	383
Fig.III.17. Système d'hypocauste. (<i>In Van Ossel et Defgnée 2001</i>).....	385
Fig.III.18. Pilettes de l'hypocauste de la salle 3 des thermes de l'Esplanade (Arles).....	385
Fig.III.19. Enduit de tuileau appliqué sur les murs de la salle 3 des thermes de l'Esplanade (Arles).....	388
Fig.III.20. Piscine E de la <i>villa</i> d'Escolives-Sainte-Camille.....	399
Fig.III.21. Nombre d'occurrences de mortiers à tuileau, selon la position dans le support.....	402
Fig.III.22. Histogramme de fréquence des couches d'épiderme selon la nature du granulat principal.....	406
Fig.III.23. Histogramme de fréquence des couches d'épiderme selon la famille du granulat principal.....	407
Fig.III.24. Schéma des 17 assemblages stratigraphiques à couche d'épiderme à cristaux de calcite.....	408
Fig.III.25. Couche de préparation argilo-limoneuse d'un enduit peint de la rue des Jacobins (Amiens).....	412
Fig.III.26. Couche de préparation argilo-limoneuse d'un enduit peint de Lisieux.....	412
Fig.III.27. Histogramme de fréquence du nombre de couches constituant un assemblage stratigraphique.....	413
Fig.III.28. Nature, origine et granulométrie du sable des principaux types de mortier de maçonnerie.....	419

Tabl.III.29. Origine et traitements supposés du granulat des couches de support des peintures murales.....	423
Fig.III.30. Forme des grains de la charge des principaux types de mortier de maçonnerie.....	424
Fig.III.31. Illustration de la réponse de deux types de granulat à une compression (<i>In Häfner 1996</i>).....	426
Fig.III.32. Tessons centimétriques de céramiques dans un enduit extérieur, sanctuaire de Zeus (Jerash).....	429
Fig.IV.1. Deux exemples de pose de l'enduit en relation avec celle du sol (<i>In Dubois 1996</i>).....	441
Fig.IV.2. Principaux types de mortier de maçonnerie (en gris ceux terreux).....	453

Avertissements

- Les figures des chapitres II.1 à II.3 (études du corpus) ne sont pas reprises dans la table des illustrations.
- Les références citées dans le texte sont reportées dans le chapitre « bibliographie » en fin de volume, exceptées celles appelées dans les chapitres II.1 à II.3 (études du corpus), regroupées en fin de chaque chapitre.
- Un astérisque à la fin d'un mot renvoie au glossaire (annexe 1) en fin de volume.

« Il en est de ce produit qu'est la civilisation gallo-romaine comme du mortier romain : de même que la chaux et le sable toujours soigneusement choisis, les éléments italiens et celtiques, éprouvés par un long passé, étaient de bonne qualité (...). Le résultat, c'est, si l'on peut dire, une matière de civilisation nouvelle : il n'y a pas d'autre secret à sa solidité que le temps et le soin pris pour sa fabrication, et la lente maturation dont elle a fait l'objet. »

(Paul-Marie Duval, « La Gaule pendant la paix romaine », 1991).

Introduction

La voûte du Panthéon (Rome), les peintures de la *villa* des Mystères (Pompéi), les mosaïques de Zeugma (Turquie), tous ces vestiges et bien d'autres sont connus et réputés pour la qualité de leur style et de leur réalisation. Ils sont la signature visible d'une civilisation dont les goûts et le dynamisme architectural ont marqué les cultures qui lui étaient contemporaines et postérieures ; mais ils en cachent l'essentiel à qui se contente d'apprécier uniquement le côté esthétique. Les décors et l'architecture des édifices permettent, à qui sait les étudier, de révéler toute la science décorative et architecturale des Romains, mais aussi quelle idéologie les sous-tendent, quelles étaient les raisons de leur création et les soucis de leur réalisation ; en un mot, ils nous renseignent sur la société romaine.

Dans cette optique, il est nécessaire que toutes les composantes techniques de la préparation des décors et de la construction des édifices soient préalablement étudiées. Pour les peintures murales ce sont notamment les tracés préparatoires, la nature des pigments et les styles iconographiques. Pour la construction ce sont les « maquettes » au sens large (l'objet et le schéma/plan), les techniques de levage et de circulation (échafaudages, etc.), les matières premières et les matériaux ainsi que leurs traitements (la taille de la pierre notamment), etc.¹

Le mortier de chaux (un mélange de chaux et de sable) est à la fois présent dans le domaine de la peinture murale et dans celui de la construction. Il en est même l'une de leurs

¹ Nous mettrons de côté les mosaïques, nous ne les avons pas intégrées à l'ensemble de nos recherches.

composantes principales. Son étude est toutefois peu systématique, elle permet pourtant de mieux comprendre la nature et le déroulement du chantier.

L'une des raisons d'un désintéressement pour ce matériau ne vient pas uniquement de son manque d'aspect esthétique, mais d'une méconnaissance des apports de son étude. En effet, l'essentiel des travaux portant sur les mortiers et bétons (un mélange de chaux et d'un cailloutis) sont dirigés vers la caractérisation du granulat, en vue d'identifier son origine. Si ces informations sont de première importance dans une étude du mortier, elles n'en sont pas la conclusion.

La rareté de l'étude du mortier résulte d'un problème simple : les mortiers de chaux sont considérés comme un élément de la construction qui n'a de valeur que pour l'édifice analysé, et dont la seule référence possible vient des textes antiques qui nous sont parvenus, ceux de Vitruve en particulier. Or, le mortier de chaux est un matériau qui résulte d'un processus complexe, et pas uniquement physico-chimique, aussi et surtout technique. De fait, l'objectif de l'étude des mortiers de chaux n'est pas d'identifier la composition des matériaux et d'établir leur classification, mais de comprendre tous les paramètres régissant « le métier antique du mortier de chaux », expliquant les choix (et les non-choix) de l'artisan ou de l'équipe à chaque étape de la chaîne opératoire. Il devient alors possible, par la comparaison des « procédés de maçonnerie » (l'ensemble des pratiques visant à la construction d'une structure architecturale donnée), d'identifier et d'expliquer des techniques communes au métier ainsi que ce qui s'en écarte. Cette lecture « pétroarchéologique » du métier antique est directement fondée sur l'analyse des matériaux et bénéficie des apports des sources écrites antiques et des informations archéologiques.

Nous présenterons la méthodologie, en mettant en avant la typologie des mortiers de chaux. Nous présenterons les techniques d'analyse, en effectuant plus particulièrement la bilan des apports spécifiques de la microscopie optique en transmission.

Le cycle de la chaux sera présenté à partir d'une analyse bibliographique récente : plusieurs travaux, par exemple, ont récemment porté sur la composition des mortiers de chaux anciens, préalablement à la restauration des monuments historiques, nous permettant de mieux comprendre la nature des composés présents dans la matrice de ces matériaux ; cela nous permettra, plus particulièrement, de discuter ce que sous-tend précisément le terme « hydraulique », qui peut être employé aussi bien pour la chaux que pour le mortier lui-même.

Notre corpus sera ensuite exposé, chaque étude de peinture murale ou de site archéologique étant abordée successivement, indépendamment des autres. Leur synthèse sera effectuée dans le chapitre III, qui abordera, par le matériau, premièrement les correspondances entre la composition du mortier et son utilisation, et deuxièmement les informations concernant le chantier. Cette synthèse sera de surcroît alimentée par les quelques références pétroarchéologiques publiées et par l'expérience du Centre d'Etude des Peintures Murales Romaines (CEPMR).

Le métier antique du mortier de chaux sera ensuite discuté. Nous rappellerons les pratiques identifiées communes aux artisans, avant d'envisager la nature et la hiérarchisation des paramètres contrôlant le métier antique et son évolution.

PREMIERE PARTIE :

METHODE,
MATERIEL ANALYTIQUE et
MATERIAUX

I. Méthode, Matériel analytique et Matériaux

I.1. Introduction

Le mortier de chaux est un objet d'étude pour de nombreuses disciplines, aussi bien dans le domaine des Sciences Humaines (Archéologie, Histoire) que dans celui des Sciences des Matériaux. De ces deux domaines nous viennent deux approches des mortiers de chaux antiques qui se côtoient depuis de nombreuses années, sans parvenir, ou rarement, à se rencontrer.

I.1.1. Le mortier de chaux antique dans le domaine des Sciences des Matériaux

La légende du béton romain a motivé au XIX^e siècle, pendant l'essor des mortiers hydrauliques et du ciment, un certain nombre de travaux en vue de comprendre quels secrets de fabrication les Anciens avaient pu employer pour obtenir des matériaux d'une telle durabilité (travaux de Vicat notamment, un ingénieur français qui mit ensuite au point, en 1817, le ciment artificiel). Ces travaux ont montré qu'en réalité « les seules constructions en maçonnerie concrète (c'est-à-dire liées au mortier de chaux), qui nous sont parvenues en bon état sans jamais avoir été protégées par l'enfouissement, sont celles dont l'édification avait, à tous égards, une chaux de qualité (de cuisson homogène) entrant dans la composition de mortiers parfaitement dosés et mélangés, en correspondance avec un monument statiquement équilibré » (Adam 1995, p.77). Il n'en reste pas moins que de nombreux mortiers antiques surprennent encore par leur conservation, au point d'être étudiés comme analogues des ciments actuels, dont le vieillissement pose déjà problème (Rassineux 1987 et 1989, Quénée 1990).

Les préoccupations liées à la conservation et à la restauration des monuments historiques sont à l'origine d'un nombre important de travaux portant sur l'identification des cortèges analytiques qui conviennent aux investigations sur les mortiers. La caractérisation physico-chimique des liants anciens s'effectue en préalable des travaux de restauration, pour permettre la préparation d'un liant de bonne compatibilité avec le matériau d'origine (voir notamment les travaux de Moropoulou *et al.* 2000a).

Les acteurs de cette discipline ont été plusieurs fois confrontés à la question des mortiers hydrauliques, que la chaux soit elle-même hydraulique (Teutonico *et al.* 2000, Banfill & Forster 2000) ou que les matériaux contiennent des composés pouzzolaniques (cf. chap.I.3.2d). L'étude des mortiers à pouzzolanes a tout naturellement amené un certain nombre d'analyses à étudier les pouzzolanes artificielles, et plus particulièrement le tuileau (briques et tuiles pilées). Ces études attestent de la justesse de ce choix précoce en remplacement des pouzzolanes naturelles, dès le X^e siècle av. J.-C. (Furlan et Bissenger 1975), tout en discernant quelques restrictions : il est fréquemment observé une limitation des réactions pouzzolaniques au seul contact chaux-granat (Charola *et al.* 2000, Hughes & Sugden 2000, Moropoulou *et al.* 1997, Baronio *et al.* 1997).

Ces données précieuses sur les propriétés et la composition des matériaux anciens restent, malheureusement, trop souvent coupées du contexte archéologique, malgré les travaux novateurs de V. Furlan et P. Bissenger (1975). D'où l'impossibilité non seulement d'exploiter les résultats pour une étude archéologique du site, mais aussi de discuter la représentativité de l'échantillonnage, aussi bien du point de vue architectural que chronologique.

1.1.2. Le mortier de chaux antique dans le domaine des Sciences Humaines

L'approche historique et archéologique des mortiers gallo-romains prend appui sur les textes romains qui nous sont parvenus (cf. I.3.2c) : principalement ceux de Caton l'Ancien (II^e s. av. J.-C.), Vitruve (I^{er} s. av.) et Pline l'Ancien (I^{er} s. ap.). L'étude sur le site archéologique se pose alors trop souvent comme une vérification de l'application des « prescriptions » de ces auteurs. Des essais de typologie sont parfois mis en œuvre, afin de tester les hypothèses de relations entre les familles de mortier et la chronologie relative des maçonneries et des phases de construction. Cette approche des mortiers archéologiques cantonne les données au seul site archéologique, et place les textes comme seule base de comparaison.

1.1.3. Le mortier de chaux antique et l'approche pétroarchéologique

L'approche pétroarchéologique, telle que nous souhaiterions la définir, considère la composition et les propriétés des matériaux comme les témoignages du savoir-faire et des

techniques de l'artisan. Les prémices de cette recherche peuvent se dissocier en plusieurs points :

- (1) La description des techniques proprement dite ; cette approche est particulièrement vivace pour le domaine des enduits peints, la composition des matériaux passant en quelque sorte au second plan, derrière la restitution des pratiques de pose des enduits et les questions de choix et de préparation des matières premières (Barbet et Allag 1972, Häfner 1996, ou encore Dubois 1996).
- (2) La comparaison des matériaux à l'échelle « régionale ». Ces travaux cherchent à mettre en évidence des circulations d'ateliers ou des particularismes locaux (Frizot 1975, Bugini & Folli 1996, Jârò 1996). Malheureusement, le cadre géographique recouvre souvent divers environnements géologiques ne permettant pas, par comparaisons des matériaux, de définir des ensembles cohérents.
- (3) L'histoire étendue du mortier de chaux à l'échelle d'un site ou d'une région (voir notamment Sapin *et al.* 1991). Cette réflexion sur les différentes familles de mortier pour un laps de temps particulièrement long a montré l'importance de la mise en place d'une typologie des matériaux qui soit fondée sur un nombre important d'échantillons, dont une majorité bien datés (voir les travaux de S. Büttner dans Sapin *et al.* 2000 sur les mortiers médiévaux).

Michel Frizot désignait en 1975 la « connaissance de la technique antique » comme une orientation de la recherche. Les travaux archéologiques, même utilisant les variations typologiques des mortiers, ont continué à se fonder sur la description des compositions (typologie descriptive), et non sur l'analyse des *chaînes techniques* (telles que définies chez Ploux et Karlin 1994). La chaîne opératoire de fabrication du mortier est considérée comme répondant à un modèle déjà bien connu, invariant, ce qui empêche les tentatives d'approche (ethno)archéologique des techniques.

Notre approche se veut différente en considérant ce matériau comme le témoin d'un patrimoine technique, posant le système technique et les acteurs de ce système comme véritables objets de l'étude. S'appuyant en partie sur les concepts récents de l'(ethno)archéologie, notre travail ne prend plus seulement en compte l'évolution typochronologique de ces productions, il cherche à percevoir les moteurs et les inhibiteurs de ces changements. La typologie descriptive n'est donc qu'une première étape de l'étude des mortiers, celle correspondant à l'acquisition des données. C'est ensuite au niveau des *schèmes*

techniques que s'effectuera l'étude ; toutes les séquences opératoires sont menées par les acteurs suivant des chaînes modèles dont la connaissance nous permettra de dire si les choix et les non-choix des artisans relèvent de considérations techniques, économiques et/ou d'une part d'héritage culturel.

I.2. Méthode et matériel analytique

I.2.1. La finalité des analyses, le fondement de l'étude : la typologie, un préalable nécessaire

a) La classification typologique

La typologie des mortiers consiste à répartir les échantillons dans différents groupes après l'étude de leurs traits caractéristiques. Elle se scinde en deux phases.

La première correspond à la typologie descriptive. Les types de mortier sont définis sur la base de leurs caractéristiques. Ils sont tous, individuellement, considérés dans l'étude du site archéologique, et plus particulièrement pour l'organisation du cadre typo-chronologique qui permettra de discuter l'histoire de la construction de l'édifice. Mais la typologie descriptive ne témoigne pas obligatoirement de changements de pratiques ou de chaîne opératoire, des facteurs tels que l'hétérogénéité des formations géologiques exploitées (les « formations sources ») ou les aléas du chantier, pour citer deux exemples, jouant sur l'aspect final du matériau.

La deuxième phase consiste en une classification fondée sur les modes opératoires et les « recettes » (à la fois la composition du matériau et les moyens mis en œuvre pour l'obtenir). Elle est nécessaire dès que l'on aborde le patrimoine technique des acteurs du métier antique du mortier de chaux.

Le mortier est un mélange hétérogène, constitué de plusieurs phases. Les familles de granulats pouvant être ajoutées à la chaux sont diverses et variées (sable de rivière, pouzzolanes, etc.). Les mortiers peuvent être préparés avec des mélanges de plusieurs granulats, souvent eux-mêmes hétérogènes, tant du point de vue de la granulométrie que de la composition. Pour illustrer ceci, prenons l'exemple d'un mortier confectionné avec, pour un

volume de chaux, un volume de tuileau obtenu après un broyage grossier de différentes tuiles et briques (on obtiendra alors une granulométrie allant de « graviers » à de la « poussière » de tuileau) et un volume d'arène granitique mêlant les différents minéraux de la paragenèse* ainsi que les minéraux d'altération de la roche (des argiles notamment). On perçoit de suite la complexité du mélange. Lorsqu'on envisage l'étendue de la chaîne opératoire (cf. chap. I.3 et III.2), spécialement les étapes d'extraction et de traitement des matières premières, puis de préparation et de mise en œuvre des matériaux, on ne peut s'empêcher, comme bon nombre d'archéologues, de penser qu'aucune cohérence n'est réellement à attendre d'une analyse des mortiers, tant ceux-ci sont susceptibles de laisser voir plus de variations que d'uniformité, et donc d'unité typologique.

Se pose donc une série de questions d'importance : peut-on établir une typologie des mortiers ? Quelle valeur lui donner, en quoi est-elle significative ?

On aborde le problème le plus épineux d'une étude des mortiers, à savoir à quel niveau de « détail » doit-on aller dans les analyses et observations pour définir le juste cortège de familles et de types de mortier, sans en oublier, sans les multiplier à l'excès, la caricature voulant qu'à chacune des truellées un nouveau type puisse être défini.

Toute typologie, dès qu'elle est fondée sur des différences sensibles de caractères, est valide. Reste que validité ne signifie pas pertinence. La typologie découle à la fois de contraintes et de choix. Les contraintes sont liées au matériau lui-même et au site archéologique ; les choix sont effectués par l'analyste, avec discernement, afin d'écarter des critères sans représentativité et pertinence.

Un perpétuel va-et-vient est effectué entre les données de l'analyse et les limites que nous imposent les informations du site archéologique, afin d'établir si les variations des mortiers sont significatives ou non, si elles sont révélatrices de changements de phase de construction ou de variations dans les pratiques, soit dans la chaîne opératoire modèle, soit dans son application. Une variabilité inhérente à l'habileté de l'opérateur peut ainsi être identifiée.

Prenons un exemple. Lors de l'étude des thermes du quartier de l'Esplanade, à Arles (Bouches-du-Rhône)¹, nous avons découvert un mortier de chaux et de sable, contenant des cendres. C'était la seule caractéristique le distinguant du mortier employé pour les autres murs de la même phase de construction. Nous avons interprété ces cendres comme une pollution, plutôt qu'un enrichissement, pour deux raisons : il s'agissait d'un matériau fort localisé et les

¹ Cette étude sera développée plus loin (cf. chap.II. étude K).

ces cendres étaient extrêmement fines (ce qui ne correspond pas à la pratique attestée d'ajout de gros fragments de charbons de bois). Un type de mortier a donc été défini, mais il n'a pas été intégré au diagramme de répartition chronologique des types de mortiers (cadre typochronologique).

b) Les problèmes posés par la typologie

Une typologie « descriptive » des mortiers ne peut être exploitable que si tous les types de mortier ont bien été définis à partir de critères significatifs. Lorsque la typologie est établie, elle doit être confrontée aux données archéologiques, principalement à celles touchant à la succession des phases de construction. Il ne s'agit pas alors d'effectuer des regroupements ou des divisions de types pour que la typologie des mortiers puisse valider les interprétations archéologiques : elle est un élément de discussion de ces interprétations et doit naturellement être cohérente avec les données archéologiques.

Il existe une critique souvent formulée à l'encontre de l'établissement d'une typologie : la récurrence, pour un même site et à travers les âges, de mêmes types de mortier. Elle a été rencontrée par plusieurs auteurs, et nous-mêmes avons été plusieurs fois gênés.

Cette « incohérence » typologique peut, en théorie, se présenter lorsque le cortège de mortiers fait appel à des matériaux apparemment peu différents les uns des autres, soit que les variations intrinsèques sont susceptibles de créer des catégories de mélanges à la frontière entre deux types, soit que les variations des types se recoupent. Mais alors, pourrait-on dire, les types sont mal définis. Et là est notre problème, les types sont parfaitement bien définis, puisque la typologie est assez souple pour englober toutes leurs variations (après les avoir reconnues comme telles). Cependant, nous tenons à signaler qu'en pratique, si l'on observe de fréquents recoupements à l'intérieur des « sphères de variation » des types de mortiers, une parfaite superposition reste relativement difficile à concevoir.

Dans le même ordre d'idée, peut-on voir, plus qu'une logique, une continuité dans l'évolution des mortiers d'un site à travers les différentes phases antiques de construction et de restauration ? Une évolution progressive et continue des types de mortier est peu réaliste si l'on considère l'ensemble de la chronologie et des matériaux d'un site, mais nous montrerons qu'il n'est pas rare que des portions du diagramme typochronologique des mortiers puissent témoigner de telles évolutions (cf. chap. II.4). La question qui se pose alors est d'en comprendre l'origine et la signification.

1.2.2. Avant les analyses

La première étape de l'étude est l'échantillonnage. Il s'agit d'un stade incontournable et complexe. Trois cas peuvent se présenter : effectué par l'analyste sur le site, effectué hors site sur un lot sauvegardé, ou réalisé par les archéologues. Le cas préférable est bien évidemment le premier. La présence du responsable de fouille est aussi très souhaitable lors du prélèvement. Cette phase de terrain est très importante ; il s'agit, par la minutie des observations, de repérer sur le site la gamme des mortiers mis en œuvre ainsi que leur répartition. Ceci n'est pas toujours aisé et il faut parfois se résoudre à réaliser un échantillonnage méthodique en plusieurs points de chaque maçonnerie ou structure, si les premiers regroupements ne peuvent se faire. Cette multiplication de points de prélèvement est liée à plusieurs facteurs. Tout d'abord, pour une même maçonnerie, elle s'explique par la structure tripartite de la majorité des murs gallo-romains en petits appareils nécessitant un échantillonnage à la fois des joints des parements et du blocage, par la possibilité de variations entre le liant employé en fondation et celui en élévation, ainsi que par les possibilités de reprises des murs. Il convient, en sus, de vérifier l'homogénéité du liant sur toute l'étendue d'un mur si ce dernier est d'une grande longueur. A l'échelle du site ou de l'édifice, l'exhaustivité de l'échantillonnage ne peut être approchée que si toutes les utilisations du mortier ont été repérées et échantillonnées, et cela pour chaque phase chronologique définie.

Dans le cas des enduits peints, il est préférable que le décor ait été préalablement déposé afin que l'intégralité du support conservé puisse être examinée avant prélèvement. C'est en général la découverte d'un ensemble de fragments de peintures murales qui se produit. Dans le meilleur des cas il sera tenté une reconstitution pour étude, préalablement à la restauration et à la mise à disposition du public. L'analyse du support pourra s'effectuer sur des fragments appartenant au décor, à la position d'origine connue dans la composition picturale, mais qui ne retrouveront pas leur place précise dans le puzzle.

De nombreuses informations doivent accompagner le prélèvement, afin d'éviter de se retrouver finalement avec une masse de données non exploitable. La liste des indications, non exhaustive, est :

- Date du prélèvement.
- Fonction précise (exemple : mortier de maçonnerie, en élévation, joint de parement).
- Position exacte du prélèvement (exemple : mur X, face nord, entre la 3^e et la 4^e assise au-dessus de la semelle débordante). Elle doit être reportée sur un plan.
- Phase de construction reconnue, datation attribuée.
- Description sommaire de l'échantillon (de sa couche picturale et/ou de ses formes si caractéristiques) et du mortier (exemple : mortier fin à sable siliceux, matrice de couleur beige).
- Numéro de la photographie correspondante.

Des fiches de prélèvement, au même titre que les fiches d'unité stratigraphique, peuvent être employées pour aider à l'enregistrement. Il est probable que la fiche soit incomplète lors de l'échantillonnage, les phases de construction, par exemple, n'étant pas toujours perçues lorsque les prélèvements sont effectués au cours de la fouille.

La dimension minimale de chaque échantillon n'est pas fixe. Il convient d'obtenir un volume qui permette par la suite d'exploiter au mieux la surface totale d'une lame mince. Cette lame de verre mesure 3 x 4,5 cm, pour seulement 2 x 3 cm réellement utilisés (surface souvent optimale de l'échantillon sur la lame). Cela correspond de façon approximative au volume d'un demi-pouce. On peut se contenter de moins si le matériau est à granulométrie fine, mais on risque de perdre en représentativité. Nous conseillons le prélèvement du volume d'un demi-poing afin de préserver une quantité satisfaisante de matériau non traité, pour analyses ultérieures et surtout pour conserver un témoignage de l'aspect macroscopique du mortier, aussi riche en informations qu'une lame mince.

Le mortier présent sur les sites archéologiques est ordinairement dans un piètre état de conservation (ce qui ne facilite pas son prélèvement). Une fois l'échantillon récupéré, il faut le conditionner. Un certain nombre de conseils a été prodigué pour la sauvegarde des fragments d'enduits peints (Barbet *et al.* 1990), surtout pour leur transport. Pour éviter les problèmes : pas de coton, pas de ruban-scotch, pas de papier, pas d'emballage souple, pas d'économie de boîtes (un échantillon par boîte), etc.. La couche picturale bénéficie évidemment de toutes les attentions, et la nature des échantillons peut expliquer toutes ces précautions. La seule remarque que nous ferons tient dans l'utilisation de boîtes rigides. Si les échantillons sont mal calés à l'intérieur de celles-ci, ils risquent de se choquer contre les parois. Les boîtes occupent aussi un volume plus grand qu'un lot de sacs à échantillon.

Le premier travail au laboratoire est la réception des échantillons. Plusieurs variantes peuvent être présentées, qui dépendent de la nature et de la rareté des objets récupérés. Par exemple, la photographie des échantillons devrait être systématique, mais nous ne l'avons pratiquée que lorsque les fragments présentaient des formes ou des stratigraphies peu communes ou représentatives. Tous les échantillons doivent être retirés de leur emballage et posés dans des portoirs afin de leur permettre de sécher, au moins quelques heures, à température ambiante (autour de 20°C). Une première observation à l'œil nu des échantillons doit alors se faire, afin d'établir une première caractérisation succincte du matériau et établir quelle partie de l'échantillon fera l'objet d'une préparation en lame mince. Si une fragmentation de l'échantillon n'est pas possible (volume trop petit), toutes les précautions devront être prises pour sa caractérisation maximale avant le passage chez le litholameleur, car le mortier est un matériau qui nécessite invariablement une induration à la colle, ce qui dénature son aspect extérieur et empêche toute tentative ultérieure d'analyse granulométrique ou par diffraction des rayons X.

1.2.3. Le choix des analyses

Le maître-mot dans le choix du cortège analytique est « l'adéquation » entre la cohorte d'analyses, les questions posées et l'objet. Devant la masse de techniques existantes et de combinaisons possibles, et effectivement testées, il suffit de compulsier les références de ces dernières années pour s'en rendre compte, on comprend vite qu'un même problème peut être résolu via différentes associations de techniques d'analyse. Ceci ne facilite en rien les tentatives de confrontation des résultats entre différentes équipes. Cela a notamment été critiqué au sein de la communauté travaillant sur la caractérisation des mortiers anciens pour leur restauration et pour le développement de matériaux de consolidation ou de remplacement (Goins 2000, Groot *et al.* 2000).

Mais c'est en archéologie que le problème est le plus sensible. Suivant les intervenants, leur discipline et les questions qu'ils se posent ou qui leur sont posées, la méthode et la mise en forme des résultats diffèrent à tel point que l'on ne peut pas toujours les confronter utilement.

La méthode analytique doit être capable d'aborder le matériau à différentes échelles, suivant plusieurs niveaux de détails. Elle doit pouvoir multiplier les informations sans nécessairement multiplier les techniques et les analyses. Comme il s'agit de matériaux

archéologiques, parfois relativement précieux (support d'enduit peint), la quantité de matériau doit pouvoir être restreinte au minimum représentatif² et les techniques doivent être les moins destructives possible.

Pour le choix du cortège analytique, notre étude de matériaux archéologiques doit beaucoup à l'expérience de ses artisans dans le domaine des Sciences de la Terre. Considérant les mortiers comme des roches reconstituées, dont les analogues naturels seraient les grès à ciment carbonaté, nous avons choisi d'employer les méthodes d'analyse communes en géologie, celles de la pétrographie des roches sédimentaires.

Les avantages de cette méthode reposent sur une considération simple : les « observations » offrent le plus grand nombre de critères et d'informations directement accessibles et soumis à la critique de l'analyste. La pluralité des méthodes d'analyse « optiques » est un atout majeur qui permet d'aborder le matériau à toutes les échelles. Parmi ces méthodes, citons les observations à l'œil nu sur échantillons bruts, les observations de lames minces au microscope polarisant en transmission et en cathodoluminescence, et l'examen en microscopie électronique à balayage de lames minces ou de petits fragments bruts (« fractographie »).

Outre les identifications des éléments du granulat, ces observations permettent d'observer la texture et la structure interne des mortiers ainsi que leur stratigraphie lorsque l'on est confronté à des enduits. Les éléments du granulat sont aussi mieux appréhendés que par toute autre approche, car leur « aspect » est aussi riche d'enseignements, voire plus important, que la simple mise en évidence de leur présence : c'est le cas pour l'argile, mais aussi pour l'identification des fragments mal cuits de pierre à chaux et les fragments d'autres mortiers présents en réemploi ou en pollution.

Le couplage de ces observations avec des techniques d'analyse physico-chimiques est de plus une possibilité fréquemment utilisée pour identifier des phases non-observables et pour contrôler et valider en partie les observations (tabl.I.1). Nous présenterons les principales techniques : la spectrométrie X (détecteur EDS), la cathodoluminescence, le traitement des images, la diffraction des rayons X et le dosage des éléments traces et majeurs (l'analyse granulométrique sera discutée dans le chapitre I.3.2b).

² La représentativité d'un échantillon est une question qui est abondamment et systématiquement discutée par chaque auteur, car la quantité minimale de matériel varie pour chaque technique d'analyse. Ainsi, l'analyse granulométrique demande plusieurs centaines de grammes d'échantillon. Dès lors que l'on considérera le granulat, le minimum représentatif de matériau dépendra directement de sa granulométrie, un béton (présentant une charge grossière) nécessitant plus de volume. L'utilisation de l'EDS couplé au microscope électronique à balayage peut s'effectuer sur de toutes petites esquilles ; mais on risque alors de se mettre hors représentativité en privilégiant une seule zone du matériau, ou une seule phase (la matrice).

Edifice ou étude	Echantillons	Lames minces	DRX	MEB/EDS	CL-optique	Analyses complémentaires	
Saint-Savin	22	22	1	-	-	-	
Roz Avel	Ensemble du décor	15	-	1	-	1 traitement micro-imagerie	
Fréjus	11	8	(8)	-	-	(2 analyses granulométriques)	
Périgueux	Ensemble du décor	1	-	1	-	-	
Vichten	Ensemble du décor	1	-	1	-	1 coloration à base d'alizarine	
Corseul	11	8	-	-	-	-	
Eu	6	4	-	-	-	-	
Rouen	Ensemble du décor	1	-	-	-	-	
Aix-en-Provence	Ensemble du décor	15	8	-	-	-	
Jerash	22	22	2	-	-	-	
Molesme	24	14	2	-	-	3 analyses éléments traces	
Faverolles	4	4	1	-	-	-	
Escolives-Sainte-Camille	84	50	-	-	-	-	
Allonnes	68	60	4	-	-	6 analyses granulométriques	
Vieil-Evreux	180 environ	123	5	7	-	5 analyses granulométriques	
Rungis	4	1	1	-	-	-	
Arles	Thermes	104	59	-	1	6	1 traitement micro-imagerie
	Théâtre	9	5	-	-	-	-
	Cryptoportiques	16	14	3	2	2	1 traitement micro-imagerie
	Amphithéâtre	9	8	3	6	4	2 dosages en liant
	Cirque	2	2	-	-	-	-
Ribemont-sur-Ancre	Construction RSA	42	37	5	-	-	-
	Peintures RSAEP	37	26	2	-	-	-
Amiens	1	1	-	-	-	-	
Lisieux	2	1	-	-	-	-	
Total	658	503	45	19	12	-	

Tabl.I.1. Nombre d'échantillons, de lames minces et d'analyses complémentaires pour chaque édifice ou étude.

I.2.4. Les techniques d'analyse

a) La microscopie optique en transmission (MOT)

Les observations des lames minces en MOT permettent d'identifier les populations de granulat et de vides, leurs proportions relatives et leur organisation. Ces informations peuvent, pour partie, être obtenues avec d'autres techniques d'analyse, modernes, plus puissantes et automatisées. Toutefois, la microscopie optique se distingue par la richesse des informations susceptibles d'être obtenues en une fois, et par la masse de données inaccessibles par d'autres moyens. Nous présenterons ces données spécifiques dans un second temps, après avoir expliqué la méthode de collecte des informations par observations en MOT.

1) La caractérisation d'un mortier de chaux

De la caractérisation du mortier dépend les comparaisons entre échantillons, préalables à la mise en place d'une typologie. Tous les échantillons ont donc été analysés sur les mêmes bases. Les critères les plus importants, ceux qui seront généralement repris dans les tableaux de synthèse, préparés pour chaque site, sont :

- La couleur de la matrice à l'œil nu.
- La proportion chaux/granulat.
- La proportion de macroporosité (s'il est possible de la chiffrer).
- Le pourcentage sur la lame mince de chaque famille de granulat.
- Les intervalles granulométriques principaux de chaque famille de granulat.
- La forme des grains.

Il ne s'agit là que des principales données, celles susceptibles de fournir les bases d'une classification typologique.

- Les formes des grains

Celles-ci sont importantes à la fois pour découvrir l'origine du granulat (par comparaison avec les formations géologiques locales) et pour envisager l'éventualité d'un broyage de la formation exploitée. Le domaine des Sciences de la Terre s'est doté d'une

classification de la forme et de l'angularité des grains particulièrement détaillée (fig.I.2). Nous l'avons rarement appliquée dans son intégralité. Les catégories usitées sont « arrondis », « subarrondis ou subanguleux » et « anguleux », pour des grains sphériques ou non sphériques.

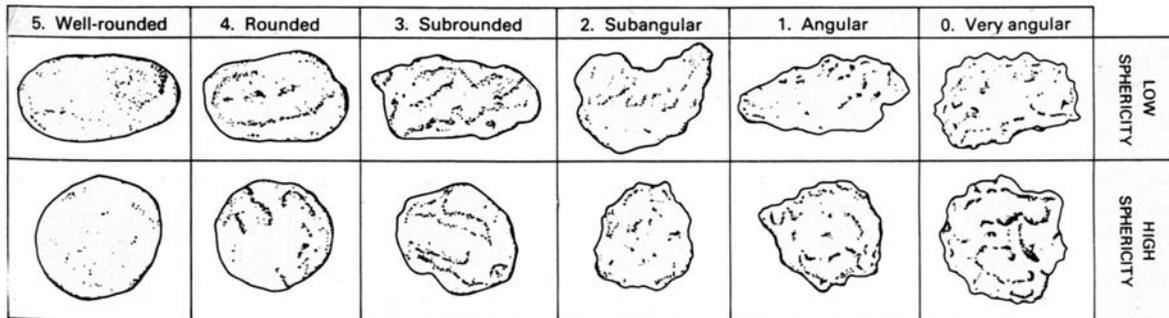


Fig.I.2. Exemple de classification de la forme des grains (d'après Pettijohn *et al.* 1973).

- Intervalles granulométriques et tri

Il n'est pas possible d'obtenir par observations des lames des informations aussi précises qu'après analyse granulométrique par passage dans une colonne de tamis³, après désagrégation du matériau. Les données « statistiques » de classification des sables, obtenues par analyse des courbes granulométriques, sont donc aussi exclues.

Les observations des lames minces ne sont toutefois pas inintéressantes. Un simple regard peut nous informer sur le tri du granulat, voire de la formation géologique exploitée s'il n'y a qu'une seule source de grains n'ayant pas subi de traitement par lavage ou tamisage. La figure I.3 illustre différentes gammes de tri.

L'étude de la granulométrie de la charge des mortiers s'intéresse à deux points bien précis et caractéristiques, à savoir les bornes de l'intervalle (le plus petit et le plus gros diamètre de grain) et le « sous-intervalle » représentant la majorité des grains, traduit généralement dans le texte par « nombreux grains au diamètre compris entre...et... ».

Ces informations suffisent à qualifier la granulométrie d'une charge d'un mortier. Ce travail peut de surcroît être effectué pour chaque famille de granulat.

³ Voir la discussion de la méthode d'analyse granulométrique dans le chap. I.3.2b.

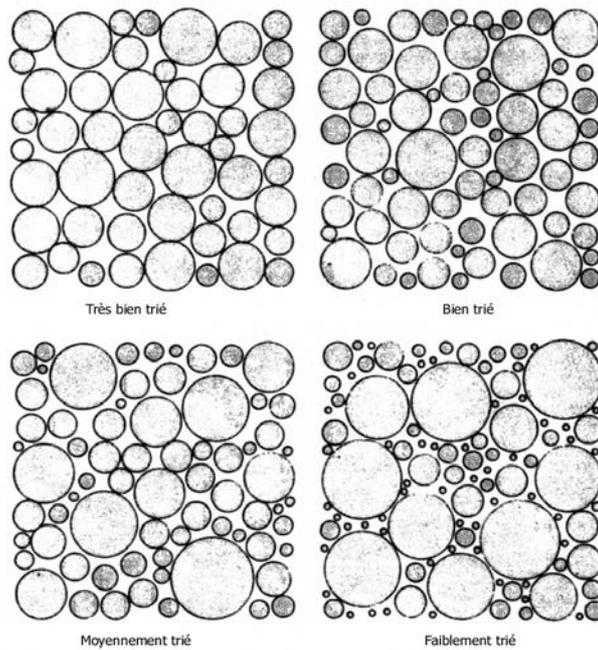


Fig.I.3. Illustrations des différentes catégories de tri d'un granulat dans une lame mince (d'après Pettijohn *et al.* 1973).

- Le pourcentage de grains et de porosité

Tout comme les deux domaines évoqués précédemment, des chartes visuelles ont été définies afin d'aider les analystes, lors de leurs descriptions des lames minces, à déterminer la proportion des grains présents dans les roches (fig.I.4). Ces chartes permettent de définir la teneur (le volume) en granulat à 5 % près ($\pm 5\%$), jusqu'à une teneur de 50 %. Même si aucun travail n'a été fait spécifiquement dans ce sens, la justesse des observations a pu être testée plusieurs fois, par comparaison avec des lames de référence ou par analyse d'images (cf. *infra*). La marge d'erreur est en moyenne de 5 %, et elle est toujours inférieure à 10 %.

Le domaine des mortiers de chaux recense de fréquents mélanges où la proportion de granulat dépasse les 50 % de surface de la lame. S'il est possible de découper le granulat en plusieurs familles, la teneur totale résultera de l'addition des différents composants. Si un seul est visible, un travail de décomposition par gammes granulométriques pourra éventuellement s'envisager. La mention « > 50 % » sera sinon indiquée⁴.

Le problème est sensiblement le même pour la porosité, à cela près qu'elle se présente rarement telle un ensemble de petits vides dispersés, mais plutôt comme un ensemble diversifié aux multiples ramifications, avec des vides polyconcaves ou arrondis, des fissures ou de véritables fractures, des vides remplis et des éléments tendres disparus. Cette

⁴ Il existe en microscopie des méthodes de comptage automatisé ou manuel des éléments par quadrillage de la lame mince. Le volume total des grains est retrouvé par calcul mathématique. Nous n'avons pas eu accès à ces méthodes.

macroporosité, dont on pourrait fixer la dimension inférieure vers quelques dizaines de μm , sera la seule prise en compte lors des observations.

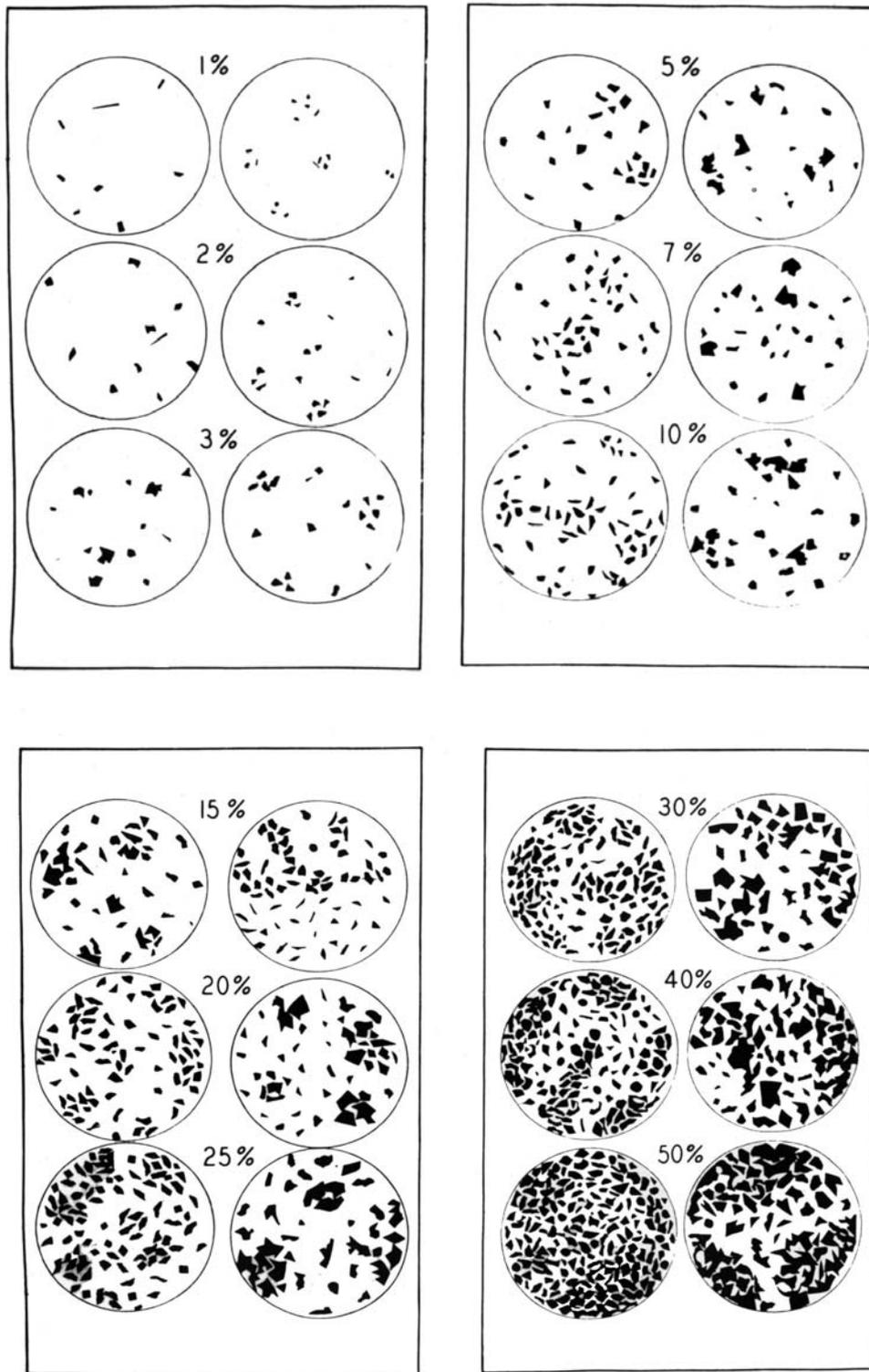


Fig.I.4. Chartes visuelles d'estimation des teneurs en grains sur une lame mince (d'après Terry & Chilingar 1955).

- La proportion chaux/granulat

Après observation des lames minces, la teneur en granulat est toujours indiquée (sous forme de pourcentages), obtenue grâce à l'utilisation des chartes visuelles qui permettent d'établir une valeur à plus ou moins 5 %. En revanche, la teneur de la porosité est souvent indiquée par une échelle réduite à sa plus simple expression : porosité « abondante » ou « faible », voire passée sous silence, son organisation ne permettant pas de se faire une idée précise de la proportion exacte. De fait, établir la proportion chaux/granulat, à partir des observations de la surface d'une lame, peut devenir problématique. Dans ces cas particuliers plusieurs solutions existent. Tout d'abord il existe une solution analytique par traitement d'image après cartographie élémentaire au microscope électronique à balayage. C'est une technique puissante que nous détaillerons plus loin (cf. chap. I.2.4d) ; elle n'a pas souvent été appliquée car nous l'avons développée tardivement et il s'agit d'une méthode relativement lourde d'utilisation, elle ne peut s'employer sur la totalité des échantillons. Une autre méthode donne des résultats plus rapides : la comparaison avec des lames minces de référence aux proportions connues, avec plusieurs abondances possibles de porosité. Bien que le nombre de ces lames soit limité (elles proviennent de l'étude de la fresque expérimentale de Saint-Savin, cf. *infra*), les références de rapport chaux/granulat sont assez nombreuses, avec des exemples pour des proportions 1:1 ou 1:2 ou encore 1:3 (1 volume de chaux pour 1, 2 ou 3 volumes de sable).

- La coloration de la matrice à l'œil nu

Le domaine des mortiers de chaux gallo-romains présente un nombre particulièrement limité de matériau de matrice parfaitement blanche. La coloration des mortiers n'est pas liée à l'emploi d'un abondant granulat coloré, il s'agit bien d'une caractéristique du liant.

La teinte que présente un mortier de chaux est une caractéristique primordiale, un critère « typogène » de première importance, pour une raison simple : la coloration est le plus souvent directement liée aux réactions physico-chimiques intervenues (avec le temps ?) entre le granulat et la chaux. Tous les granulats ne sont pas également réactifs avec la chaux, et cette réactivité dépend aussi de la surface totale de contact avec le liant (la surface spécifique*). C'est pour cela que les argiles sont parmi les éléments les plus colorants. Les exemples sont variés, mais le meilleur reste celui du Vieil-Evreux (cf. *infra*) avec une coloration ocre des mortiers lorsque les argiles pédologiques présentes dans la matrice sont orangées, et beige jaunâtre lorsque les argiles sont jaunes. C'est pour cela aussi que les

mortiers contenant du tuileau sont de coloration rose, tandis que de nombreux bétons de tuileau, à gros fragments de terre cuite, sont à matrice blanche.

La couleur des mortiers oblige toutefois à la méfiance car plusieurs événements peuvent entraîner des changements de coloration. Le premier est la chauffe. Les mortiers contenant de l'argile sont les plus à même de changer de couleur au contact de fortes températures, la transformation la plus courante étant le passage d'une teinte jaune à une teinte rubéfiée⁵. L'humidité peut aussi perturber sur le terrain le travail de l'analyste, en accentuant les teintes et les contrastes. Un simple séchage après prélèvement permet de s'en libérer.

La couleur peut se caractériser grâce à des chartes de couleur, sous forme de codes qui pourront permettre des comparaisons entre divers matériaux sans pour autant avoir tous les échantillons en main. Le code Munsell est le plus utilisé. Nous avons pu employer la charte établie pour la description des roches qui reprend l'essentiel des couleurs de la charte de description des sols pédologiques. Toutefois, il nous est vite apparu que les variations de coloration des mortiers étaient plus fines que celles retranscrites sur les chartes. La codification a tout de même été employée lorsque des correspondances étaient possibles.

2) Les apports spécifiques de l'observation en MOT

- Les critères d'identification de l'origine du granulat

Si la nature du granulat est relativement aisée à établir, l'identification de son origine est plus délicate. Le premier travail consiste à repérer les familles de granulat dont la source est à rechercher dans l'environnement naturel, et celles témoignant de pratiques de récupération.

Le sable prélevé dans l'environnement géologique doit présenter des caractéristiques identiques à celles de la formation géologique interprétée comme source. Toutefois, après comparaisons, les observations peuvent mettre en évidence un traitement particulier de la matière première, tel un lavage, un tamisage ou un broyage (cf. chap. III.2.1).

La qualification de « sable de carrière » ou de « sable de rivière » est fondamentale pour la comparaison des pratiques avec les indications des textes antiques. Il n'est pas toujours facile d'effectuer la distinction. La présence de coquilles de mollusques actuels est

⁵ La texture d'un mortier contenant de l'argile peut aussi changer par chauffage, avec le passage d'un contact crayeux à un contact plus proche de la terre cuite. Pour de plus amples informations sur l'altération par le feu de mortiers de chaux, voir Béarat 1993.

un bon élément en faveur d'un sable alluvionnaire (fig.I.5), tandis la présence d'argile d'illuviation* autour des grains ou dispersée dans le liant (fig.I.6) indiquera à coup sûr l'exploitation d'une formation sableuse en carrière, jusqu'à des niveaux relativement profonds (jusqu'à quelques mètres). D'autres critères existent, mais la comparaison des caractéristiques du granulat avec celles des formations géologiques locales reste la meilleure méthode.

La calcite est le minéral le plus abondant dans les mortiers de chaux puisque la matrice du matériau se carbonate à nouveau (cf. I.3.2). Il faut bien distinguer cette calcite microcristalline d'une calcite en grains qui peut se trouver dans la charge. L'observation de ces cristaux est de première importance, puisque ce granulat est connu pour provenir, du moins dans les enduits peints, du broyage de marbre. Il est aisé en lame mince de reconnaître les cristaux de calcite ayant subi un broyage puisqu'ils présentent des sections à côtés rectilignes, généralement de clivage (fig.I.7).

Néanmoins, il faut signaler qu'il est de prime abord difficile de faire la distinction entre un broyage de marbre blanc et celui de veines de calcite, puisque le résultat peut être dans les deux cas des monocristaux de calcite.

Il existe de nombreuses variétés de marbres, colorés ou blancs. La caractérisation de la provenance des marbres blancs est un domaine complexe en soi. Des banques de données sont créées afin d'établir des « empreintes digitales » de chaque marbre, en provenance des principales carrières antiques, par couplage des informations les plus discriminantes qui semblent être le microfaciès en pétrographie optique et en cathodoluminescence et les signatures isotopiques en ^{18}O et ^{13}C (Lapiente *et al.* 2000, Barbin *et al.* 1989, Manfra *et al.* 1975). Cette méthodologie n'a pas été appliquée à l'étude des cristaux de calcite présents dans les mortiers anciens. Sa mise en œuvre pose des difficultés notamment liées à la fragmentation du matériel originel (perte des informations concernant le microfaciès).

Toutefois, sans aller aussi loin dans l'identification de l'origine du marbre, il nous semble possible d'effectuer des différenciations entre des cristaux issus de veines de calcite et ceux de marbre. En effet, cette roche est issue d'un processus de transformation par métamorphisme (déformations et/ou recristallisations sous l'effet d'un changement de température et/ou de pression). La texture et la microstructure des cristaux de calcite reflètent globalement le stade final de déformation lors de la baisse des températures (Kurz *et al.* 2000). Les cristaux de calcite constituant les marbres, voire les fragments de marbre, doivent donc révéler à l'observation, dans les mortiers, certaines caractéristiques propres à cette roche, voire à son histoire géologique (de nombreuses études ont porté sur leurs changements de

texture et microstructure suite à des processus tectoniques ; Busch & van der Pluijm 1995, Bestmann *et al.* 2000). Ces caractéristiques sont : une faible dimension des cristaux, des limites polygonales ou en dents de scie, une orientation dans l'organisation ou la forme des cristaux (pour les fragments polycristallins), la présence de macles polysynthétiques (et éventuellement mise en évidence de leur déformation) et une extinction onduleuse. L'identification du marbre ne pourra néanmoins se faire que lorsque plusieurs de ces critères seront observés. Pour exemple, la seule présence de macles polysynthétiques ne peut être considérée comme un bon critère d'identification du marbre puisqu'elles peuvent se former rapidement sous l'effet d'une faible pression, identique à celle d'un broyage (!). Leur absence milite en revanche pour une exploitation de veines de calcite.

Il nous faut cependant signaler ici qu'il s'agit plus d'un postulat que d'une technique avérée de différenciation optique de cristaux de marbre et de veine, car les veines de calcite peuvent subir des déformations après leur formation, et le marbre, formé sous l'effet de contraintes thermiques plus que mécaniques, peut être relativement dépourvu de toutes ces caractéristiques.

Un autre problème est posé par les cristaux de calcite : leur distinction avec les cristaux de dolomite (un carbonate double de calcium et de magnésium aux propriétés optiques proches). Lorsque la présence des deux familles de minéraux est pressentie, une coloration de la lame mince est effectuée. La plupart des techniques de coloration dépendent du fait que la calcite est aisément soluble dans l'acide chlorhydrique (HCl) dilué, tandis que la dolomite ne l'est pas. Nous avons employé, lorsque le cas s'est présenté à nous (enduits peints de Vichten, chap. II.1/H), un colorant obtenu par dissolution d'alizarine et de ferricyanure de potassium dans une solution d'acide chlorhydrique à 1,5 %.

- Identification des « grumeaux », nature de la pierre à chaux

Les mortiers présentent souvent des petites pustules blanches qui correspondent à des nodules de chaux non mélangés au reste de la matrice. Ces « grumeaux » découlent de malfaçons intervenues durant la chaîne opératoire. Lorsqu'il s'agit de chaux mal mélangée, l'identification est aisée, le grumeau se présentant comme un nodule de poudre blanche. La texture en lame mince sera fine, microcristalline (fig.I.8), avec une coloration sombre en lumière polarisée non analysée (LPNA), et des teintes de biréfringence en lumière polarisée et analysée (LPA) tirant légèrement vers le bleu (trait caractéristique des calcaires chauffés).

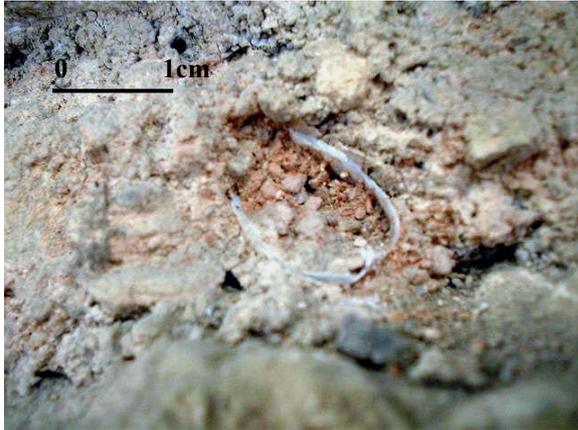


Fig.I.5. Coquille actuelle dans un mortier de chaux, de sable et de tuileau de la villa d'Escolives-Sainte-Camille (Yonne).

Fig.I.6. Argiles d'illuviation préservées dans un mortier de chaux et de sable quartzes des thermes du Vieil-Evreux (Eure). Echantillon IIIOR01. Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA).

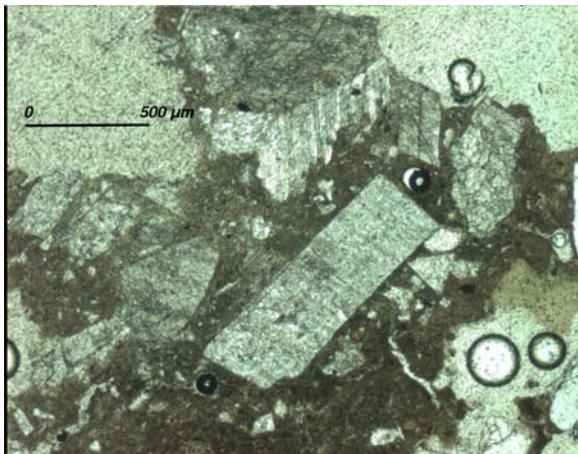
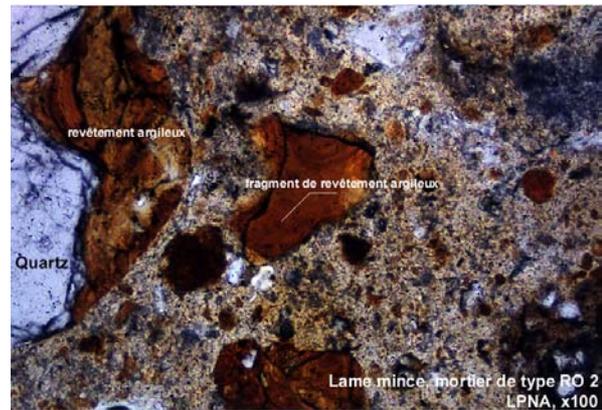
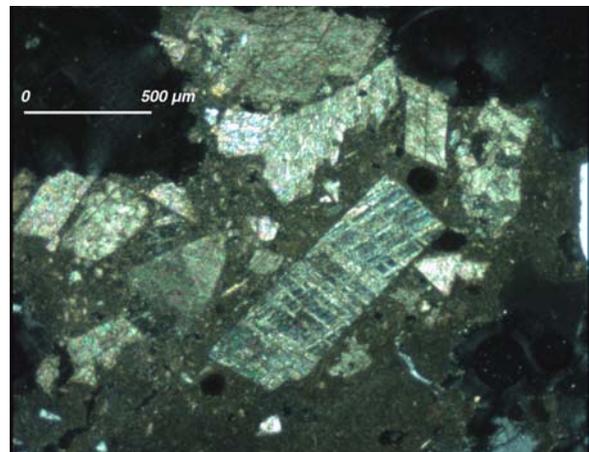


Fig.I.7a. Monocristaux anguleux de calcite. Mortier de chaux des thermes de l'Esplanade (Arles), échantillon QDE70. Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA).

Fig.I.7b. Idem. Lumière Polarisée et Analysée (LPA).



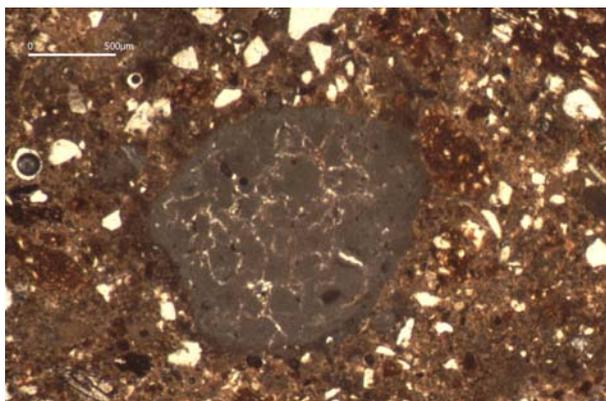


Fig.I.8a. « Grumeau » dans un mortier de chaux et de tuileau. Enduit peint, échantillon PER 1 (Périgueux). LPNA.

Fig.I.8b. Idem. LPA.

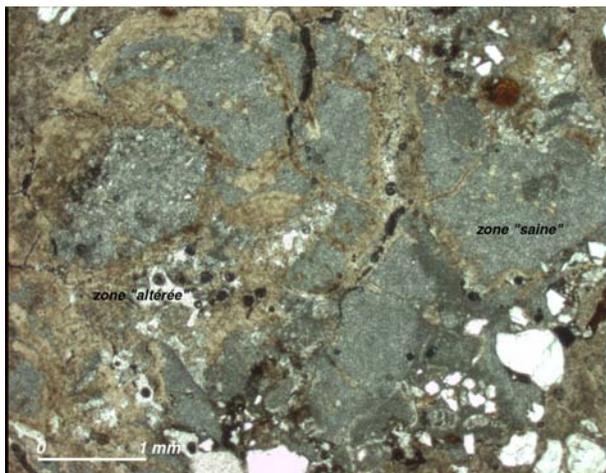
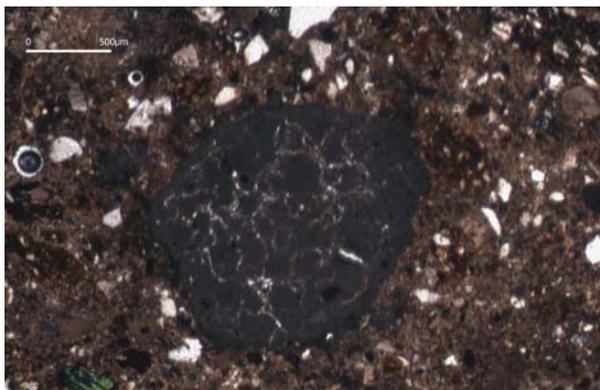
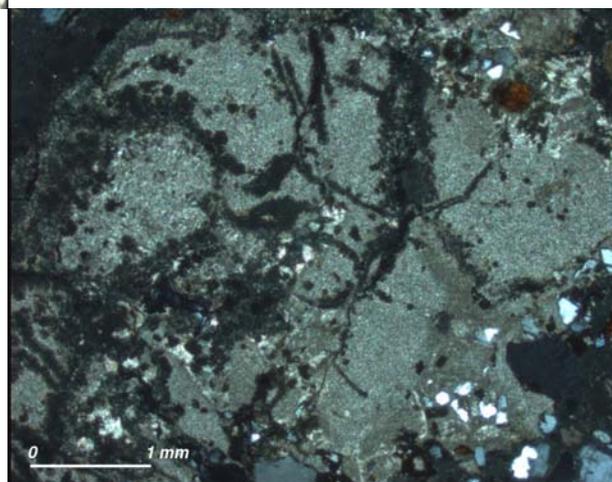


Fig.I.9a. Grumeau avec vestiges de calcaire « incuit », dans un mortier de chaux et de sable. Echantillon QDE 57, thermes de l'Esplanade (Arles). LPNA.

Fig.I.9a. Idem. LPNA.



Lorsque le grumeau correspondra à un « incuit » (un fragment de calcaire mal cuit), des reliquats de sa structure originelle et des restes d'organismes fossiles pourront être observés, permettant, dans le meilleur des cas, de remonter à la formation géologique exploitée pour fournir la pierre à chaux (fig.I.9).

- Diversité des fragments de tuileau

Le monde gallo-romain est riche en matériaux à base de chaux et de tuileau (fragments de terres cuites architecturales). La très grande majorité des fragments retrouvés dans les mortiers et bétons sont relativement proches d'aspect à l'œil nu, avec surtout des colorations ocres. L'observation des lames montre au contraire toute la variété de cette famille d'agrégat (fig.I.10), d'un échantillon à l'autre mais aussi, suivant les types de mortiers, au sein d'un même échantillon (fig.I.11).

- La paille et les charbons de bois

La paille et les charbons de bois se repèrent aisément à l'œil nu, sur échantillon brut. Les charbons sont tout aussi visibles en lame mince (fig.I.12). En revanche, la paille peut poser problème car les éléments végétaux ont disparu, ne laissant que leur empreinte dans la matrice (fig.I.13) ; il s'agit alors de pouvoir interpréter ce qui ne paraît plus que sous forme de vides, aux formes généralement caractéristiques (fig.I.14).

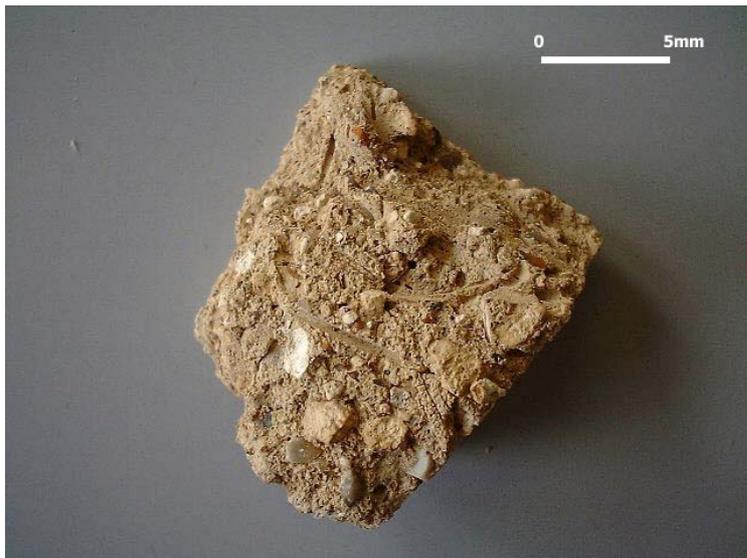


Fig.I.13. Paille dans un mortier de préparation d'enduit peint du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (Somme), échantillon RSAEP 10, couche (c).

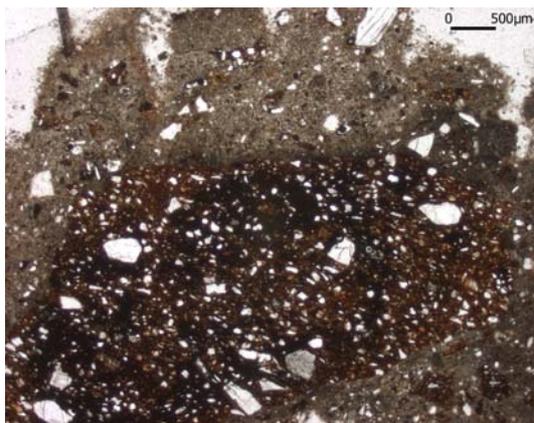


Fig.I.10a. Elément de tuileau à dégraissant quartzeux, enduit peint, échantillon RSAEP 11, couche (a), sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (Somme). LPNA.

Fig.I.10b. Idem. LPA.

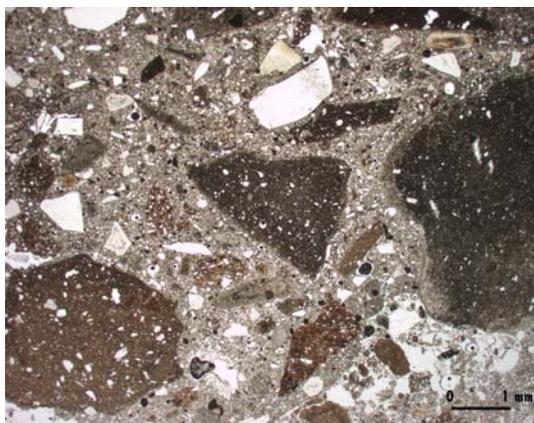
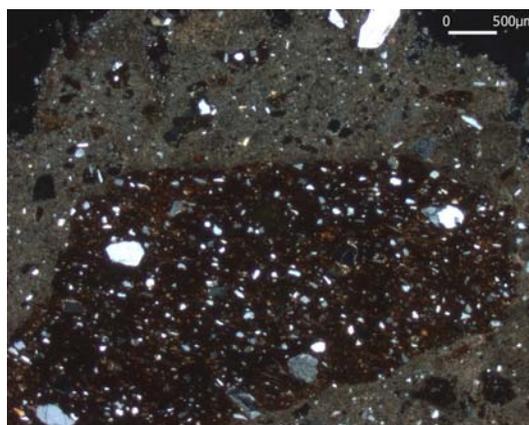
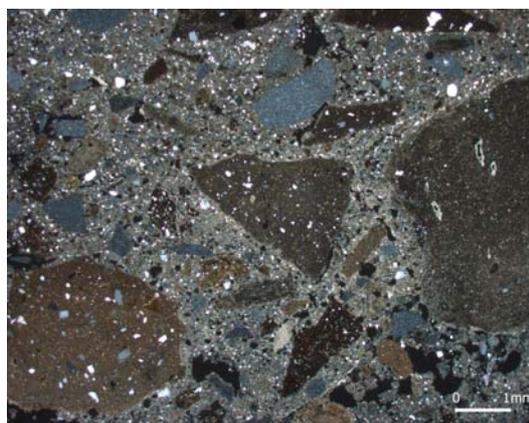


Fig.I.11a. Mélange de plusieurs natures et formes de fragments de tuileau. Couche d'enduit peint, échantillon RSAEP 11, couche (b), sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (Somme). LPNA.

Fig.I.11b. Idem. LPA.



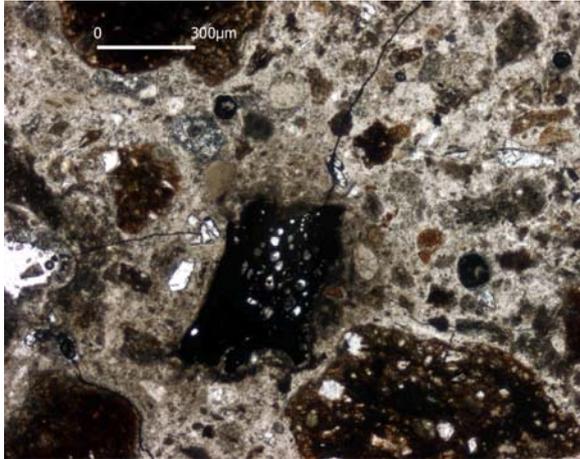


Fig.I.12a. Charbon de bois isolé dans une couche de mortier de tuileau. Enduit d'égout, thermes du Vieil-Evreux (échantillon EN 01). LPNA.

Fig.I.12b. Idem. MEB (bse).

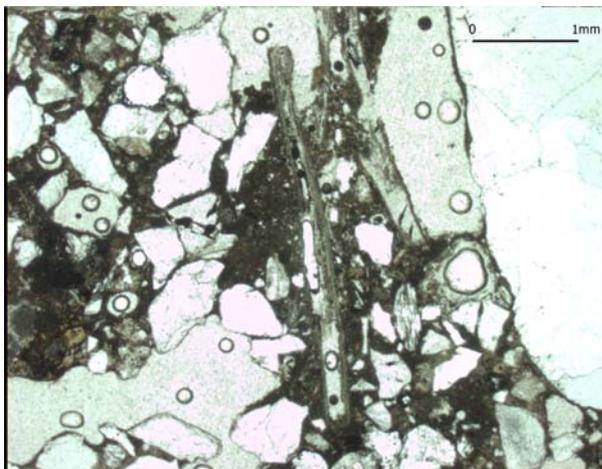
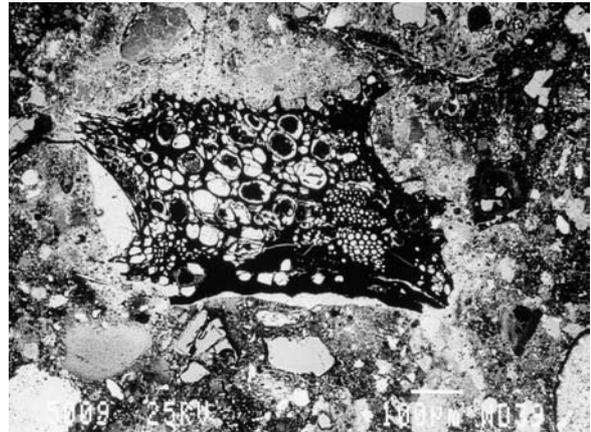
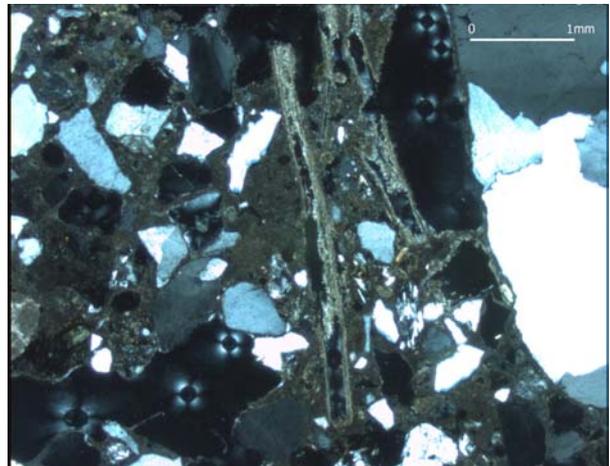


Fig.I.14a. Vide caractéristique de la disparition d'un végétal. Mortier de maçonnerie des thermes de l'Esplanade (Arles), échantillon QDE 79. LPNA.

Fig.I.14b. Idem. LPA.



- Fragments de mortier

C'est un des points remarquables de l'analyse pétrographique : l'identification d'éléments de mortier allochtone en petits fragments dispersés dans la matrice de l'échantillon étudié. L'identification se fait généralement en lame mince, permettant de retrouver à l'œil nu de tels éléments, car l'analyste est de suite renseigné par une organisation et/ou une nature différentes du granulats et, éventuellement, par un aspect différent de la matrice (fig.I.15). Bien que, signalons-le, ces fragments ne soient jamais nombreux dans nos échantillons, on comprend de suite les problèmes qu'ils poseraient lors d'une étude chimique ou granulométrique globale du mortier.

- Structure du matériau et orientations du granulats et des vides

Le granulats et les vides ne présentent pas une organisation aléatoire, ils témoignent au contraire des phénomènes de préparation et de mise en place du mélange. Les observations en MOT informent sur cette organisation.

Un regard plus particulier est porté sur la répartition de la charge et des vides, son homogénéité indiquant un bon brassage lors du gâchage et permettant à l'analyste de travailler sur l'étendue de la lame mince (considérée comme caractéristique du mortier observé ; fig.I.16). Des concentrations de grains ou pores peuvent parfois renseigner sur la présence de zones de transition entre deux gâchées ou entre deux couches pour un enduit (fig.I.17). C'est dans ces plages que l'orientation des éléments est la plus fréquente, parallèlement à la surface d'aplatissement (fig.I.17), témoignant des pressions exercées sur le matériau lors de sa pose. L'orientation peut affecter l'ensemble de l'épaisseur de la couche, pour un enduit, montrant par là tout le soin apporté au lissage du mortier (fig.I.18).

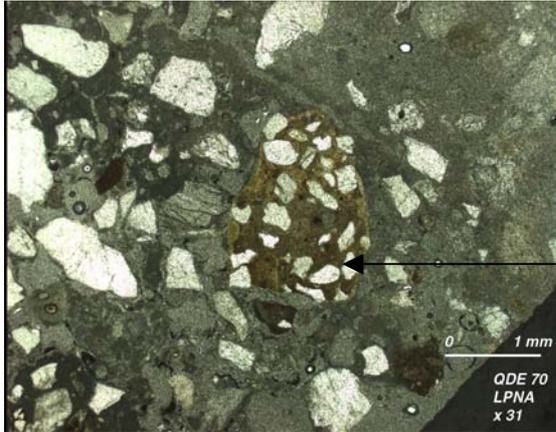


Fig.I.15a. Nodule de mortier dans un mortier de chaux et de sable des thermes de l'Esplanade (Arles), échantillon QDE 70.

nodule

Fig.I.15b. Fragment de mortier de chaux et monocristaux de calcite dans un mortier grossier, à gravelles de craie. Support d'enduit peint du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre, échantillon RSAEP 27, couche (b). LPNA.

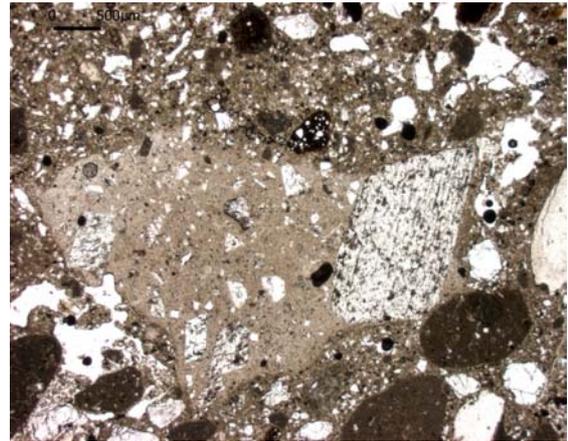
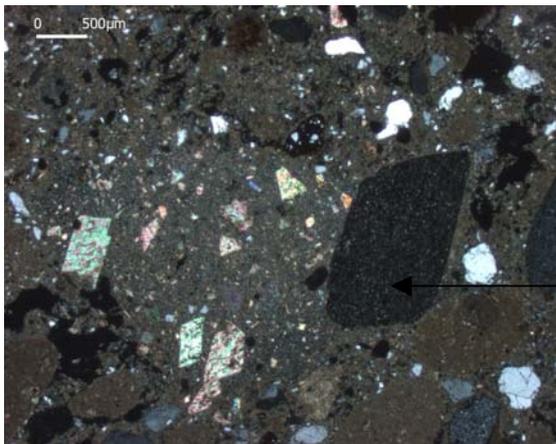
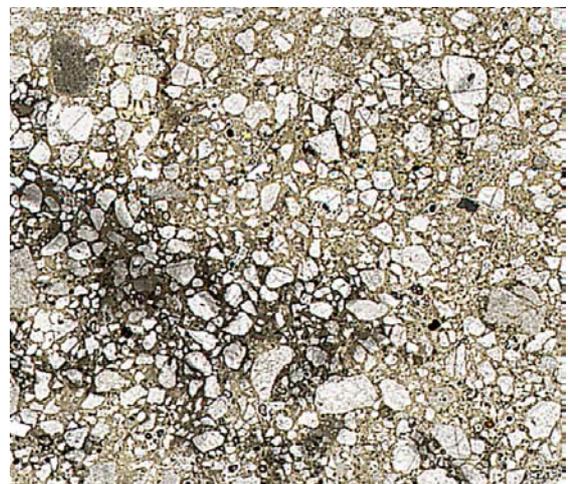


Fig.I.15c. Idem. LPA.



Monocristal de calcite

Fig.I.16. Répartition homogène du granulat illustrée par un scan d'une lame mince de mortier de chaux et de sable d'un mur du sanctuaire d'Allonnes, échantillon ALL 12. (dimensions : 2,25 x 2 cm)



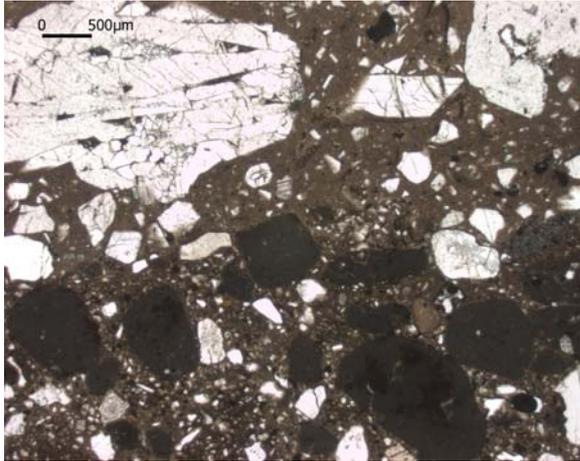


Fig.I.17. Concentration et orientation de grains en limite de deux couches de support d'enduit peint, échantillon RSAEP 27, sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (Somme). LPNA.

Fig.I.18. Orientation générale des cristaux de calcite sur toute l'épaisseur d'une couche de support d'enduit peint, échantillon Aix-P2 (Aix-en-Provence). LPNA.

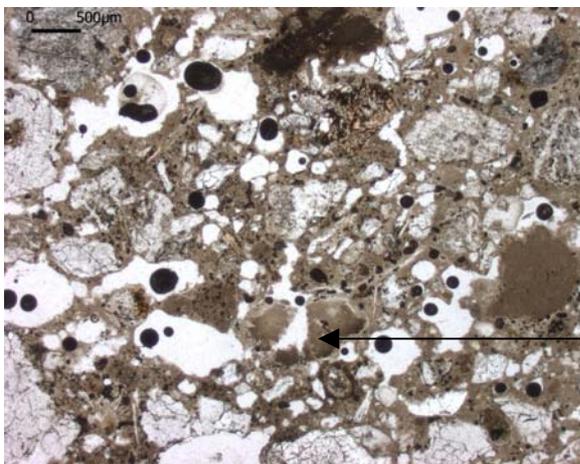
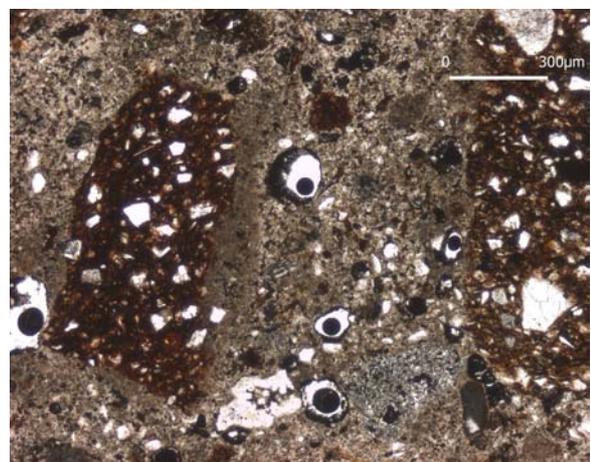


Fig.I.19. Vides polyconcaves (en blanc). Un grumeau a partiellement disparu au centre. Enduit peint de Roz Avel, échantillon ROZ 13, LPNA.

grumeau

Fig.I.20. Vides arrondis dans un mortier de chaux et de tuileau. Enduit peint, échantillon RSAEP 11, couche (b), sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre. LPNA.



- Porosité : formes et remplissages

Si la concentration des vides sur une ligne permet de supputer une limite de pose, la forme des pores nous renseigne sur leur nature. Plusieurs types de vides sont visibles dans les mortiers. Certains témoignent de la disparition d'un granulat, tel un grumeau ou un fragment végétal (fig.I.14). D'autres sont liés à la mise en œuvre du mélange, avec des formes polyconcaves en rapport avec la forte humidité du mélange lors de sa pose (fig.I.19), ou des formes arrondies signifiant la persistance de bulles d'air dans le liant mis en œuvre (fig.I.20). Les fissures s'observent aussi de façon fréquente, témoignant de phénomènes de retrait lors du séchage ou de la prise (fig.I.21), ou reliant des zones de faiblesse créées par un mauvais contact chaux-granat (généralement autour des plus gros grains ; fig.I.22).

La porosité est le siège de la circulation de fluides qui peuvent parcourir le mortier durant toute son existence et qui revêtent une grande importance dans la taphonomie du mortier. Si certains matériaux peuvent se désagréger après dissolution de leur matrice, d'autres se voient au contraire renforcés par la cristallisation de calcite secondaire se déposant sur les parois (« hyporevêtements gris micritisés » ; Wattez *et al.* 1998). La cristallisation est centripète et va parfois jusqu'à remplir totalement les vides et les fissures (fig.I.23), diminuant ainsi la porosité globale du liant. Cela témoigne de la circulation de fluides chargés en calcium (en HCO_3^-) et d'une ambiance fraîche et humide prolongée.

- Stratigraphie des enduits et des sols : identification et caractéristiques des limites des couches et des « sous-couches »

Les limites de couches ou de sous-couches (même mortier posé en plusieurs fois) se révèlent en microscopie, parfois là où les observations à l'œil nu n'avaient rien distingué. Outre les concentrations de grains ou de vides déjà évoquées, la présence d'un fin liseré sombre en LPNA et LPA est parfois observé (fig.I.24). L'étude de ce liseré en microscopie électronique nous a révélé sa nature exacte ; il s'agit d'un niveau de carbonate de calcium (fig.I.25), à cristaux de calcite microcristalline. L'origine de cette cristallisation de surface est due à l'exsudation d'eau chargée de calcium après lissage de la couche, la pression exercée faisant ressortir une partie de l'eau de gâchage. Le commencement de la carbonatation de ce niveau de surface avant la pose de la couche suivante entraînera la formation d'un film de calcite (*lime skin*, Häfner 1996).

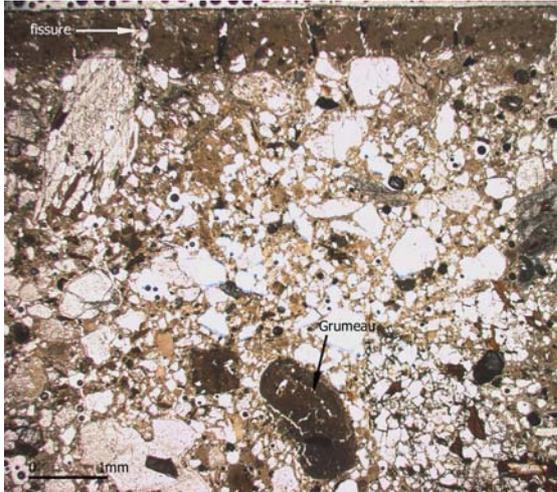


Fig.I.21. Fissures de retrait dans une couche d'épiderme, pauvre en granulat. Enduit peint, échantillon COR 10 (Corseul). LPNA.

Fig.I.22. Fissures de retrait autour des éléments du granulat, enduit peint, échantillon Aix-P2 (Aix-en-Provence), couche (c). LPNA.

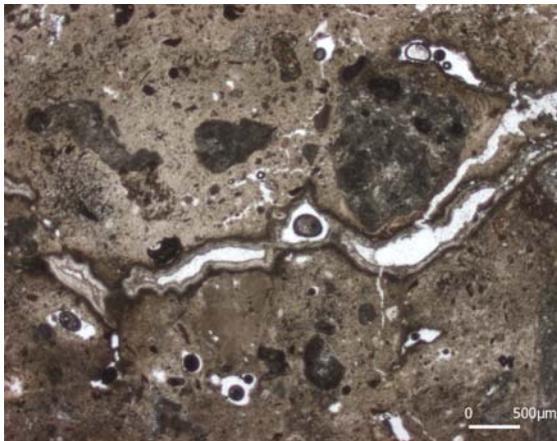
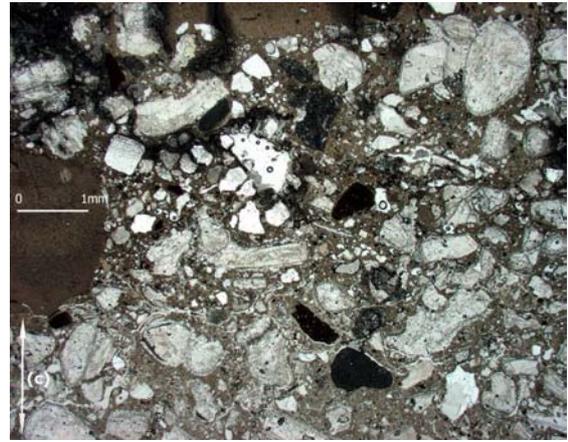


Fig.I.23a. Cristallisations de calcite sur les parois d'une fissure. Enduit peint, échantillon TZJ 31 (Sanctuaire de Zeus, Jerash, Jordanie). LPNA.

Fig.I.23b. Idem. LPA.



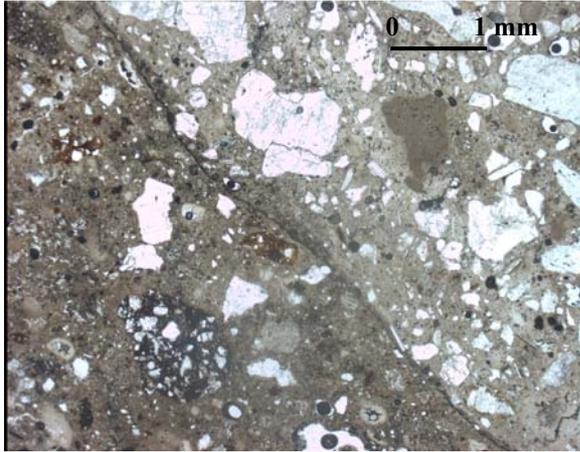
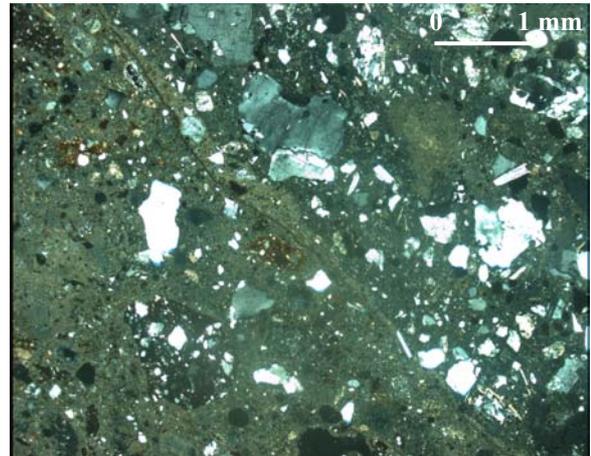


Fig.I.24a. Limite entre deux couches de support d'enduit peint, soulignée par un fin liseré sombre. Echantillon ROZ 11 (Roz Avel). LPNA.

Fig.I.24b. Idem. LPA.



tuileau

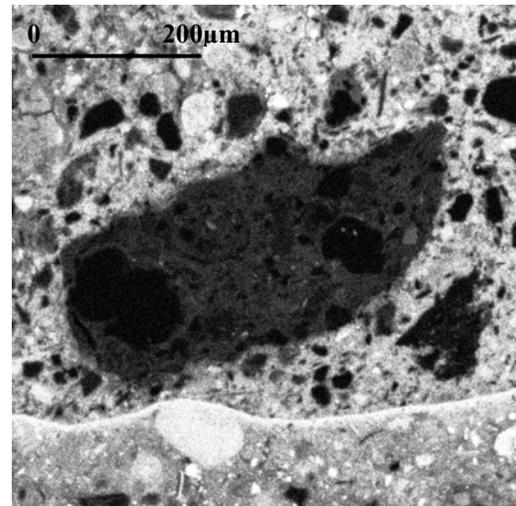
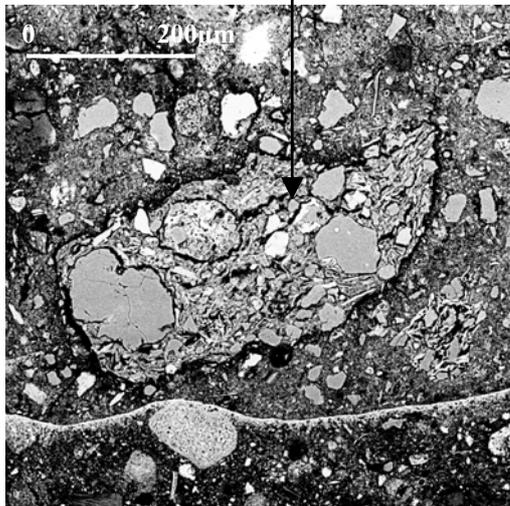


Fig.I.25. Images au MEB du liseré sombre (échantillon ROZ 11) révélant une concentration de calcium en ce niveau précis. Image en électrons rétrodiffusés (à gauche) et carte de répartition du calcium (à droite). L'abondance du calcium est illustrée par les plages claires.

b) La microscopie électronique à balayage (MEB) et la fluorescence X (détecteur EDS)

Le principe de la microscopie électronique est le bombardement d'une matière par un faisceau d'électrons. Par interactions, la matière va émettre plusieurs types de rayonnements qui porteront chacun un type d'information : les électrons secondaires donneront une image topographique de la zone observée, les électrons rétrodiffusés, plus énergétiques, donneront une image en « contraste chimique », c'est-à-dire que les zones enrichies en éléments chimiques lourds apparaîtront plus claires que celles à éléments légers. Outre des électrons, la matière émettra des rayons X ; c'est le principe de la fluorescence X. Les rayons X sont collectés par un détecteur EDS (*Energy Dispersive System*) permettant d'effectuer des analyses chimiques élémentaires semi-quantitatives, voire quantitatives, ponctuelles (spectres) ou sur l'intégralité de la zone observée (carte de répartition des éléments chimiques).

Les acquisitions ont été réalisées à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6) par M. Philippe Blanc, sur lames minces polies (épaisseur du matériau : 30 μm), non couvertes, après métallisation au carbone⁶. Les observations en électrons rétrodiffusés ont été effectuées avec un *Jeol 840 A Tetralink Oxford*. Les analyses de fluorescence X ont été réalisées grâce à un détecteur *EDS II Oxford windowless*.

Nous avons employé ces techniques pour l'étude de la composition et de l'homogénéité de la matrice des mortiers de chaux, pour la mise en évidence et l'analyse de zones de réactions entre la chaux et le granulat, et pour l'identification des éléments fins du granulat (il est possible, théoriquement, d'effectuer des grossissements jusqu'à x300 000).

c) La cathodoluminescence optique (CL)

La cathodoluminescence (CL) est l'émission de photons par un centre luminogène (défaut dans le réseau cristallin : impuretés, terres rares et éléments de transition) en réponse à une excitation par bombardement électronique. Les ions des métaux appartenant aux éléments de transition, tel que le Mn^{2+} (manganèse, couche 3d insaturée), sont particulièrement sensibles à l'excitation et se révèlent efficaces dans la production de photons. Dans les

⁶ L'interaction électron-matière conduit à des effets d'accumulation de charges à la surface de l'échantillon. La présence d'une fine couche de métallisation (carbone, or ou or-palladium) permet l'évacuation de ces charges. Une métallisation au carbone a donc été systématiquement effectuée avant les analyses. Il ne semble pas qu'elle constitue une gêne pour l'analyse qualitative de la teneur en C, au regard de sa faible concentration de surface.

carbonates de calcium (calcite), le Mn^{2+} substitué au Ca^{2+} est le principal activateur de la CL. Toutefois, d'autres éléments peuvent influencer sur la CL en diminuant (inhibiteurs) ou en augmentant (co-activateurs) l'intensité de l'émission. On ne peut donc utiliser cette technique pour obtenir les concentrations absolues en éléments traces (Adams & MacKenzie 1998) ; elle est en revanche employée pour révéler différentes générations de matrice ou la présence de minéraux secondaires. D'autres applications existent ; citons notamment la dissociation visuelle rapide des feldspaths et des grains de quartz.

Le spectre d'émission de la luminescence d'une calcite pure dopée en Mn^{2+} se caractérise par un seul pic centré sur 620 nm. Cette luminescence se traduit dans les carbonates, à l'observation optique, par des teintes allant du jaune au rouge orangé. Les quartz auront au contraire des teintes mauves pâles, les feldspaths des teintes bleues ou vertes.

Nous avons employé cette méthode lors de l'étude des mortiers de la ville antique d'Arles, sur douze échantillons. L'analyse s'effectue par observation des lames minces polies non couvertes. Les teintes et variations d'intensité de CL sont observées en microscopie optique couplée à une cathode froide (*Technosyn* modèle 8200 Mark II). Les microphotographies ont été réalisées avec un film de sensibilité 1600 ASA (Ektachrome EPH P1600x). Une différence de potentiel de 13 keV et une intensité de $400 \mu A/mm^2$ sont les conditions appliquées pour ces mortiers de chaux antiques. Dans ces conditions, les temps de pose sont généralement compris entre 15 et 70 secondes.

d) Une technique prometteuse : la micro-imagerie multispectrale et ses traitements

Plusieurs approches de traitements et analyses des images obtenues par micro-imagerie des lames minces ont été développées ces dernières années. Des travaux ont porté sur une caractérisation rapide par signature ternaire des roches calcaires trouvées sur site archéologique : des phases noire, claire et sombre représentent, d'une manière générale, les trois phases de la roche que sont la matrice calcitique, le granulats et la porosité (Fronteau *et al.* 2001). La rapidité de la méthode permet le tri d'un grand nombre d'échantillons de façon parfaitement objective. Une autre approche, employée pour le domaine des ciments actuels (ciments Portland) et celui des céramiques archéologiques, est basée sur la transformation des images en images binaires, afin d'isoler les phases : matrice, vides et granulats pour les ciments (Werner & Lange 1999), matrice et granulats pour les céramiques (Velde 2000). Ce traitement permet d'obtenir le pourcentage de chaque phase et d'estimer par la suite la

répartition de la taille des grains. Ces techniques d'analyse d'images, si elles sont d'un grand intérêt, ne permettent pas de dissocier les différentes familles de granulat présentes dans les matériaux. Elles ne font, de surcroît, que traduire les informations, sans exploiter les apports du traitement d'images pour révéler des informations inaccessibles à l'œil autrement. La méthode que nous préconisons est le traitement des images multispectrales obtenues par micro-imagerie.

La « microdétection » est une méthode de traitement et d'analyse des images obtenues par microscopie (optique, électronique, de cathodoluminescence, etc.). En cours de développement, nous l'avons employée pour des questionnements simples (teneur en granulat et repérages des zones d'interaction chaux-granulat) à partir des cartes de répartition d'éléments chimiques obtenues par EDS au MEB. Le développement matériel de cette technique d'analyse nous permettra prochainement d'associer à chaque pixel une valeur précise en chaque élément chimique étudié, créant ainsi une « image spectrométrique », pour reprendre les termes de D. Landgrebe. Cela nous permettra non seulement de révéler des structures particulières, mais aussi d'établir directement leur composition à partir de l'image, sans pour cela nécessiter une nouvelle acquisition.

1) Les images multispectrales

Les images multispectrales (ou multicanales) sont depuis longtemps utilisées en imagerie satellitale et télédétection : les satellites d'observation de la Terre possèdent plusieurs canaux qui leur permettent une acquisition simultanée d'images en de nombreuses bandes spectrales, de l'infrarouge à l'ultraviolet. Les images multispectrales se retrouvent dans divers domaines de la microanalyse, notamment par les cartes de répartition d'éléments chimiques obtenues en spectrométrie de rayons X, par EDS au microscope électronique à balayage (MEB) ou par WDS à la microsonde électronique. Chaque pixel de la scène (zone observée) possède alors une signature « spectrale ».

2) Le traitement des images multispectrales

Le traitement informatique des images est effectué avec le logiciel Multispec⁷ qui contient tous les algorithmes nécessaires pour l'extraction et l'analyse des données de l'imagerie hyperspectrale. Toutes les données de la zone étudiée, réparties sur les différentes cartes élémentaires, sont traitées afin de fournir une *carte thématique* de la scène, obtenue par extraction et classification des informations, puis par leur restauration. Au final, une seule étiquette est assignée à chaque pixel (principe de la classification). La restauration des données se fait après élimination de l'information non pertinente. La nouvelle représentation de la scène (la carte thématique ou de classification) consiste en une composition de zones homogènes, étiquetées, séparées par des frontières régulières (voir Landgrebe 1999, Madhok & Landgrebe 2002).

3) Traitement expérimental des images multispectrales

La méthode correspond donc à l'application, sur ces images multispectrales obtenues par microanalyse, des techniques de traitements d'images largement éprouvées en télédétection. En l'état actuel de cette méthode, nous l'avons essayée sur les cartes de répartition des éléments chimiques, obtenues au MEB par EDS, pour des questionnements simples : (1) obtention du pourcentage total pour chaque phase du mortier (matrice, vide et granulat) et (2) repérages des zones d'interaction chaux-granulat.

- Le matériau

L'exemple présenté a été choisi pour sa représentativité. Les images ont été collectées au MEB par analyse en fluorescence X (EDS) sur un échantillon prélevé dans l'un des piliers maçonnés du cryptoportique d'Arles (Bouches-du-Rhône), dans une partie de l'édifice datée de l'époque flavienne, fin du I^{er} s. ap. J.-C.. Ce prélèvement a été sélectionné car il permettait l'observation à la fois du liant architectural (le mortier de chaux) et d'une brique de la maçonnerie, le contact ayant été préservé (fig.I.26 et 27).

⁷ Ce logiciel est téléchargeable sur internet à l'adresse : <http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>.



Fig.I.26. Lame mince conservant le mortier de chaux et de sable (à gauche) et la brique (à droite), échantillon CPA 15 (cryptoportique d'Arles).
(dimensions : 2,25 x 2 cm)

Le mortier de chaux contient, d'après les observations en MOT, environ 40 % de granulat (résultat obtenu par comparaison avec des chartes visuelles) constitué pour l'essentiel de quartz, de feldspaths, ainsi que de micas (muscovite et biotite) et de la chlorite, associés, dans une moindre mesure, à des lithoclastes de roches plutoniques, métamorphiques et calcaires. Le diamètre moyen des grains se situe dans l'intervalle granulométrique des sables fins. Un tel mélange de familles de grains nous a permis de tester la méthode de séparation des types de matières premières.

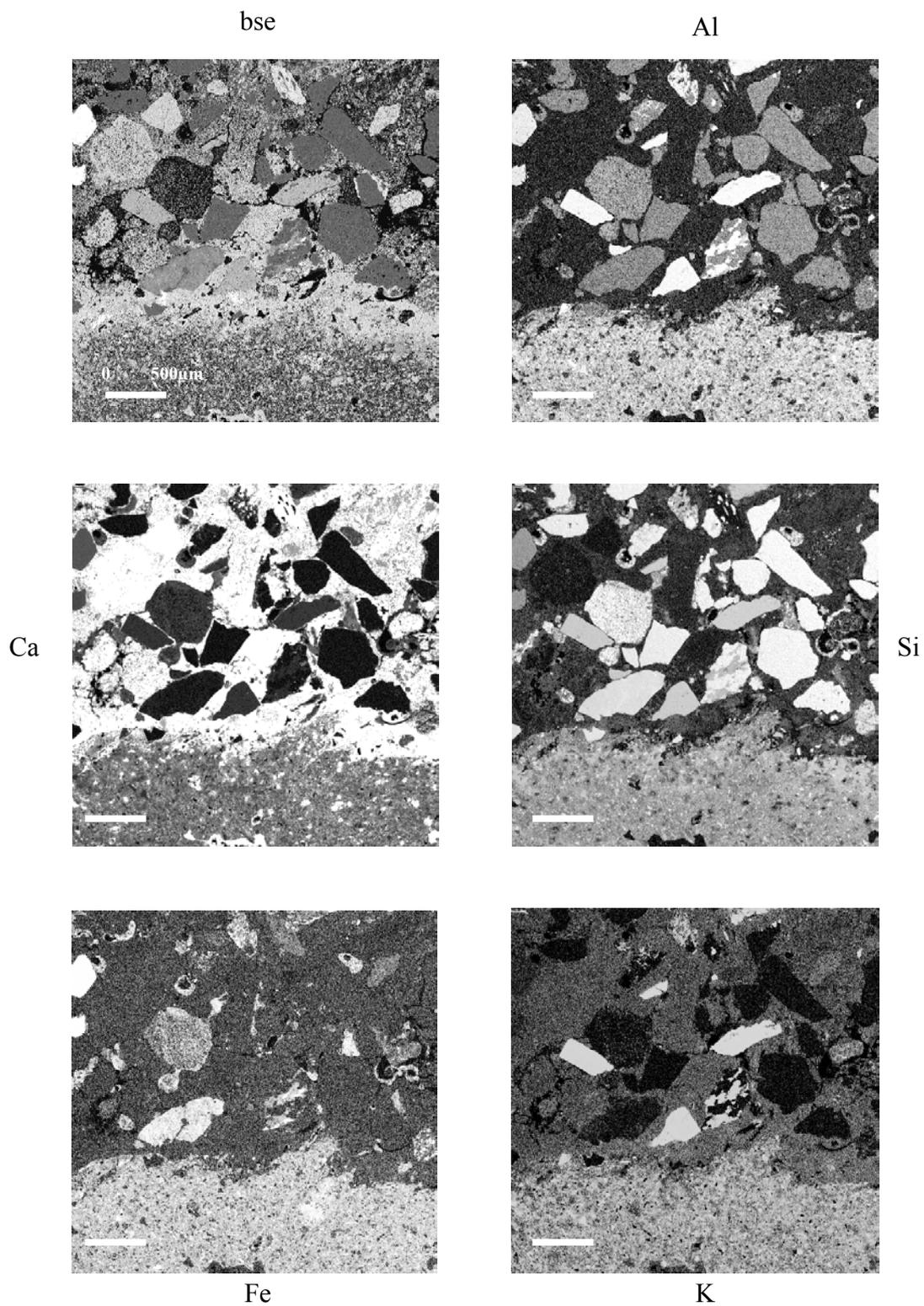


Fig.I.27. Cartes de répartition des éléments chimiques (échantillon CPA 15). Le mortier de chaux et de sable est dans la partie supérieure de l'image ; la brique, à dégraissant fin, est dans la partie inférieure. L'abondance des éléments apparaît en clair.

- Proportions de granulat

La carte thématique obtenue liste les classes composant la nouvelle image. L'utilisateur peut intervenir sur cette classification en jouant sur la répartition des classes à l'intérieur de groupes d'intérêt particulier. Après reconnaissance de la nature exacte de chaque classe (fig.I.28), l'attribution du blanc (niveau 255 sur 255 couleurs) ou du noir (niveau 0) à la classe permet, par une interrogation rapide de l'histogramme des valeurs de l'image (aisée à effectuer avec le logiciel Photoshop), d'établir quelle surface (pourcentage) elle occupe sur l'image (fig.I.29), et donc, par extension, sur la lame mince si l'homogénéité de celle-ci a été vérifiée (il faudra sinon multiplier les images ou choisir dès le début du travail le champ d'acquisition le plus large).

Lorsque seul le pourcentage total de la charge est souhaité, la manipulation de la carte thématique permet, par le rassemblement des différents minéraux dans le groupe « granulat », d'isoler très rapidement tous les grains (fig.I.30).

Cette application est renouvelable pour les vides et la matrice. Les proportions des différentes phases de l'image, obtenues par interrogation de l'histogramme des valeurs, sont données dans le tableau I.31.

Matrice	Vides	Total granulat	Granulat					
			Quartz et silex	Feldspaths sodiques	Feldspaths potassiques	Pyroxènes	Quartz à coque d'oxydes ? (Al)-Fe-Si	Indéterminé
59,43%	4,31%	36,26%	21,25%	1,37%	4,50%	1,12%	6,79%	1,23%

Tabl.I.31. Pourcentages relatifs en volume de chaque phase identifiée sur la carte thématique I.28.

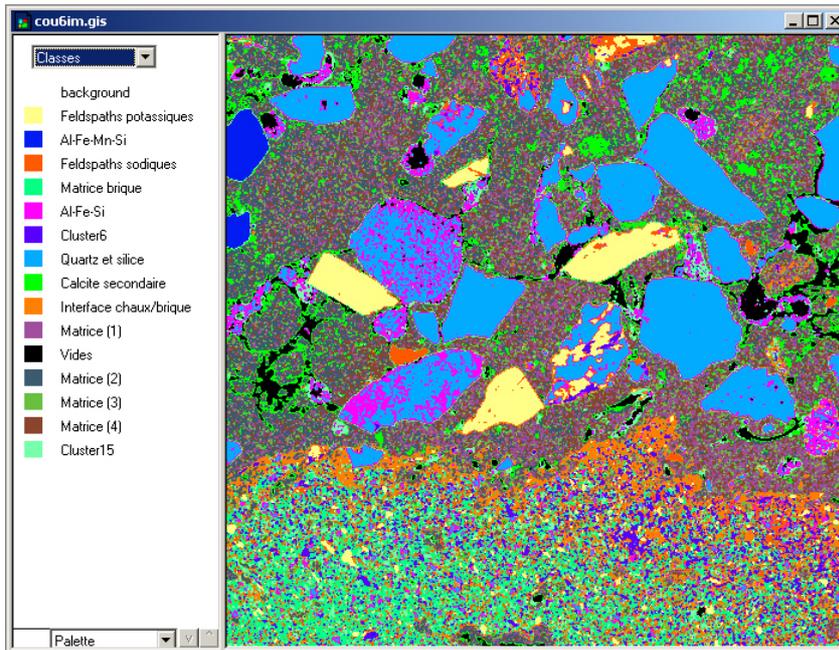


Fig.I.28. Carte thématique et identification des classes de l'image.

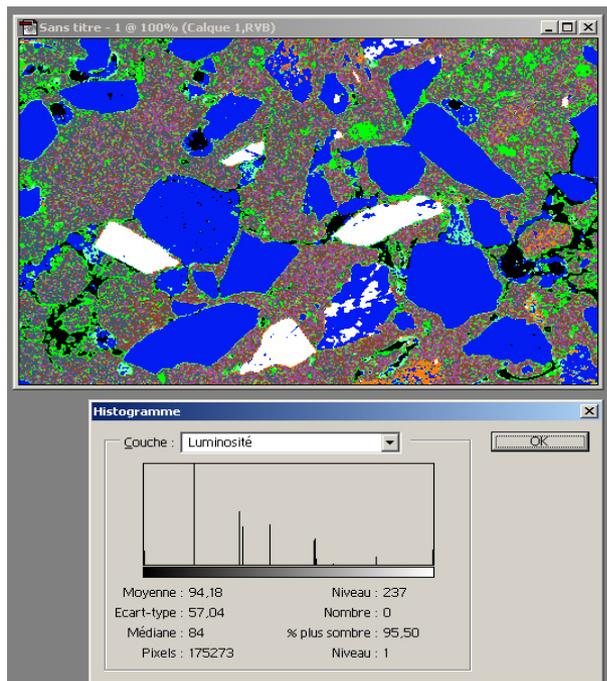


Fig.I.29. Carte thématique et pourcentage ($100 - 95,5 = 4,50$) de feldspaths potassiques (en blanc) révélé par l'histogramme de luminosité de l'image.

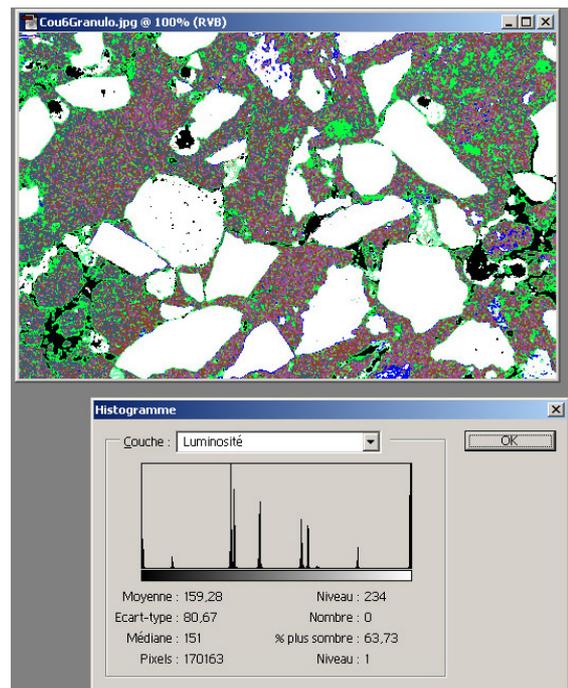


Fig.I.30. Carte thématique et pourcentage ($100 - 63,73 = 36,27$) de granulat (en blanc) révélé par l'histogramme de luminosité de l'image.

- Les réactions chaux / terre cuite

La zone étudiée illustre le contact mortier / brique. Une large zone d'interaction a été identifiée entre ces deux systèmes lors de l'analyse en EDS (fig.I.27 bse). Le traitement des images multispectrales nous a permis plus précisément de déceler une fine zone de réaction à l'interface mortier / brique (fig.I.28, interface « chaux/brique » en orange). Ce niveau n'avait pas été perçu lors de l'acquisition. Il pourrait s'agir d'une zone de formation de composés pouzzolaniques à l'interface des deux systèmes (cf. chap. I.3.2, « pouzzolanité »).

La mise en évidence de phénomènes de transition ou de bordure semble grandement aidée par le traitement des images multispectrales. Les applications aux mortiers de chaux antiques sont l'étude des réactions intervenant à l'interface de la matrice du matériau avec soit (1) les fragments de terres cuites (le tuileau) constituant la charge, soit (2) les briques de la maçonnerie.

e) La diffraction des Rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X (ou diffractométrie, méthodes des poudres) repose sur deux fondements :

- La structure en réseau des cristaux résulte de la répétition dans l'espace de motifs élémentaires (la maille). Elle se traduit par des distances interplanaires constantes entre les plans d'atome de même nature. L'ensemble de ces distances « d_{hkl} » est caractéristique, telle une empreinte digitale, de l'espèce minérale.
- Les rayons X utilisés sont des rayons électromagnétiques qui ont des longueurs d'onde du même ordre de grandeur que les distances interplanaires des réseaux cristallins.

Il est donc possible, à partir de quelques milligrammes de poudre, de révéler l'ensemble des phases cristallisées qui compose l'échantillon. Cette technique est très utilisée pour la détermination des espèces argileuses. Elle permet aussi de percevoir, semi-quantitativement, les proportions de chaque phase minérale. Nous l'avons régulièrement employée pour la vérification des identifications par observations microscopiques, et plus particulièrement lorsque la présence d'argile ou de plâtre était pressentie.

Les poudres sont obtenues par broyage ménagé d'un fragment de mortier. Lorsque la charge fine du granulat, ainsi que la matrice, sont l'objet de l'analyse, un tri granulométrique est effectué à tamis de 200 μm afin d'éliminer le maximum d'éléments de la charge grossière ; un deuxième broyage intervient ensuite afin d'homogénéiser la poudre. Les

analyses (sur 45 poudres au total) ont été effectuées au Laboratoire de Géologie des Bassins Sédimentaires (Université Pierre et Marie Curie) avec un diffractomètre *Kristalloflex* de Siemens à console *Daco-mp*, et logiciel d'acquisition *DiffraCT AT*. L'intervalle du champ généralement utilisé est compris entre $3^{\circ} 2\theta$ et $60^{\circ} 2\theta$, avec un pas d'acquisition de 0,05. Les analyses de diagrammes ont été effectuées par l'auteur.

f) Dosage des éléments en spectrométrie d'absorption atomique

Cette technique a été réalisée au Laboratoire de Géologie des Bassins Sédimentaires. Elle a été employée pour l'analyse des teneurs en cinq éléments (Ca, Mg, Sr, Mn et Fe) de trois échantillons en provenance de Molesme (cf. chap. II.2/N) : le remplissage d'un bac de chaux et la matrice de deux bétons de sol.

La préparation des échantillons débute par une dissolution de quelques grammes de poudre (prélevés dans la « chaux » ou la matrice des bétons) dans l'acide acétique à 6 % (attaque acide). Deux reprises à l'acide chlorhydrique à 30 % sont ensuite effectuées. Une dilution est faite à la dernière reprise dans une fiole jaugée à 100 ml avec de l'eau déminéralisée. Les mesures des éléments traces et majeurs sont ensuite effectuées avec un spectromètre à Absorption Atomique *Hitachi Z-8100*. L'erreur, sur l'ensemble du protocole et du dosage, est estimée à plus ou moins 5 %.

1.2.5. La mise à l'épreuve : la fresque expérimentale de Saint-Savin⁸

Une équipe du Centre d'Etude des Peintures Murales Romaines (CEPMR) de Soissons s'est essayée en 1996 à la préparation d'une fresque « à la romaine ». Cette expérimentation, financée par le CNRS, s'est tenue dans les locaux du Centre International d'Art Mural (CIAM) à l'abbaye de Saint-Savin (Vienne). La fresque a été déposée à la fin de l'automne 2000. Plusieurs échantillons ont été sauvegardés en prévision de l'étude approfondie du support.

Plusieurs courants ou styles de peintures ont été repris pour la réalisation du décor, et tout un cortège de mortiers a été mis en œuvre, suivant la position en stratigraphie de la couche et la zone de la paroi enduite (zones basse, moyenne, supérieure, et corniche). La

⁸ Le déroulement du chantier et les résultats des analyses ont été publiés récemment (Barbet et Coutelas 2002). Ce chapitre est une version plus complète de la partie analytique de l'article.

composition de ces matériaux était connue des archéologues, mais non de nous. Cette réalisation nous a donc donné une véritable possibilité de tester en aveugle notre méthode analytique.

Vingt-deux prélèvements ont été effectués. Chaque échantillon a donné une lame mince, généralement en vue d'observer l'intégralité de la stratigraphie, parfois pour se focaliser sur l'étude d'une couche en particulier (par exemple la couche (c) pour SAV 16). La position originelle de chaque spécimen était repérée sur le relevé de la fresque (fig.I.32). La répartition des échantillons est telle que toute la paroi est représentée, aussi bien la plinthe et les différents panneaux de la zone moyenne, que la zone supérieure et la corniche.

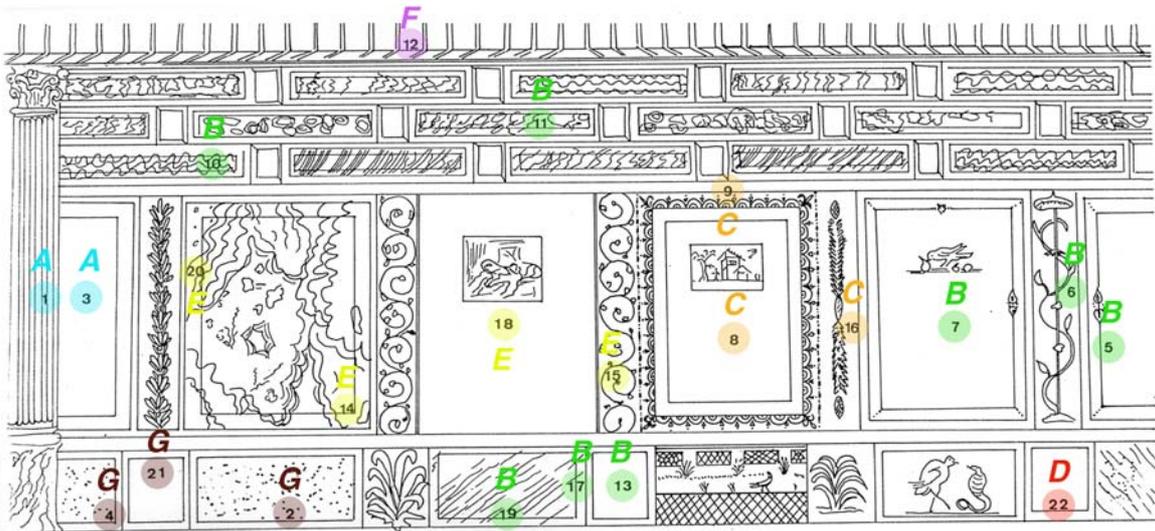


Fig.I.32. Relevé de la fresque expérimentale : échantillons et assemblages stratigraphiques (dessin Alix Barbet).

a) Les matières premières

Le granulats a été étudié, mais pas le type de chaux. Nous avons mis en évidence l'emploi de diverses matières premières : deux types proches de sable siliceux, du tuileau (tuiles et briques pilées), des cristaux broyés de calcite, des scories magmatiques et de l'argile.

Le sable A est un sable peu trié, où l'on reconnaît des quartz monocristallins et polycristallins, associés à des lithoclastes (c'est-à-dire des fragments de roche) de roches plutoniques et métamorphiques, à des micas blancs et noirs, des plagioclases, des orthopyroxènes... Les grains sont anguleux. L'intervalle granulométrique est celui des sables

au sens large, avec de fréquents éléments plus gros (plurimillimétriques). Tandis que le sable B est un sable moyennement à bien trié, constitué de quartz monocristallins et polycristallins et de lithoclastes de roches plutoniques. Les grains sont également anguleux. L'intervalle granulométrique est celui des sables au sens large, au diamètre inférieur à 2 mm. Signalons de suite que le premier sable (A) correspond au « sable grossier » employé pour les mortiers n°1 et 4, alors que le deuxième (B) coïncide avec le « sable fin » utilisé dans la confection des mortiers n°2, 3, 6 et 7.

Les fragments de tuileau sont de diverses natures. L'intervalle granulométrique est assez proche de celui du sable A, avec lequel il est pour ainsi dire toujours associé (cf. *infra*). L'aspect des fragments et leur granulométrie se rapprochent assez bien de ce qui est observé dans les mortiers anciens. On remarque d'ailleurs que la coloration de la matrice des mortiers contenant cet élément est d'un rose prononcé, parfaitement similaire à la teinte la plus fréquente des mortiers de tuileau antiques.

La calcite employée dans le granulat se présente toujours sous la forme de cristaux anguleux de faible granulométrie. Les grains ne rentrent pas dans la classe granulométrique des sables, mais plutôt des limons (ou silts), c'est-à-dire de diamètre inférieur à 63 µm. Du fait de cette fragmentation intense, il est impossible d'affirmer si ce granulat correspond à du marbre broyé, mais il a été choisi pour correspondre aux prescriptions de Vitruve, stipulant l'emploi de « poudre » de marbre pour la préparation des couches externes des enduits (*De Architectura*, VII, 3). Cependant, l'utilisation de marbre si finement broyé nous a surpris. En effet, nous n'avons jamais rencontré ce type de granulat avec des dimensions aussi faibles. Le marbre broyé ou les cristaux de veines de calcite, repérés par exemple dans des échantillons de Vichten (grand-duché de Luxembourg ; étude II.1/H), de Ribemont-sur-Ancre (Somme ; étude II.3/Q) ou de Vaison-la-Romaine (Vaucluse ; inédit), se présentent tel un sable fin, et non comme une poudre (fig.I.33a et b).

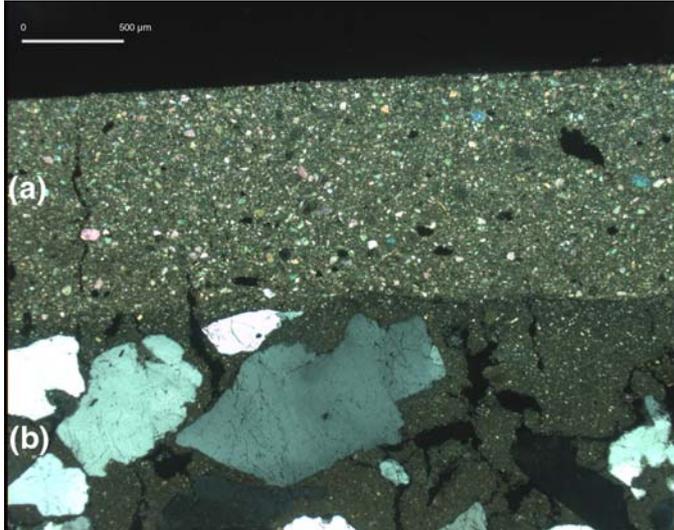


Fig.I.33a. Couche d'épiderme à poudre de marbre de la fresque expérimentale. LPA.

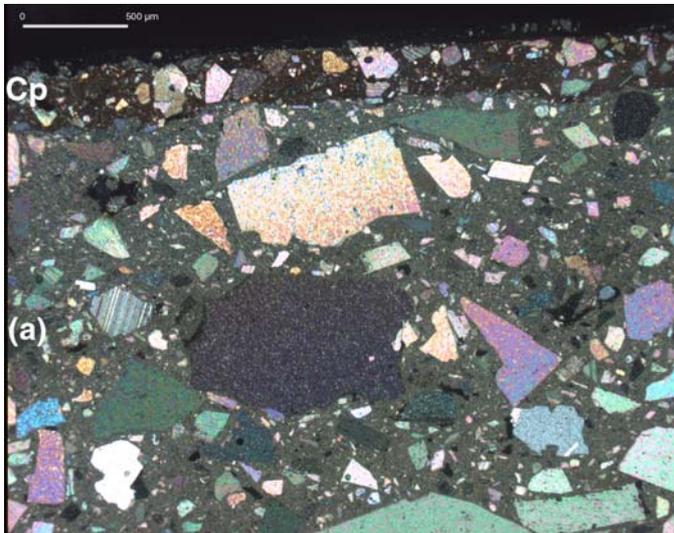


Fig.I.33b. Couche d'épiderme à monocristaux de calcite d'un enduit peint du sanctuaire gallo-romain de Ribemont-sur-Ancre. La couche picturale (Cp) contient elle aussi de la calcite. LPA.

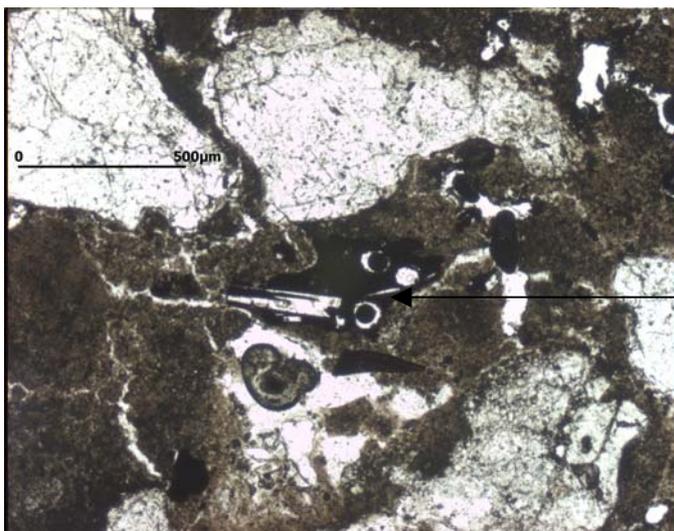


Fig.I.34. Scorie magmatique. Fresque expérimentale, LPNA.

scorie

Les scories magmatiques (fig.I.34) sont présentes en faibles proportions (pourcentage inférieur à 5 %). Elles sont d'un diamètre inférieur à 500 μm . Elles sont associées à un sable de type B. Il s'agit d'un ajout délibéré de pouzzolane (ou d'un équivalent naturel), ces cendres volcaniques réputées pour les qualités qu'elles confèrent aux mortiers, à savoir de meilleures étanchéité, résistance à l'humidité et durabilité.

L'argile est présente en proportion indéterminée, mais faible (10 % nous informe le rapport de l'expérimentation). Sa présence a été déduite d'un faisceau d'indices (cf. *infra*). Nous avons effectué une analyse de diffraction des rayons X afin de confirmer les observations et établir la nature des minéraux argileux. Le diagramme signale faiblement la présence de montmorillonite. Les minéraux argileux ont probablement évolué dans le mélange, oblitérant ainsi une partie du signal : on peut supposer l'existence de réactions « pouzzolaniques » entre ces phyllosilicates et la chaux, formant des composés hydratés, peu détectables en rayons X car faiblement cristallisés.

Le diagramme montre l'existence de portlandite, de formule $\text{Ca}(\text{OH})_2$, soit de la chaux éteinte (fig.I.35). La carbonatation de la matrice n'est donc pas complète, même au bout de ces quatre années de vieillissement, et bien que l'analyse ait porté sur la couche la plus externe de l'enduit, celle la plus à même d'incorporer le CO_2 atmosphérique pour former du carbonate de calcium (calcite, CaCO_3 ; cf. chap. I.3.2).

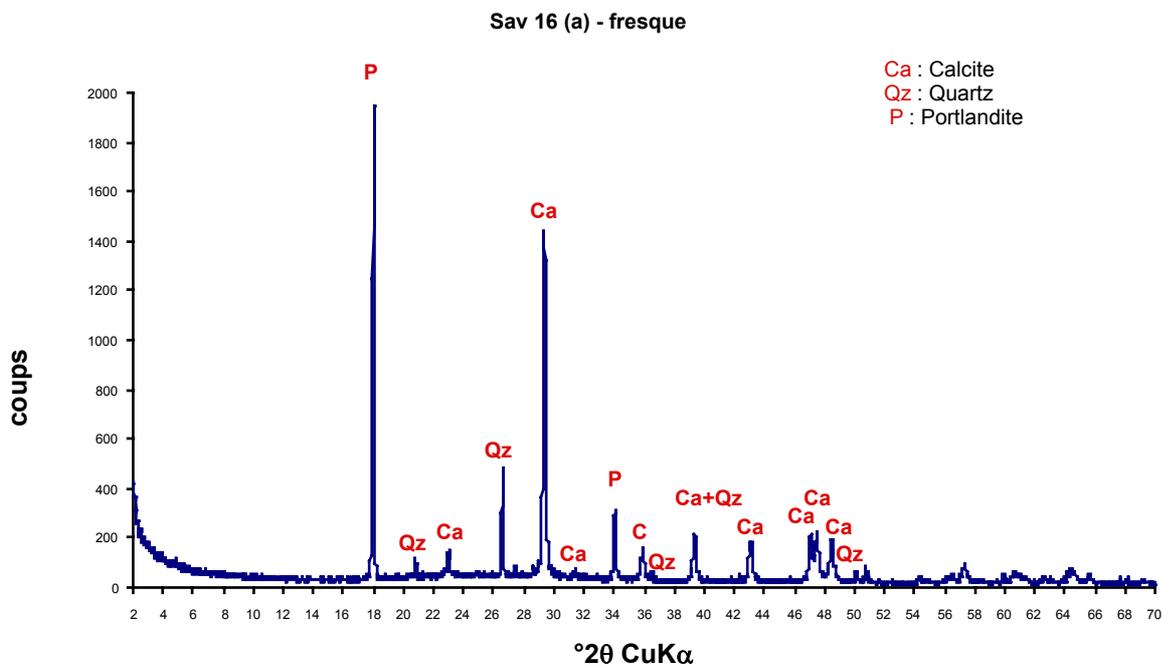


Fig.I.35. Diagramme de DRX du type de mortier n°6, échantillon SAV 16, couche d'épiderme.

b) Les sept types de mortier

Sept types de mortier furent identifiés lors de cette étude « en aveugle ». Ils correspondent aux sept types employés pour la préparation du support.

Les types 4 et 5 ont été rapidement isolés, s'agissant de recettes particulières avec, pour le n°4, l'emploi de tuileau associé au sable A donnant finalement une proportion chaux/granulat de 1:2, et pour le n°5 l'emploi de « marbre broyé » pour un rapport de 1:1 avec la chaux.

Pour les autres mortiers, d'apparence purement sableux, nous avons effectué des distinctions suivant le type de sable siliceux et les proportions relatives entre la chaux et le granulats. Les mortiers 1 et 2 sont alors apparus, définis par des teneurs plus importantes en sable, les proportions relatives étant 1:3 pour le premier et 1:2 pour le second.

Plusieurs traits distinctifs nous ont amené à dissocier en trois l'ensemble restant de couches de mortier. Les mélanges (mortiers 3, 6 et 7) ont été préparés avec 1 volume de chaux pour 1 volume de sable B. Le n°7 s'est démarqué par la présence des scories magmatiques, en faible proportion. Le n°6 a montré une coloration particulière de la matrice, beige jaunâtre et non blanche. Les colorations du liant, en plus de nous alerter sur d'éventuelles variations de la composition, nous permettent fréquemment d'émettre des hypothèses sur les matières premières. Ici, c'est l'argile qui était supposée avoir été ajoutée au mélange. La texture particulière de la matrice, visible en lame mince avec le microscope optique, et la DRX nous l'ont confirmé. Le mortier n°3, de matrice de couleur blanche, fut simplement préparé avec un mélange de chaux et de sable B (proportion 1:1).

c) Les assemblages stratigraphiques et préparation du support

Nous avons établi sept combinaisons différentes, notées de la lettre A à G, obtenues à partir des sept types de mortier, pour la préparation du support de la fresque (tabl.I.36). Chaque échantillon étant repéré sur le relevé, les assemblages stratigraphiques ont pu être mis en relation avec les différentes zones de la paroi. Nous avons ainsi décortiqué toute la construction du support, couche par couche.

Assemblage stratigraphique	Couche (a)	Couche (b)	Couche (c)	Couche (d)	Echantillons correspondants	Zones de la paroi
A	5	3	4	1	SAV 1 et SAV 3	Moyenne (panneau gauche)
B	3	2	1		SAV 5, SAV 6, SAV 7, SAV 10, SAV 11, SAV 13, SAV 17 et SAV 19	Supérieure et moyenne (panneaux de droite)
C	6	2	1		SAV 8, SAV 9 et SAV 16	Moyenne (panneau centre-droit)
D	7	2	1		SAV 22	Plinthe (centre et droite)
E	5	3	2	1	SAV 14, SAV 15, SAV 18 et SAV 20	Moyenne (panneaux faux- marbre et érotique)
F		2	1		SAV 12	Corniche
G	7	4	1		SAV 2, SAV 4 et SAV 21	Plinthe (gauche)

Tabl.I.36. Assemblages stratigraphiques et répartition des types de mortier dans la stratigraphie (fresque expérimentale de Saint-Savin).

L'intégralité de la paroi a été enduite avec le mortier n°1, légèrement plus grossier et plus riche en granulat que les autres. Est venue ensuite une deuxième couche, avec le mortier n°2, excepté pour la partie gauche de la fresque : colonne et panneau vert (zone moyenne), la plinthe sous-jacente ainsi qu'une partie du compartiment vert moucheté de la plinthe, sous le panneau de faux-marbre (une partie seulement puisque SAV 14, qui est à la jonction entre le panneau de la zone moyenne et le compartiment de la zone inférieure, nous montre la continuité de la couche de mortier n°2 entre les deux zones ; fig.I.37). Dans cette partie gauche de la fresque la deuxième couche est constituée du liant n°4 (assemblages A et G).

La préparation du support est terminée pour la corniche (assemblage F), la stratigraphie se limitant à ces deux couches. Ce n'est pas le cas pour le reste du mur. C'est à ce moment de la préparation, avec l'application de la troisième couche, que s'individualisent les différentes parties de la paroi.

Le n°3 apparaît alors comme le plus usité. On le retrouve pour toute la zone supérieure, ainsi que pour l'essentiel de la zone moyenne, excepté au niveau du panneau jaune à bordure bleue et de l'inter-panneau noir à thyrses (échantillons SAV 8, 9 et 16) où il est remplacé par le n°6 (assemblage C). Pour toute la zone inférieure c'est le n°3 qui constitue la dernière couche (assemblages B et G), à l'exception de l'endroit où fut prélevé SAV 22, la couche d'épiderme étant préparée avec le mortier n°7 qui contient de la pouzzolane (assemblage D). Nos observations ne sont pas en totale adéquation avec les données du rapport de stage, qui rend compte de ce troisième type pour une plus petite surface de la zone moyenne. Il semble que ce soit un oubli lors de la rédaction.

L'application d'une quatrième couche n'a pas été systématique. Seule la partie moyenne et gauche de la fresque, jusqu'au rinceau à droite de la scène érotique, en possède une. Le mortier employé est le n°5, celui contenant la « poudre de marbre » (assemblages A et E).

La paroi se retrouve donc couverte, finalement, de deux à quatre couches de mortier. L'essentiel du support est toutefois constitué de trois couches. Nous verrons qu'il s'agit en effet du nombre le plus souvent repéré dans les enduits peints gallo-romains.

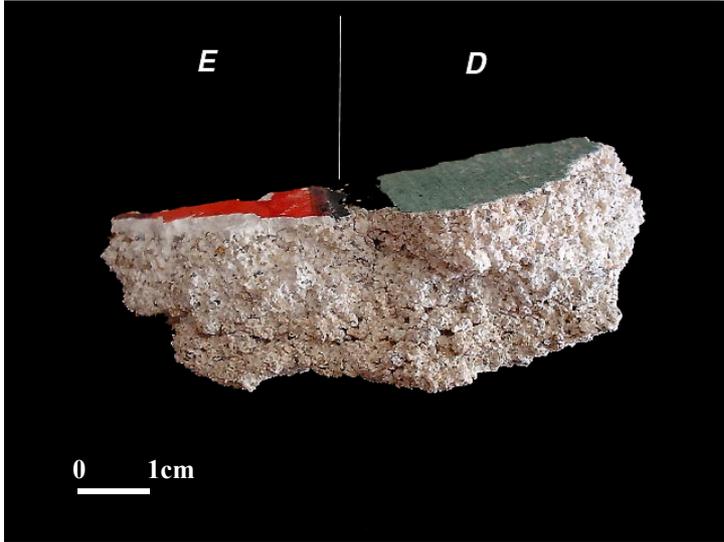
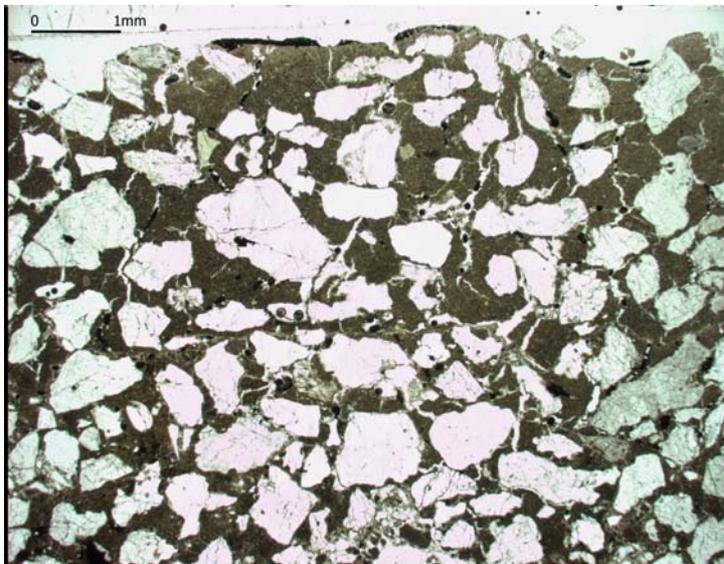
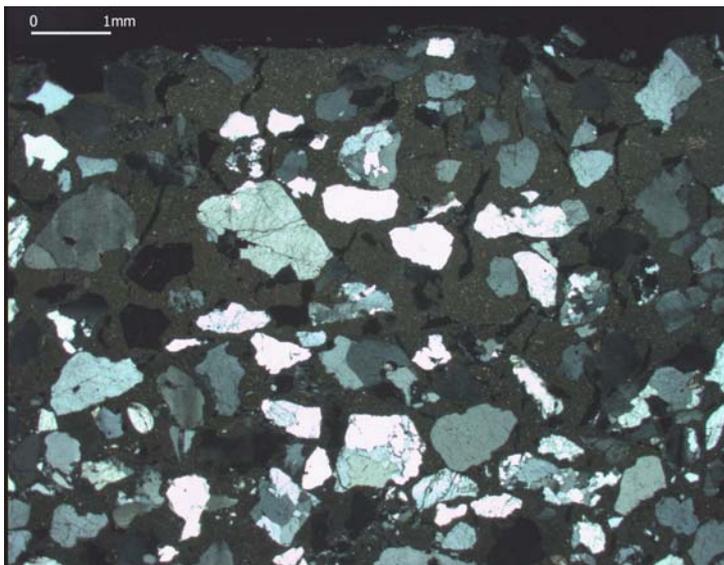


Fig.I.37. Echantillon SAV 14 montrant la transition entre les assemblages E et D.



(a)



(b)

Fig.I.38a. Fissures de retrait dans les couches (a) et (b) de l'échantillon SAV 7 (mortiers n°3 et 2). LPNA.

(a)

(b)

Fig.I.38b. Idem. LPA.

d) Les « pollutions »

La multiplication des échantillons permet de statuer de façon certaine sur la composition de tel ou tel type de mortier. La présence d'éléments étrangers à la recette d'origine peut alors être interprétée comme telle. Nous en avons repéré deux exemples dans nos échantillons. Tout d'abord, la couche (b) de SAV 20 au mortier sableux n°3 et la couche (a) de SAV 2, 13, 17, 19 et 21 (mortier n°3 aussi) présentent en leur sein de rares éléments de tuileau. Cela est parfaitement symptomatique de l'utilisation d'une zone et/ou de matériel de gâchage mis en commun, plus ou moins simultanément, lors de la préparation du mortier sableux et d'un mortier de tuileau. De fait, on ne peut être surpris en apprenant que les couches préparées avec ce mortier n°3 pollué de tuileau sont celles qui ont été mises en œuvre après la confection du mortier n°4 (contenant du tuileau). Autre exemple, la couche (a) du prélèvement SAV 1 au mortier n°5 (riche en marbre) contient quelques quartz identiques à ceux de la couche (b) sous-jacente (mortier n°3).

e) Quelques aspects techniques

Si cette étude nous permettait de tester la méthode, elle nous a aussi amené à évaluer la qualité du travail expérimental. Quelques remarques : tout d'abord signalons que l'orientation du granulat, bien que perceptible, est généralement très faible. Les grains sont alors orientés parallèlement à la surface d'aplatissement. De toute évidence, la pression au moment d'étaler le mortier n'a pas toujours été optimale. Le contact entre les couches est souvent bon, puisque l'on observe très peu de ligne de fissure en limite de strate. La fissuration des matériaux est très intense, ce qui est relativement inhabituel, à réseaux de fissures parcourant toute l'épaisseur de la couche (fig.I.38). La tenue des mortiers est relativement moyenne, voire faible pour le mortier n°1. Ce dernier s'effrite, le sable se désolidarise du matériau au moindre contact. Ceci s'explique par la prolifération de fissures dans la matrice (retrait au séchage ?), peut-être causée par une faible teneur en chaux qui n'a pas permis un bon travail de mise en œuvre du mélange, sur un mur trop sec, dans un local fermé et chaud.

f) Les enseignements de cette étude

Les analyses étaient centrées sur l'identification des composants. Elles ont révélé une carbonatation inachevée de la fresque au bout de quatre ans. La mauvaise tenue du mortier de fond n°1, ressentie au moment de l'application, a été constatée par analyse.

La teneur moyenne en granulat a été établie suite aux observations en microscopie optique, à l'aide des chartes visuelles qui permettent d'établir le pourcentage de charge minérale à plus ou moins 5 %. Pour la première fois nous avons pu vérifier la justesse des observations, et ce sans avoir à passer par les méthodes classiques de granulométrie, après désagrégation du matériau. Bruce Velde rappelait récemment pour l'étude des céramiques que « l'on doit garder à l'esprit que les tailles des grains de la lame mince sont toujours sous-estimées. » (Velde 2000). Nous avons pu effectivement vérifier qu'une sous-estimation chronique du granulat, bien que légère, pouvait être induite par les observations en microscopie optique. Il convient toutefois de prendre quelques précautions pour les mortiers, l'orientation préférentielle de la charge pouvant biaiser les observations. Il faut de surcroît, nous l'avons dit, ajouter la surface occupée par les vides, qui peuvent constituer une part non négligeable de la surface totale de la lame mince, c'est-à-dire un volume important du mortier.

Il nous importait de tester notre méthode d'analyse, afin de valider les techniques d'identification du support des peintures murales antiques, c'est-à-dire, plus en détail, d'éprouver la méthode de définition d'une typologie des mortiers de chaux. C'est chose faite, puisque tous les types de mortier ont été identifiés et leurs répartitions déduites, parfois même plus exactement que ce qui avait été consigné dans le rapport de l'expérimentation.

I.3. Les matériaux étudiés : de la pierre naturelle à la pierre anthropique

La préparation d'un mortier de chaux répond à des principes généraux qui n'ont pas évolués depuis les origines de ce matériau.

Le mortier est une « *composition de chaux, de sable, etc., mêlés avec de l'eau qui sert à lier les pierres, etc., dans les batimens* » (Diderot, D'Alembert, l'Encyclopédie). C'est un « agglomérat artificiel de grains de sable réunis par un liant (chaux ou ciment), utilisé pour lier les éléments d'une construction ou pour faire des enduits » (Petit Larousse). Ou encore, dans le dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine : « un mélange d'un ou plusieurs matériaux rocheux meubles et d'eau, durcissant à la suite d'une réaction chimique, et ainsi susceptible d'assurer la liaison entre des éléments rocheux solides » (Ginouvés et Martin 1985). La notion de mortier est ici axée sur la fonction et les propriétés du matériau, plutôt que sur le type de liant (chaux, ciment, etc.).

Le mortier est un liant architectural polyvalent. Il s'employait dès l'époque romaine pour lier des éléments indépendants de la maçonnerie (tels que les moellons et les briques), pour enduire les murs, pour préparer des sols, voire pour créer des objets moulés. Les mortiers de recouvrement servent à régulariser la surface des murs, à donner un aspect agréable aux parements et à protéger les maçonneries des intempéries et des infiltrations d'eau. Ils étaient à l'époque quasi-systématiquement peints dès que le regard pouvait se porter dessus.

Le mortier de chaux est un matériau architectural composite. Il s'agit d'un matériau obtenu grâce au mélange d'un liant, la chaux, obtenue par cuisson d'une roche carbonatée, et d'un granulat, généralement un sable. Par définition, le granulat est l'ensemble des constituants inertes (sables, graviers, cailloux) des mortiers et bétons. On emploie aussi le terme d'agrégat, qui signifie assemblage hétérogène de substances ou éléments qui adhèrent solidement entre eux (synonyme : agglomérat) mais qui est devenu, abusivement, le nom officiel des divers matériaux (gravier, pierraille, sable, etc.) destinés à la confection des mortiers et bétons. Le terme de « charge » est aussi utilisé, au sens de substance que l'on ajoute à une matière pour lui donner du corps. Nous adopterons préférentiellement le terme de granulat, bien que celui-ci puisse poser problème car renvoyant à une connotation de grains minéraux, alors que nous l'emploierons aussi pour les fragments de terre cuite, les charbons de bois et la paille.

Le granulat, ou *charge* ou bien encore *agrégat*, constitue le squelette du mortier et prévient la fissuration due au retrait lors du durcissement du matériau. Comme dans les

céramiques, il est nécessaire de rajouter cette charge à la chaux pour obtenir un matériau aux propriétés mécaniques acceptables, ce qui n'est pas le cas général pour le plâtre.

La confection du mélange se fait avec un apport progressif d'eau et un brassage qui doit être long et méthodique, jusqu'à obtenir une pâte parfaitement homogène, sans aucun grumeau de chaux apparent. Cette opération a pour nom le *gâchage*. La quantité d'eau utilisée est variable, fonction du climat (de l'évaporation) et du mélange. Elle doit rendre la pâte malléable, mais non liquide.

Une fois le mélange opéré le mortier est mis en œuvre ; commence alors le phénomène de prise qui augmente lentement sa viscosité, ce qui permet pour un mortier de maçonnerie d'initier la « concrétion » de l'ensemble architectural ; on parle de *maçonnerie concrète* pour ce type de gros œuvre (Adam 1995). Ce phénomène dépend de la *carbonatation* (cf. *infra*). Celle-ci étant ordinairement relativement lente, la maçonnerie va se déformer pendant les premiers jours qui suivront la construction du mur, par déformation plastique et suite à la contraction du liant, puis atteindre un niveau d'équilibre, de stabilité, au bout d'un laps de temps qui dépend du type de maçonnerie et du matériau. Des tests de compression ont été effectués par une équipe italienne sur un prisme de briques liées avec un béton copie d'un liant byzantin, constitué d'un volume de chaux pour trois volumes d'agrégats (poussières et cailloutis de terres cuites architecturales plus un cailloutis siliceux et calcaire) ; après 28 jours, l'ouvrage tendait vers la stabilité (Binda *et al.* 2000).

La supériorité de la chaux par rapport à d'autres liants anciens, tel l'argile par exemple, est le caractère irréversible de son durcissement. Le rôle principal du mortier est de lier les éléments de la maçonnerie entre eux en une structure durable. Mais la durabilité de l'ouvrage dépendra aussi bien de l'équilibre global de sa structure, que de la nature de ses éléments et de la qualité du liant. Dans le système complexe de maçonnerie en petit appareil*, l'interaction entre le liant et les moellons ou briques, tout comme l'interaction entre la matrice du mortier et les éléments de sa charge, apparaît comme le mécanisme fondamental (Moropoulou *et al.* 2000b).

Ce matériau antique a longtemps véhiculé une image proprement légendaire, du fait de « l'incroyable » durabilité des élévations de nombreux édifices. On considère aujourd'hui que seuls les édifices parfaitement équilibrés nous sont parvenus, associés aux matériaux les mieux préparés, aux conditions de préservation sinon optimales, du moins peu agressives. La qualité des mortiers romains tiendrait essentiellement à la parfaite cuisson et extinction de la

chaux, à l'homogénéité des mélanges et à leur mise en œuvre particulièrement soignée (Furlan et Bissenger 1975).

1.3.1. De la pierre à la pâte

a) La calcination

La chaux est un produit obtenu à partir de la calcination d'une roche carbonatée à une température minimale de 830°C pour une pression de 1 atmosphère (pression atmosphérique normale). Il se produit une réaction endothermique :



Le dégagement de dioxyde de carbone entraîne une perte de poids importante, jusqu'à 44 % de la masse initiale. Le volume est en revanche conservé. L'oxyde de calcium restant est appelé *chaux vive* (la *calce viva* de Vitruve, *De Architectura*, VIII, 8).

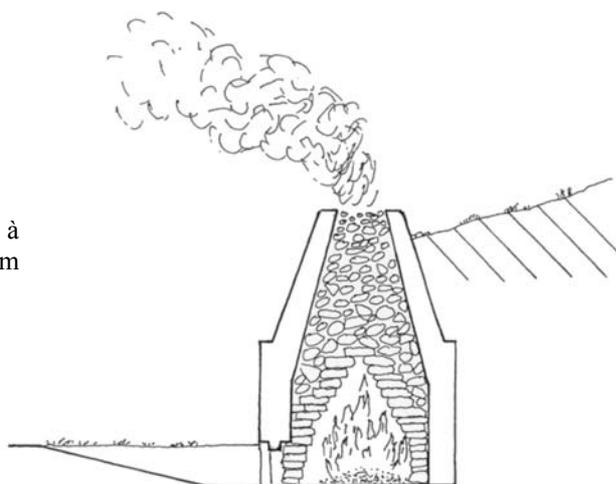
La composition minéralogique de la chaux vive dépendra directement de la température de cuisson et de la nature de la pierre à chaux (le calcaire). Des travaux du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) ont montré que, globalement, pour chaque type de calcaire, le taux de silice soluble augmente avec la température de cuisson et qu'à 900°C les chaux contenaient encore 20 à 30 % de carbonates. Pour résumer, la décarbonatation des roches mères, ou plutôt la disparition totale de la calcite, intervient aux environs de 1000°C, et la nature des « impuretés » présentes dans ces chaux calcinées à haute température dépend plus de la température de cuisson que de la nature des minéraux accessoires des roches carbonatées (Bernard *et al.* 1975).

La cuisson du calcaire s'effectue dans un four à chaux. Ce procédé est décrit par Caton l'Ancien vers 160 av. J.-C. (XLIV, *De fornace calcaria*). Il commence par la description de la construction du four (fig.I.39) :

« Faites le four à chaux large de dix pieds [2,957 mètres], haut de vingt ; au sommet, réduisez la largeur à trois pieds. Si vous cuisez avec une seule bouche, ménagez une grande cavité à l'intérieur suffisante pour contenir la cendre, de façon qu'il n'y ait pas à la sortir, et construisez bien le four ; faites en sorte que la sole [le sol du foyer] occupe toute l'étendue

inférieure du four. Si vous cuisez avec deux bouches, il ne sera nullement besoin d'un vide ; quand il sera besoin de sortir la cendre, sortez-la par une bouche, le feu sera maintenu dans l'autre. (...) Quand vous ferez le four, donnez au puits une pente raide ; quand vous aurez creusé suffisamment, disposez l'emplacement du foyer de sorte qu'il soit le plus profond et le moins exposé au vent possible ; si vous n'avez pas d'emplacement pour faire un four assez profond, construisez le haut en briques ou en moellons, avec du mortier ; enduisez le haut extérieurement. Quand vous aurez allumé, si la flamme sort ailleurs que par l'orifice circulaire du haut, colmatez avec du mortier. » (traduction R. Goujard).

Fig.I.39. Restitution du four à chaux de Caton (d'après Adam 1995).



Voici ensuite ce qu'il dit sur son fonctionnement :

« Prenez garde à ne jamais laisser le feu s'éteindre ; prenez garde qu'il ne s'éteigne ni la nuit ni à aucun moment. Chargez le four avec de bonnes pierres, les plus blanches et les moins tachetées possible. (...) Voici ce qui indiquera quand la chaux sera cuite ; il faudra que les pierres du haut soient cuites ; de plus, les pierres du bas, cuites, s'affaisseront, et la flamme donnera moins de fumée. »

De nombreuses variétés de combustibles peuvent être employées, mais la préférence devait aller au bois, et principalement à ceux qui laissent échapper rapidement leur gaz inflammable. Le choix du combustible privilégiait toutefois l'environnement immédiat.

Plus que la nature du combustible, la conduite du feu est déterminante pour la réussite de la fabrication de la chaux vive (Suméra et Veyrat 1997). Il est conseillé de faire

progressivement monter la température, pour éviter tout phénomène d'éclatement des blocs calcaires et donc l'écroulement du remplissage du four. Le travail nécessitait un réel savoir-faire ; les chauffourniers étaient des artisans spécialisés (Lavergne et Suméra 2000, p.465).

Il semble acquis que les fours à chaux étaient préférentiellement implantés à proximité des lieux d'extraction du calcaire, pour une raison simple : le transport de la chaux vive est plus rentable puisqu'il y a perte de masse du matériau suite à la calcination. Toutefois, des indices archéologiques montrent l'éventualité de productions artisanales de chaux par des batteries de fours dans des contextes ruraux (voir notamment l'exemple de la *villa* de Touffréville ; Coulthard 2000)¹. Il se pourrait aussi que l'importance de certains chantiers ait nécessité la présence de chauffourniers sur place.

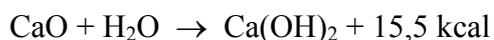
Il existe une autre méthode de cuisson de la roche carbonatée (Adam 1995, p.74). La *cuisson à courte flamme*, qui nécessite l'empilement préalable dans la chambre de chauffe de couches alternées de pierres et de combustible à ignition lente (charbon de bois). Les matériaux récupérés après cette cuisson devaient être soigneusement criblés afin d'éliminer les résidus de combustion (ce qui est vrai aussi pour l'autre méthode). Il est fort probable que ce tri se faisait lors de la phase d'extinction (cf. *infra*), les charbons de bois flottant à la surface de la fosse.

b) L'extinction

La chaux vive est un produit instable, considéré comme dangereux car plein d'affinité pour tout ce qui contient de l'eau (la masse hydrique du corps humain est environ 70-80 %). Les chaux vives les plus réactives sont obtenues après calcination du calcaire à une température de 900°C (il n'y aurait donc pas disparition totale de la calcite, cf. *supra*), la surface spécifique totale de la chaux vive étant optimale pour cette température ; c'est pour cela que les fours traditionnels, utilisant le bois et les charbons de bois comme combustible, produisent encore des chaux d'excellente qualité (Moropoulou *et al.* 2001, p.637). *L'extinction* de la chaux est perçue ordinairement comme une nécessité dans la chaîne opératoire de la fabrication du mortier pour éviter des phénomènes de gonflement et de dislocation après la prise et pour des raisons évidentes, donc rarement rappelées, de

¹ Le choix de l'implantation des fours semble avoir été, pour Touffréville (Calvados), plus guidé par la préexistence d'une infrastructure matérielle et économique et par l'accessibilité du bois, plutôt que par la proximité de la pierre à chaux, reléguée à 1 km environ. La consommation en bois a été établie à 1 stère par mètre-cube de calcaire.

commodité de gâchage ou de mise en œuvre. L'extinction de la chaux vive est une réaction d'hydratation :



Cette réaction est exothermique, la température du mélange peut s'élever jusqu'à 400°C, mais elle est généralement comprise entre 150 et 200°C. On observe alors souvent le foisonnement de la chaux vive, c'est-à-dire, pratiquement, la désagrégation des blocs de chaux vive en une poudre fine, blanche et sèche : la *chaux éteinte*. C'est cette poudre qui servira pour la préparation du mortier.

Cependant, on ne peut totalement écarter l'hypothèse de l'utilisation de chaux vive pour la préparation de mortier puisque Vitruve semble la conseiller pour au moins deux types d'ouvrages hydrauliques : les citernes et les joints des tuyaux de terre cuite dans les canalisations. Dans sa recommandation pour les joints de tuyaux, Vitruve emploie le terme « *calce viva* » qu'il préconise de pétrir avec de l'huile (Vitruve, *De Architectura*, VIII, 6). Pline l'Ancien reprend une partie des prescriptions de Vitruve concernant les citernes :

« *Les citernes doivent être construites avec cinq parties de sable pur et granuleux, deux de chaux la plus vive et avec des fragments de silex ne dépassant pas le poids d'une livre* » (Pline, *Hist. Nat.*, XXXVI, 52 ; traduction R. Bloch).

R. Malinowski, qui s'est intéressé aux matériaux et aux techniques de construction des aqueducs antiques (Malinowski 1979), considère qu'un mélange chaux éteinte et huile ne peut être employé car donnant inmanquablement une mixture incapable d'expansion et susceptible de se rétracter après quelques mois. Au contraire, un mélange chaux vive et huile se dilatera, verra son volume se développer dans l'eau² ; ce qui fait dire à l'auteur que seul ce dernier mélange est réellement approprié pour la préparation des joints.

Il existe plusieurs techniques d'extinction, la plus courante et la plus ancienne étant l'extinction en fosse (Palazzo-Bertholon 1998, p.27). Le mélange chaux et eau est brassé régulièrement jusqu'à dislocation complète des particules de chaux, formant alors une pâte onctueuse mais encore fluide, qui est ensuite versée dans des bassins. L'eau excédentaire est éliminée par évaporation et par filtrage dans le sol naturel. Après quelques jours de repos (jusqu'à vingt jours) la pâte devient blanche, onctueuse et souple, déjà dotée de propriétés

² Il faut signaler que le volume du Ca(OH)₂ est 40 % plus important que celui du CaO pour un poids équivalent.

liantes, mais son séjour doit être prolongé afin que les processus de cristallisation arrivent à maturation. Pline l'Ancien rapporte une loi « d'autrefois » interdisant un entrepreneur d'utiliser une chaux de moins de trois ans (Pline, *Hist. Nat.*, XXXVI, 55) ; il n'y a toutefois aucune corrélation réellement établie entre l'âge de la chaux et sa qualité. La conservation peut se faire sous couverture (de sable mouillé ou de terre) ou non. Ce dernier type implique la formation d'une croûte de calcite à la surface qui constitue une protection naturelle contre une carbonatation trop précoce de l'ensemble.

L'extinction de la chaux vive peut se faire par l'utilisateur sur le chantier, s'il possède assez de place et de temps pour cela, sinon par le chaufournier. On a de nombreux exemples de petites fosses quadrangulaires, à cuvelage de planches de bois ou de dalles de terre cuite, servant à l'extinction de la chaux vive et/ou à la conservation de la chaux éteinte. Ces bacs sont pratiquement absents des sites de production (Lavergne et Suméra 2000). Trois ont été découverts à la *villa* de Touffréville (Coulthard 2000, p.170), dont on connaît bien l'activité de fabrication de chaux vive. Le *terminus post quem* de l'abandon d'une des fosses se situerait dans la seconde moitié du I^{er} siècle après J.-C.

Le site de Molesme « Sur-les-Creux » a révélé une fosse de ce type, datée vraisemblablement du I^{er} s. ap. J.-C. Il s'agit d'une petite fosse quadrangulaire (1,52 x 1,28 m) aux angles arrondis, à parois verticales et fond plat, conservée sur une profondeur voisine de 40 cm (le volume initial avoisinait certainement le m³). Sous le niveau de remblai caillouteux qui scelle la fosse, se rencontre une épaisse couche de chaux qui comble l'ensemble de la dépression (Petit et Wahlen 2000). Plus épaisse du côté sud (30 cm), cette couche compacte se creuse au centre de la fosse pour remonter légèrement sur les parois (fig.I.40). Cette masse de chaux repose sur une sorte de plancher horizontal constitué de sept planches de sapin grossièrement juxtaposées bord à bord sans chevilles ni clous de fixation. Il est probable que les parois de la fosse ont été cuvelées de planchettes posées verticalement ; deux fragments en place ont été découverts. Cette fosse ne contenait aucun autre mobilier archéologique.

L'absence de sable mélangé à la chaux tend à prouver que cette excavation aménagée dans le substrat de marnes imperméables est bien une fosse à chaux, plus qu'une cuve d'élaboration du mortier. Son utilisation pouvait se faire ponctuellement, éventuellement sur une longue durée, en fonction des besoins en mortier.

Il nous a été confié plusieurs prélèvements du matériau présent dans cette fosse d'extinction et de conservation de la chaux. Nous avons effectué diverses analyses sur ces éléments. Les observations en microscopie optique montrent une chaux parfaitement

homogène, sans aucune « pollution », aucun dégraissant n'étant effectivement déjà présent. L'aspect du matériau correspond à celui des « grumeaux de chaux » que l'on retrouve fréquemment dans les mortiers, ces pustules blanches qui ont pour origine, lorsqu'il ne s'agit pas d'incuits, une mauvaise extinction de la chaux ou une mauvaise homogénéisation du mélange. La masse de chaux n'était pas compacte, et l'on observe actuellement des cristallisations de microcristaux de calcite sur les parois de vides polyconcaves, les remplissant parfois totalement, témoignant ainsi de la circulation de fluides chargés de calcium. Il faut d'ailleurs signaler que le contenu de la fosse était très humide lors de son dégagement et que la chaux ne se présentait pas sous la configuration d'une poudre blanche, mais d'une pâte.

La diffraction des rayons X est un peu plus riche d'enseignements concernant l'homogénéité de ce matériau. Nous avons choisi d'analyser deux fragments qui ne provenaient pas exactement du même emplacement (nommés MOS 01 et MOS 02). Le premier nous montre la présence de calcite et de heulandite en plus faible proportion (une zéolite lamellaire calcique, les zéolites étant une famille de tectosilicates hydratés). L'identification de calcite nous informe de la *carbonatation* de la chaux éteinte. Le deuxième échantillon est plus riche ; outre la calcite (dominante) et la heulandite, ressortent du quartz, de la weddellite et de la portlandite (Fig.I.41). Le quartz pourrait provenir de la pierre à chaux ou d'une pollution due au remplissage tardif de la fosse. La weddellite est un oxalate de calcium, de formule $\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$, un produit d'altération des roches calcaires (Bacci *et al.* 1997). Il faut voir ici l'altération de la calcite issue de la carbonatation de la chaux. Enfin, la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ témoigne d'une carbonatation incomplète de la chaux éteinte, même après deux millénaires. Ceci témoigne peut-être de comportements différents du matériau suivant sa position dans la fosse, la partie inférieure étant vraisemblablement bien trop humide et/ou isolée de l'atmosphère pour permettre à la réaction de carbonatation de se produire complètement (cf. *infra*).

L'étape suivante était le transport de la chaux éteinte jusqu'au lieu de gâchage à l'aide de seaux (parfois métalliques) ou, plus fréquemment, dans des amphores dont on avait brisé la partie haute et étroite (Adam 1995, p.78). Michel Frizot a eu la possibilité d'analyser le contenu d'une de ces amphores en provenance du Monument de Vaugrenier (Frizot 1975, p.207), lui permettant de mettre en évidence la grande pureté de la pierre à chaux exploitée pour ce chantier.



Fig.I.40. Fosse à chaux à cuvelage de planches de sapin. Molesme « Sur-les-Creux » (photo Petit & Wahlen 2000).

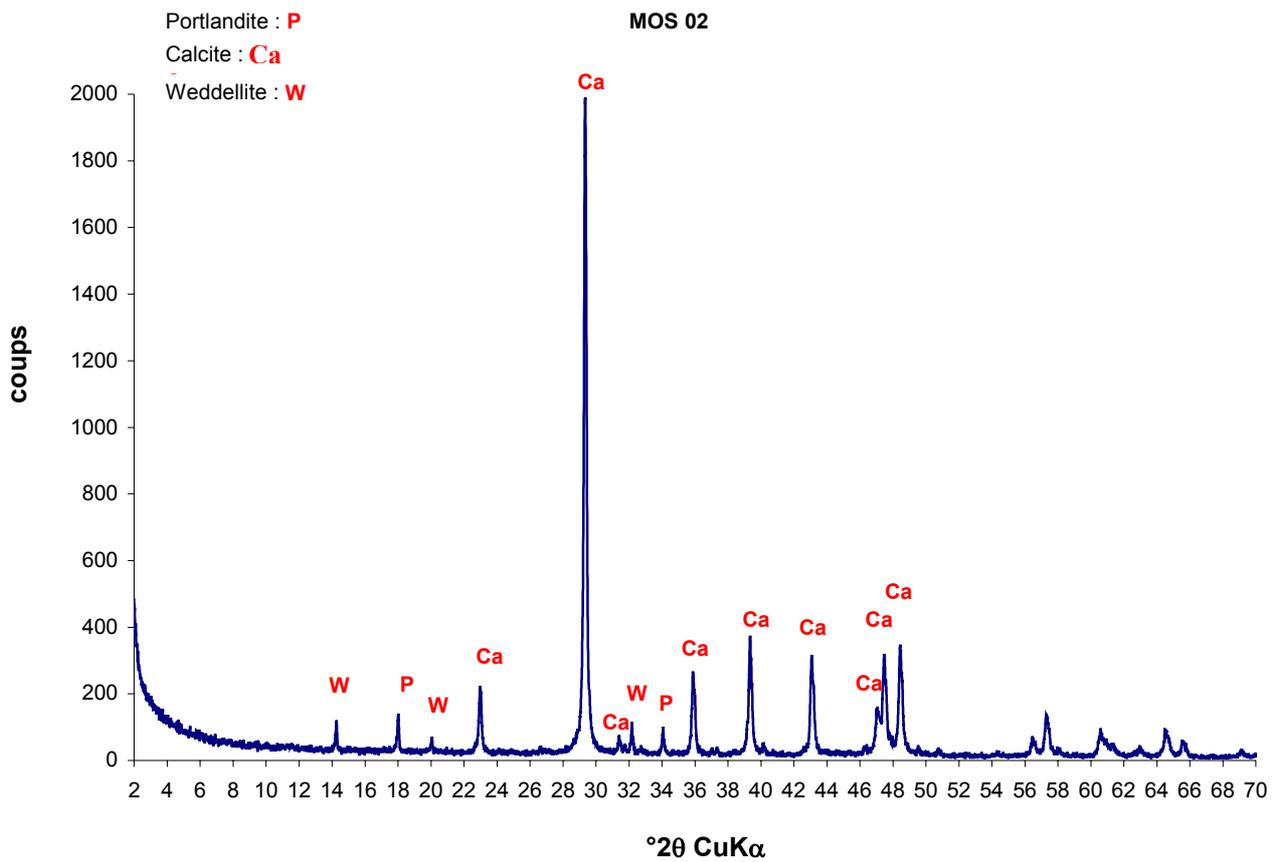


Fig.I.41. Diagramme de diffraction des rayons X du contenu de la fosse à chaux.

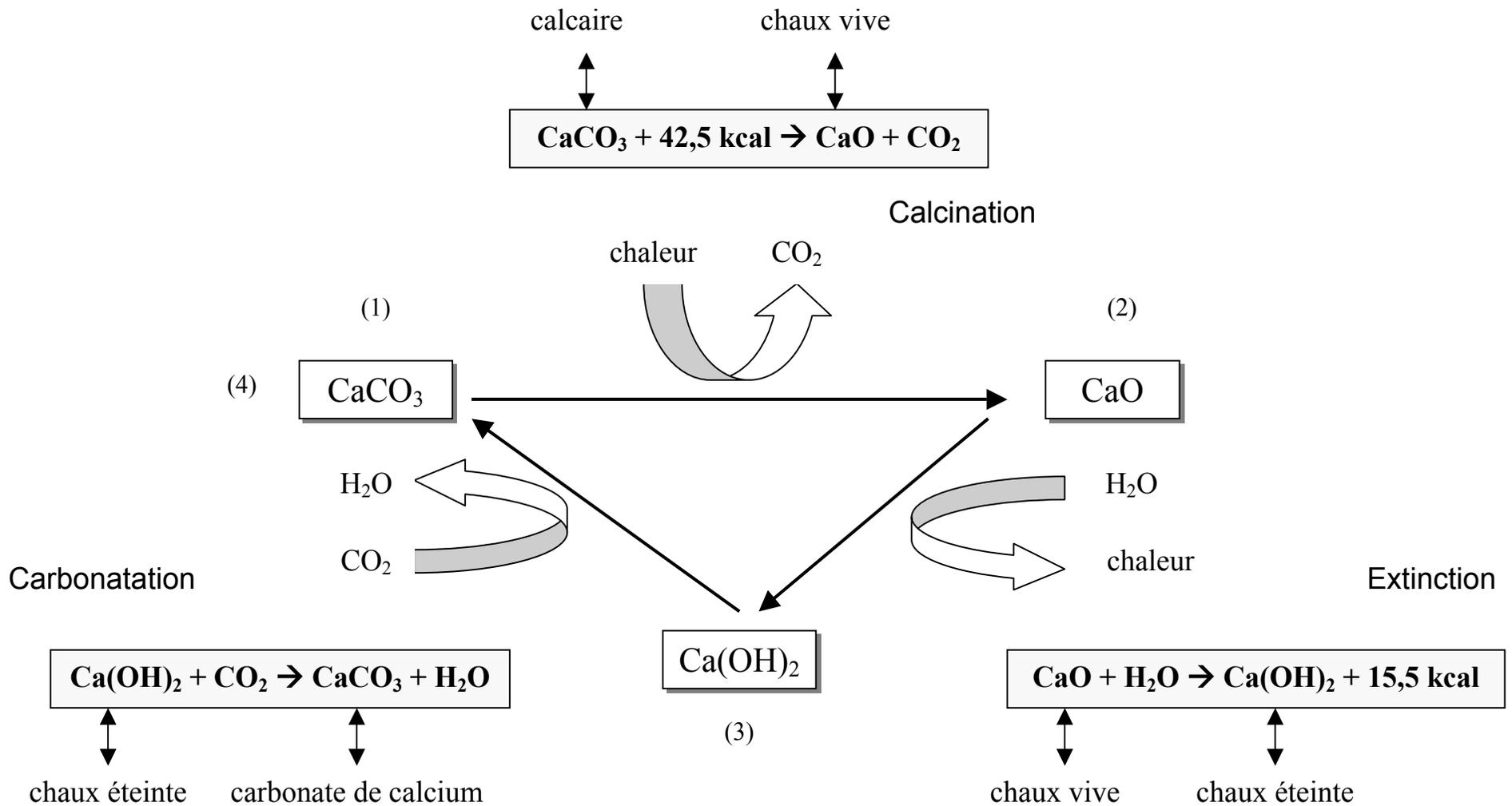
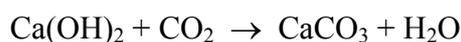


Fig.I.42. Cycle de la chaux.

I.3.2. De la pâte à la pierre artificielle

a) La carbonatation et les types de chaux

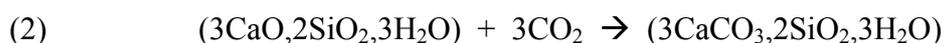
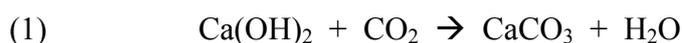
Dans la préparation du mortier, l'ensemble des transformations que vont subir la pierre à chaux et la chaux est une boucle. D'un carbonate de calcium, on obtient à la fin, de nouveau, un carbonate de calcium (fig.I.42) ; mais cela seulement lorsque la chaux s'obtient par calcination de calcaires purs. Si la roche contient moins de 1 % d'argile, la chaux tirée de ce calcaire est une *chaux grasse*. Si la teneur en argile est comprise entre 2 et 8 % on obtient une *chaux maigre* qui donnera un mélange moins facile à mettre en œuvre car moins onctueux qu'avec une chaux grasse. Ces deux types de chaux sont des *chaux aériennes*, c'est à dire qu'en présence du CO₂ d'origine atmosphérique interviendra une réaction de *carbonatation* :



Il y a cristallisation de calcite (carbonate de calcium CaCO₃), qui entraînera le durcissement de la masse ; c'est le phénomène de *prise*. On dissocie généralement, dans la littérature, la prise du durcissement. La première est souvent considérée comme la cause et le deuxième comme le résultat. Ce n'est qu'en partie vraie, le durcissement pouvant s'initier lors de l'évaporation de l'eau, et augmenter sur une très longue période par interaction chaux/granulat. La carbonatation se produit en milieu humide (Canonge *et al.* 1998). Elle nécessite de l'eau au départ car le gaz carbonique (CO₂) ne réagit pas à sec sur la portlandite, mais il est prouvé que l'humidité de l'air suffit pour cela, d'autant plus que la réaction libère elle-même de l'eau (Deloye 1996) ; la vapeur d'eau forme avec le gaz carbonique (CO₂) l'acide carbonique (HCO₃⁻), puis la chaux fixe le CO₂ contenu dans cet acide pour former le carbonate de calcium. Cette carbonatation s'effectue dès la mise en œuvre du mortier. Mais cette réaction est très lente ; 60 à 70 % de la chaux est transformé en carbonates après deux à trois semaines. Il faut souvent attendre près d'un an avant que la totalité de la maçonnerie soit carbonatée. Puisque le CO₂ atmosphérique doit pénétrer dans le mortier pour qu'il y ait possibilité d'échanges, ce phénomène est directement dépendant de la porosité du mortier. Ainsi, il a été remarqué que le cœur de certaines maçonneries antiques montrait parfois des phénomènes de tassement, la chaux non carbonatée y ayant gardé toute sa plasticité. Mais, rappelons-le, la lenteur du phénomène de prise (caractéristique liée aux chaux aériennes)

n'était pas considérée comme un handicap par les bâtisseurs romains, elle était même prisée, puisqu'elle permettait par la plasticité des mortiers un tassement lent et progressif de la construction au fur et à mesure de son élévation, ainsi qu'une excellente répartition des pressions (Adam 1995, p.76).

La carbonatation des mortiers de chaux est un phénomène extrêmement complexe. Elle est influencée, semble-t-il, par la diffusion du dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique dans la porosité du mortier, par la réactivité de la chaux et par le climat (humidité, vent, température ; van Balen & van Gemert 1994). Peu d'études ont porté sur cette question, l'essentiel des travaux de ces dernières années ayant tenté de comprendre les processus de carbonatation intervenant dans les ciments actuels. Dans ces matériaux, la carbonatation correspond à une cristallisation de carbonate de calcium et de composés silico-calciques (« silicocarbonates ») intervenant par réaction entre le CO₂ atmosphérique et (1) la portlandite (Ca(OH)₂) et (2) le CaO des C-S-H (cf. *infra*) de la matrice (Papadakis *et al.* 1992).



L'absorption du CO₂ atmosphérique par les mortiers de ciment a donc été étudié. Des modèles mathématiques de l'évolution de la carbonatation avec le temps ont été établis en fonction de la profondeur (Papadakis *et al.* 1992), à partir de la diffusivité effective du CO₂ (qui dépend du volume, de la structure et du degré de saturation des pores), prenant en compte la réaction du matériau (changements de porosité). Il a été montré par ailleurs que les processus de carbonatation et de décarbonatation des ciments pouvaient être suivis grâce aux variations isotopiques en ¹³C et ¹⁸C (isotopes stables) du CO₃⁼ (Rafai *et al.* 1992, Letolle *et al.* 1992) : les carbonates secondaires, issus de la dissolution des premières cristallisations de calcite et de silicocarbonates, auront des rapports isotopiques différents des carbonates primaires (conditions de cristallisation différentes)³.

L'application de ces méthodes à l'étude des mortiers de chaux anciens a montré que le rapport isotopique du ¹³C des carbonates de calcium des mortiers dépend de plusieurs paramètres, tels que la température de la réaction, la composition isotopique du CO₂ atmosphérique et les caractéristiques de la diffusion des isotopes (du CO₂) dans les pores. Les

³ A noter que l'étude des isotopes du carbone et de l'oxygène permet, dans une analyse chimique, de dissocier la calcite issue de la carbonatation de la chaux de celle correspondant à la charge du mortier ; Rafai *et al.* 1992, Letolle *et al.* 1992).

modèles actuels postulent donc que l'on peut suivre, à partir de l'étude des isotopes, le transport et la réaction du CO₂ dans la matrice. Ces deux processus sont considérés comme une fonction de la distance depuis la surface du mortier. Il semble toutefois que les mécanismes soient plus complexes (Zouridakis *et al.* 2000).

Lorsque les calcaires contiennent 8 à 20 % d'argile (20 % étant la limite au-delà de laquelle la roche n'est plus considérée comme exploitable pour la fabrication de la chaux) leur calcination donne une *chaux hydraulique (stricto sensu)*. Lors de la cuisson le calcium se combine avec les éléments chimiques des argiles, tels que le fer, l'aluminium et surtout le silicium, pour former un mélange de silicates, aluminates et ferroaluminates de calcium. Par contact avec l'eau ces corps vont former des hydrates insolubles (surtout des silicates de calcium hydratés) qui confèrent au liant un caractère hydraulique (prise hydraulique lors du gâchage), c'est à dire qu'il pourra rapidement faire prise avec l'eau, sans air, et qu'il aura une bonne résistance à l'eau (le mortier pourra même faire prise sous l'eau). Si le mortier est en contact avec de l'air humide, la chaux et les hydrates vont se carbonater pour donner le carbonate de calcium et de la silice : c'est la partie aérienne de la prise (Canonge *et al.* 1998). Cette réaction prend plusieurs mois.

En théorie, devraient se retrouver dans ces chaux hydrauliques les mêmes composés que dans les ciments Portland actuels. Leur identification n'est pas aisée du fait des variations de leur cristallinité et de la faible dimension des particules (Charola & Henriques 2000). Les composés les plus souvent cités sont⁴ :

- Le silicate tricalcique (l'*alite*) de formule Ca_3SiO_5 ou encore $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$, c'est-à-dire, dans la nomenclature des cimentiers, C_3S .
- Le silicate bicalcique de formule $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ ou encore $\beta\text{-2CaO}.\text{SiO}_2$, soit $\beta\text{-C}_2\text{S}$.
- L'aluminate tricalcique $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ou encore $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$, soit C_3A .
- L'aluminoferrite tétracalcique $\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$ ou encore $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$, soit C_4AF .
- On trouve aussi cités dans la littérature d'autres composés, tels que C_2F et $\text{C}_6\text{A}_2\text{F}$.

Certains auteurs ont fait remarquer que l'alite (C_3S) ne se forme pas dans les chaux hydrauliques anciennes (Banfill & Forster 2000), à cause de températures de calcination trop faibles : les chaux s'obtiennent après calcination de calcaires à température comprise entre

⁴ Nomenclatures d'après : Charola & Henriques 2000, Masse 1993, Fournier 1975.

800 et 1000°C environ, alors que les ciments Portland sont obtenus après cuisson des mélanges à une température de 1450°C environ.

Dans les mortiers préparés avec ces chaux hydrauliques anciennes pourront se former certains C-S-H, associés au carbonate de calcium. Il s'agit de gels de silicate (ou aluminosilicate) de calcium hydratés, au ratio CaO/SiO₂ variable, dépendant notamment de la composition d'origine de la chaux et de l'état d'altération du mortier (décalcification des C-S-H ; Rougeau 1994). Au contraire des ciments, où les C-S-H se forment rapidement à partir des C₃S, ces composés hydratés se formeront dans les mortiers hydrauliques à partir des C₂S (voir Rayment & Pettifer 1987), puis secondairement des C₄AF et de la Gehlenite (C₂AS), ce qui explique la relative lenteur de la prise en comparaison des *ordinary portland ciment* (O.P.C.).

Afin de déterminer rapidement la qualité hydraulique d'un mortier, on a été amené à introduire l'*indice d'hydraulicité* (Papadakis et Venuat 1974), qui correspond à un rapport simple « i » qui croît avec le caractère hydraulique d'un mortier :

$$\text{Indice d'hydraulicité : } i = \frac{\text{SiO}_2 \text{ soluble} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

Des essais en laboratoire sur des chaux industrielles (éprouvettes conservées à l'air humide, 90 % d'hygrométrie) ont montré que le temps avant le début de la prise dépendait directement de l'indice d'hydraulicité (tabl.I.43, d'après Fournier 1975).

Indice d'hydraulicité	Temps avant le début de la prise
0,080	20 heures
0,050	28 heures
0,025	3 jours
Pratiquement nul	Pas de début de prise après 60 jours

Tabl.I.43. Temps avant le début de la prise en fonction de l'indice d'hydraulicité (d'après Fournier 1975).

M. Frizot dénonçait il y a plusieurs années la mauvaise utilisation du terme « hydraulique » (Frizot 1975, p.26), trop souvent employé pour désigner des mortiers résistants et durs. Si les mortiers hydrauliques sont souvent plus résistants que les mortiers de chaux aériennes, cette dureté n'est pas leur apanage ; nombreux sont ceux de piètre qualité, et fréquents sont les mortiers de chaux aériennes possédant de très bonnes propriétés mécaniques. La dureté d'un mortier ne dépend pas seulement de la présence de composés hydrauliques, mais aussi, notamment, de la qualité de sa mise en œuvre et de sa conservation.

Lorsque la roche carbonatée contient plus de 5 % de magnésium (on parle de calcaire dolomitique jusqu'à 50 % de dolomite, au-delà c'est une *dolomie*) la chaux fabriquée est appelée chaux dolomitique ou magnésienne. Pour les questions spécifiques d'apparition de phases dans ces types de chaux et mortiers nous renverrons aux écrits de Bläuer-Böhm & Jägers 1996. Il est toutefois intéressant de signaler que des branches de la réaction de prise du mortier de chaux magnésienne, notamment la formation de brucite ($Mg(OH)_2$), ne peuvent se produire que sous l'eau ou en milieu très humide, tandis que d'autres nécessitent de large quantité de CO_2 . Cela signifie que, pour une même composition chimique d'origine, la minéralogie de la matrice du mortier n'est pas fixée, elle dépendra de son « histoire ».

b) Le granulat

Il ne nous semble prématuré d'établir ici une liste exhaustive de tous les granulats qui ont été découverts dans les mortiers de chaux, car ils n'ont aucun sens coupés de leurs environnements archéologique et géologique.

Le granulat est primordial pour la fabrication d'un liant architectural à base de chaux. Un sable quartzueux, ou n'importe quel autre sable *inerte* (pas ou quasiment pas d'interactions chimiques avec la matrice), mélangé avec la chaux, permet de neutraliser le retrait (la contraction lors de la carbonatation), d'assurer une porosité effective au mortier et de lui donner une résistance mécanique acceptable (Goins 2000). Son rôle de charge permet aussi, par l'apport de son volume, d'économiser sur l'emploi de la chaux. Ainsi, la chaux aérienne n'est jamais employée seule comme liant architectural dans la maçonnerie, sinon plusieurs phénomènes secondaires apparaîtraient : la perte de volume due à la carbonatation serait à l'origine d'une indésirable fissuration ; le cœur de la masse ne pourrait pas durcir, faute de

contact avec l'air, et la plasticité interne provoquerait des tassements et des glissements dangereux pour la structure.

La granulométrie de la charge des mortiers n'est pas sans importance. On sait par exemple que la compacité du mortier – c'est-à-dire le rapport entre le volume des agrégats et le volume total du mortier – sera la meilleure avec une charge contenant 2/3 de gros grains (diamètre supérieur à 2 mm) pour 1/3 de grains très fins (diamètre inférieur à 63 μm), ces derniers comblant les espaces entre les plus gros. Cette bonne compacité doit permettre d'établir un contact entre chaque grain, ce qui accroît la résistance du mortier (Canonge *et al.* 1998). Si cette propriété est recherchée, c'est donc qu'elle ne se produit pas souvent. En fait, dans la nature, les grès se forment avec cristallisation d'une matrice interstitielle, c'est-à-dire par un comblement des vides existants entre les grains de sable déjà déposés, et donc en contact les uns avec les autres. Pour un mortier il en est tout autrement, puisqu'il s'agit de la cristallisation d'une pâte contenant du sable : les grains « flottent » dans le mélange, les contacts entre eux sont limités.

Loin de ces considérations toutes théoriques, plusieurs travaux, résumés dans Frizot 1975, ont établi des courbes granulométriques de référence plus à même d'être comparées aux courbes granulométriques de la charge des mortiers ou des formations sableuses susceptibles d'avoir été exploitées. L'auteur a remarqué que la majeure partie des sables utilisés dans la région étudiée (Bourgogne) dans l'Antiquité se classent à l'intérieur des limites recommandées à l'époque moderne. Seulement une telle affirmation se doit d'être nuancée.

L'analyse granulométrique est un moyen d'analyse très puissant, d'autant plus intéressant que la granulométrie est généralement un critère assez fort de différenciation des mortiers. Malheureusement elle présente un grand nombre d'inconvénients. Le premier, et non le moindre, est la quantité de matériau nécessaire pour effectuer une analyse qui soit statistiquement valide. Si obtenir un grand volume (plusieurs centaines de grammes) est possible pour des mortiers de blocage ou des bétons de sol, cela devient plus périlleux lorsque l'on souhaite acquérir des mortiers de jointoiement ou d'enduit, qui plus est d'enduit peint, dont chaque couche doit être analysée indépendamment des autres. La désagrégation du matériau est nécessaire pour pouvoir récupérer le granulat. La technique est donc particulièrement destructive. Elle est aussi agressive pour le granulat, puisque la méthode généralement employée pour désagréger le matériau est une dissolution à l'acide de la matrice carbonatée, entraînant par la même la disparition du granulat carbonaté. L'analyse granulométrique ne porte donc pas sur la totalité de la charge, mais seulement sur la fraction

non carbonatée. On voit de suite l'ambiguïté de cette méthode, qui favorise les comparaisons des matériaux sur des critères qui, bien que propres au mortier, ne correspondent pas à ses caractéristiques réelles.

Si le granulat est parfaitement siliceux alors elle devient pleinement exploitable. Seulement, sur quoi porte les informations ? Qu'est-ce qui est obtenu ? La courbe granulométrique représentera la charge du mortier *stricto sensu* s'il y a eu mélange de diverses matières premières pour le granulat. Sinon, si la source est unique et géologique, la courbe renverra à une formation sableuse, celle source du granulat. Dans ce deuxième cas, les courbes obtenues ne peuvent en aucun cas être perçues comme la marque d'un choix, d'un trait technique amenant à établir un mortier avec telles ou telles caractéristiques granulométriques ; la finesse et éventuellement le mélange entre des particules fines et d'autres plus grossières (le tri) peuvent avoir été recherchées, mais on peut fortement douter d'une connaissance précise des courbes granulométriques optimales de la part des Anciens ; ce qui signifie que la courbe analysée donnera plus d'informations sur la formation sableuse exploitée que sur le savoir-faire technique des architectes. En d'autres termes, s'il est indéniable que le choix de telle ou telle formation géologique meuble est d'une importance capitale pour la fabrication du mortier (il tient une « place de choix » dans ce système technique), il ne faut pas considérer toutes les caractéristiques de la charge comme porteuses de signification, mais comprendre le poids de la dictature de la formation sableuse sur le cortège de minéraux et ses particularités (morphologiques, granulométriques, etc.) ; c'est valable aussi bien pour l'analyse granulométrique que pour les autres méthodes analytiques.

Une classification des agrégats peut se faire suivant leur granulométrie. Nous la rappelons ici car les termes de la classification sont tirés du langage commun, donc très usités, mais souvent de mauvaise façon (tabl.I.44).

Dénomination des éléments		mm (AFNOR)
Graviers		> 2
Sables	Très grossiers	1,250
	Grossiers	0,630
	Moyens	0,315
	Fins	0,125
	Très fins	0,063
Silts	Grossiers	0,040
	Moyens	0,020
	Fins	0,010
	Très fins	0,004
Argiles		< 0,004

Tabl.I.44. Echelle et dénominations granulométriques (d'après Chamley 1987) ; l'argile est prise ici dans sa définition granulométrique, non minéralogique.

Cette classification ne tient pas compte de la nature du granulat. On serait donc tenté de l'étendre à tous types d'agrégats, qu'ils soient par exemple minéraux ou végétaux, naturels ou artificiels. Cependant, cela pouvant très vite porter à confusion, nous préconisons de conserver ces termes uniquement pour des éléments minéraux et naturels, quitte à illustrer la granulométrie des autres éléments par la formule « de la dimension des... ».

c) Les recettes antiques

1) Le choix du sable naturel

Les textes de plusieurs auteurs antiques, concernant la pratique du mortier de chaux, nous sont parvenus. Les trois auteurs principaux sont Caton l'Ancien (II^e siècle av. J.-C.), Vitruve (I^{er} s. av. J.-C.) et Plin l'Ancien (I^{er} ap. J.-C.). Les écrits les plus déterminants sur la préparation des mortiers sont ceux de Vitruve, qui a vraisemblablement rédigé ses dix livres d'architecture sur une décennie autour de 27 av. J.-C.

Dans le chapitre 4 de son livre II, « du sable » (*De harena*), il prévient de faire attention au sable que l'on emploie pour faire le mortier. L'emploi du terme *harena* ne serait pas anodin, il marquerait la distinction entre un sable fin non mêlé de terre et le *sabulo* qui est au contraire naturellement mêlé à de la terre ou de l'argile, et dont on se sert pour la fabrication des briques crues⁵ (*De Architectura*, II, 3). Pour cet architecte, il y a trois types de sable : le sable « fossile », le sable de rivière et le sable marin.

Le sable de rivière et le sable marin (ou plutôt de bord de mer) ne sont pas bien considérés par l'auteur car ils présenteraient des inconvénients majeurs : ils sèchent difficilement dans les maçonneries et s'il n'y a pas de pauses dans la construction du mur celui-ci ne supportera pas la charge d'une maçonnerie continue ; le sable marin présente aussi l'inconvénient de rejeter du sel faisant ainsi s'effriter les couches d'enduits. Ils sont indiqués comme sources de remplacement s'il n'y a pas de sable fossile ; tout comme les « graviers », le sable de rivière peut nécessiter un criblage. En revanche le sable de rivière est apprécié pour les enduits où, grâce à sa nature « maigre », il devient ferme (!?), empêchant le mélange chaux, sable et paille de se fissurer.

Le sable fossile est un sable de carrière. Pour l'auteur, le meilleur est celui qui crisse lorsqu'on le frotte dans la main et qui ne laisse aucune trace et pas de terre sur une toile blanche. Les sables fossiles ont, toujours pour l'auteur (*De Architectura*, II.4.3), la propriété de sécher facilement dans les maçonneries, s'il s'agit d'un sable extrait depuis peu. S'ils restent longtemps en attente d'utilisation, ils se désagrègent « sous la brûlure du soleil, de la lune ou du gel et deviennent terreux ». Cette affirmation est de première importance, elle résume à elle seule toute l'ambiguïté d'une transposition des textes de Vitruve au métier de la maçonnerie antique de régions autres que celles fréquentées par l'auteur. Vitruve a choisi de parler de préférence des carrières des environs de Rome, du Latium et de l'Etrurie méridionale (P. Gros, note 150 dans Callebat 1999). La description qu'il donne des sables fossiles (*De Architectura*, IV, 1) les caractérise presque uniquement par leur couleur, soit noire, gris blanchâtre ou rouge. Un tel sable, ne devant pas laisser de traces sur un linge blanc, s'accorde mal avec la masse de matières premières présentes dans les régions de Gaule, à savoir un sable silicaté ou calcaire, dont la coloration vient, pour l'essentiel, d'une « contamination » en éléments fins, argiles ou limons, qui laisseraient inmanquablement des traces sur le linge. Les régions dont fait référence Vitruve sont géologiquement riches en matériel volcanique. La coloration et l'altération naturelle des sables fossiles de Vitruve

⁵ Commentaires de P. Gros du livre II (traduction Callebat, 1999), note 4.1.2.

renvoient de fait à ces formations meubles d'origine magmatique (par exemple les tufs pulvérulents des environs de Rome). Les critères de reconnaissance entre le sable fossile et la pouzzolane (cendres volcaniques employées pour les mortiers hydrauliques, cf. *infra*), à laquelle l'auteur consacre un chapitre particulier (*De Architectura*, II, 6), ne semblent découler que de la finesse de la pouzzolane (c'est une « poudre ») et de la présence de cette dernière dans des lieux caractérisés par une activité thermique importante⁶, sans nécessairement une activité éruptive reconnue, pour qu'elle assèche cette matière, donnant au mortier ses propriétés de durcir en absorbant de l'eau. On ne peut donc être qu'extrêmement méfiant quant à l'exploitation des recettes préconisées par Vitruve car, de toute évidence, le sable fossile correspond à des analogues naturels des pouzzolanes, plus compacts, tels des tufs altérés. Cela explique l'emploi du terme de « sable de carrière » (*l'harena fossicia*) dans le chapitre 6 à la place de « pouzzolane » (*pulus puteolanus*), et l'affirmation de Vitruve qu'il ne s'en trouve pas au-delà de l'Apennin, du côté de l'Adriatique ou encore en Asie.

La lecture du texte de Vitruve permet donc à elle seule de relever l'ambiguïté entre sable fossile et pouzzolane. Il nous paraît étonnant qu'une telle empreinte de la géologie du Latium et de Campanie visible dans les prescriptions de cet auteur n'ait pas été plus souvent mise en avant, chaque fois en fait que les recettes furent appelées en référence. L'étonnement grandit lorsque l'on s'aperçoit que G. Lugli employait déjà le terme de *pozzolana* pour traduire *harena*, considérant les sables fossiles comme des sables pouzzolaniques (Lugli 1957 p.398, Lugli 1956 p.99, repris dans Davidovits 1994)⁷.

Un autre problème d'interprétation du texte de Vitruve se pose ; il concerne les sables de rivière. Cette dénomination devrait signifier une exploitation du lit des rivières pour l'extraction du sable. Seulement, qu'en est-il des berges et par extension des terrasses alluviales ? Sont-elles considérées comme appartenant au système alluvial, ou leur exploitation pourrait-elle déjà renvoyer à une dénomination de sable de carrière⁸ pendant la période antique ?

Si l'on se réfère au texte antique, livre II chapitre 4, la première occurrence est :

⁶ Mais non dans toutes les régions où se trouvent des sources chaudes, « tout est créé en fonction de ce qu'a établi la nature, non pour répondre aux souhaits des hommes » (*De Architectura*, II, 6).

⁷ Chez Davidovits 1994, les sables de rivière sont associés à une nature quartzreuse et les sables marins à une nature calcaire ; il n'y a en fait aucune correspondance entre natures et origines.

⁸ Dans une optique où l'on dépasse le cadre géographique et géologique imposé par Vitruve.

« Si cependant il n'y a pas de carrière d'où le sable puisse être extrait, on le tirera des fleuves ou du gravier, en le passant au crible »⁹ (traduction Callebat).

Une autre, un peu plus loin, chapitre 6, participe à la démonstration de la diversité de la nature des terres suivant les régions :

« Certains sols sont de nature terreuse d'autres alluvionnaires et aussi graveleuses, mais dans d'autres lieux il y en a de nature sablonneuse et également rocheuse ».

Il semble, finalement, que ce type de matières premières soit toujours associé dans le texte à des matériaux graveleux. C'est donc qu'une relation existe, mais aussi que l'auteur fait une distinction. Si l'on adopte une vision généralisatrice de l'environnement géologique d'une vallée, les alluvions récentes se présentent sous l'aspect d'une masse limoneuse ou limono-sableuse et souvent organique, alors que les alluvions anciennes, présentes aussi en système de terrasses, sont plus grossières, riches en graviers. Les formations grossières ont pu être exploitées pour fournir du sable, après criblage, tel que signifié par Vitruve. Ce sable, qui n'est pas considéré comme fossile ou de carrière, n'est donc pas plus un sable de rivière. Il faut peut-être voir ici un aspect de la connaissance géologique des Romains qui auraient su voir dans les terrasses la marque des anciennes divagations des cours d'eau cheminant en contre-bas. Ainsi, pour les régions auxquelles Vitruve fait référence, les terrasses alluviales pourraient être associées aux « sables de rivière ». Pour d'autres régions, celles de Gaule particulièrement, les distinctions entre les « sables de carrière » et les sables alluviaux sont plus difficiles, puisque la nature des grains peut ne pas diverger, laissant alors aux *structores* (maçons) le libre choix de la source, à proximité ou non des rivières, sans réelles répercussions sur la propriété des matériaux de chaux. Quant à l'exploitation du lit des rivières au sens strict, elle reste parfaitement plausible, plusieurs exemples de mollusques d'eau douce ayant été signalés ou repérés dans les mortiers, en association avec le granulat.

⁹ « Sin autem non erunt harenaria unde fodiat, tum de fluminibus aut e glareis erit excernenda » (Vitruve, *De Architectura*, II, 4.2).

2) Les recettes : nature et proportion du granulat

La nature et la proportion du granulat varient suivant l'usage du mortier. Les recettes de Vitruve pour les mortiers de construction sont les suivantes (tabl.I.45) :

Liant	Agrégat	Utilisation	Chapitre
1 volume de chaux	3 volumes de sable « fossile » (de carrière)	Maçonnerie de moellons	II, 5
1 volume de chaux	2 volumes de sable de rivière ou de mer	”	II, 5
1 volume de chaux	2 volumes de sable de rivière ou de mer et 1 volume de tuileau	”	II, 5
1 volume de chaux	2 volumes de pouzzolane	”	V, 12 (« des ports et de la maçonnerie dans l'eau »)

Tabl.I.45. Recettes préconisées par Vitruve pour la confection des mortiers (d’après Adam 1995).

Pour les revêtements des corniches Vitruve (*De Architectura*, VII, 3) recommande tout d'abord l'application de trois couches de mortier de chaux et de sable, ensuite la mise en œuvre de trois couches de mortier de chaux et de poudre de marbre, de plus en plus fine au fur et à mesure que l'on s'éloigne du revers (face appliquée contre le mur). Pour les plafonds voûtés le revêtement se fait en trois couches : un premier enduit composé de chaux et de gravier, puis on égalise au mortier de chaux et de sable avant d'appliquer un mélange de chaux et de craie ou de marbre (*De Architectura*, VII, 3).

La paille pouvait se rajouter au mortier d’enduit, avec un rôle d'armature, créant un réseau tissé de fibres empêchant la fissuration au séchage, tout comme les soies animales ou encore les feuilles d'olivier.

Ce n'est pas le seul exemple de l'emploi de végétaux. Pour le sol des salles à manger d'hiver (*De Architectura*, VII, 4) « on étend une couche de mortier de chaux et de ciment [il s'agirait de tuileau], qui, étant un peu élevé au milieu, va en pente des deux côtés vers des canaux où il y a des ouvertures. Là-dessus on met du charbon de bois que l'on bat et que l'on

tasse fortement ; on le couvre ensuite d'un autre enduit composé de chaux, de sable et de cendre, de l'épaisseur d'un demi-pied » (Perrault). L'utilisation de charbons de bois n'est pas exceptionnelle, les murs du cryptoportique à Arles, par exemple, sont revêtus d'un épais mortier de chaux et de charbon de bois. Les cendres de toute espèce de bois sont utilisées pour la confection de mortiers d'ouvrages exposés successivement à l'humidité et à la sécheresse (Biston 1836).

d) La pouzzolanité

1) La pouzzolane

« Il y a aussi un genre de poudre qui a, par nature, des propriétés remarquables. Elle se forme dans la région de Baies et sur le territoire des municipes qui sont aux alentours du Vésuve. Mêlée à la chaux et aux moellons, non seulement elle assure la solidité des différentes constructions, mais, plus particulièrement aussi, elle fait s'affermir sous l'eau la maçonnerie des digues de mer. » (Vitruve, *De Architectura*, II, 6 ; traduction Callebat).

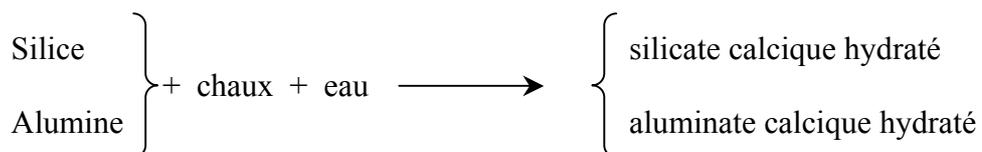
Cette poudre c'est la pouzzolane. Elle est conseillée par Vitruve pour les ouvrages hydrauliques car elle donne au mortier la propriété de durcir sous l'eau.

Les pouzzolanes de Pozzuoli (localité de Pouzzoles, une ville proche de Naples), mais aussi du Latium, sont des roches pyroclastiques meubles ou de faible cohésion provenant des éruptions volcaniques de type explosif (Furlan et Houst 1980, p.30). Vitruve considérait à tort qu'il ne s'en trouvait pas ailleurs qu'au sud des Monts Apennins. En fait le terme de pouzzolanes s'applique à tout un ensemble de matériaux volcaniques meubles, non cimentés, émis puis déposés par voie aérienne et refroidis dans l'air (Fisher & Schmincke 1984).

Actuellement, ce terme est employé pour tous les matériaux siliceux ou silico-alumineux qui ne possèdent pas en eux-mêmes de propriétés liantes mais qui, sous forme finement divisée et en présence d'humidité, réagissent chimiquement avec l'hydroxyde de calcium (chaux éteinte) à température ordinaire pour former des composés possédant des propriétés liantes ; c'est pourquoi, parmi les pouzzolanes naturelles et artificielles, se retrouvent les roches tufeuses broyées (tel le « trass » du Rhin), les argiles naturellement cuites et les terres cuites, les terres à diatomées et les cendres volantes (résidus de combustion de houille ou lignite des centrales thermiques).

2) L'activité pouzzolanique

La réactivité des pouzzolanes volcaniques (aspect chimique de la pouzzolanité) est fonction de la nature et de la proportion des phases qui les composent. Parmi celles-ci, on retrouve le verre volcanique, très sensible au pH basique développé par la chaux en solution, qui tend à se dissoudre par attaque calcobasique. Cette phase vitreuse, soluble, est potentiellement la seule réactive (Pichon *et al.* 1996). Le schéma, simpliste, de la réaction, peut s'écrire sous la forme (Dron 1978) :



L'analyse d'un mélange chaux éteinte-pouzzolane de proportion 1:1 (rapportée dans Charola & Henriques 2000) a montré après sept jours la présence d'aluminat de calcium hydraté ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_7 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), de silicate de calcium hydraté ($5\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) et de portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Les aluminates et silicates de calcium se présentaient en cristaux polygonaux croissant à partir de la surface des pouzzolanes. Pour un mélange chaux-pouzzolane-sable de proportion 4:1:10, aucun silicate ou aluminat de calcium n'a pu être identifié après deux mois, et la portlandite s'est convertie en calcite. En fait, seuls des ajouts importants permettent d'exploiter au mieux les propriétés et avantages des matériaux pouzzolaniques (Furlan et Houst 1980).

De nos jours, les pouzzolanes sont normalement utilisées avec des chaux à haute teneur en calcium. Le temps de prise de tels mélanges varie de 1 à 3 heures pour le début de la prise et de 10 à 12 heures pour la fin de la prise. Les résistances mécaniques obtenues avec ces mélanges varient selon le rapport chaux-pouzzolane. A court terme, avec des matériaux finement divisés et bien mélangés, la résistance maximum est obtenue avec un rapport chaux-pouzzolane d'environ 1:4. A long terme (environ 1 an), les mélanges 1:3 à 1:2 donnent les meilleures résistances (Furlan et Houst 1980).

3) Les terres cuites : des pouzzolanes artificielles

Les minéraux argileux non chauffés sont, globalement, considérés comme de possibles équivalents des pouzzolanes naturelles, du fait de leur haute teneur en SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 . L'étude des mortiers des thermes du Vieil-Evreux (Eure ; cf. chap. II.2/J) nous a confronté à plusieurs familles de mortiers de chaux et de sable quartzeux particulièrement enrichis en minéraux argileux. Il s'agit d'argiles d'illuviation*, qui se déposent après migration dans le profil des sols pédologiques sur les parois des vides laissés entre les grains de quartz. Elles sont colorées par des oxydes de fer, jaunes à orangées (voir fig.I.6). Une analyse par diffraction des rayons X a révélé leur nature : il s'agit de kaolinite. Dans les mortiers correspondants, des silicates et aluminates de calcium hydratés, supposés en microscopie optique, ont été « repérés » par EDS au MEB (fig.I.46 et 47). La présence des argiles d'illuviation intégrées au mortier avec le sable a entraîné la formation dans la matrice, par réaction avec la chaux, de composés pouzzolaniques¹⁰.

Les minéraux argileux sont des phyllosilicates (minéraux « en feuillets ») constitués de couches de tétraèdres et de couches d'octaèdres. Les tétraèdres sont de composition T_2O_5 . Leur centre est occupé par « T », un cation « tétraédrique », essentiellement Si, Al et Fe^{3+} . L'oxygène occupe les sommets. Les octaèdres ont leurs sommets occupés par des oxygènes et des hydroxydes OH ; au centre se trouve un cation octaédrique, généralement Mg, Al, Fe^{2+} ou Fe^{3+} . Les couches sont reliées par les O et OH mis en commun. L'empilement des couches forme un feuillet (Caillère *et al.* 1982a). Par exemple (fig.I.48) :

- Feuillet 1:1, une couche tétraédrique plus une couche octaédrique.
- Feuillet 2:1, une couche octaédrique entre deux couches tétraédriques.

Une classification des minéraux argileux est effectuée, prenant en compte au premier niveau la constitution du feuillet (tabl.I.49).

¹⁰ Cette interprétation est fondée sur les analyses EDS des nodules résiduels de chaux (les grumeaux) présents dans le mortier, qui sont constitués, en leur centre, de calcium pur. Cela rejoint les observations de Franzini *et al.* (1999) qui ont noté que les grumeaux sont peu affectés par la présence de matériaux pouzzolaniques, à l'inverse de la chaux constituant le reste de la matrice du mortier. L'analyse des grumeaux serait donc un moyen relativement sûr de vérifier l'emploi d'une chaux hydraulique ou non.

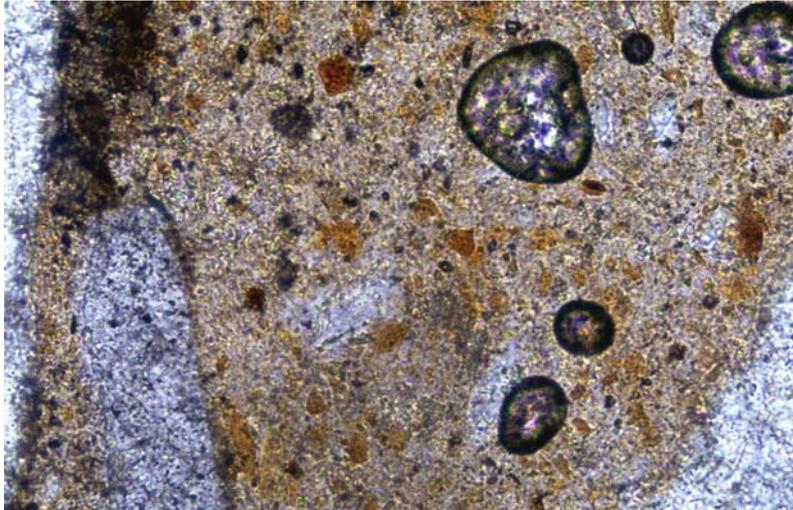


Fig.I.46a. Matrice colorée en LPNA d'un mortier de chaux et de sable siliceux contenant des argiles d'illuviation. Thermes du Vieil-Evreux, échantillon ARC 11, type TVE-RO1.

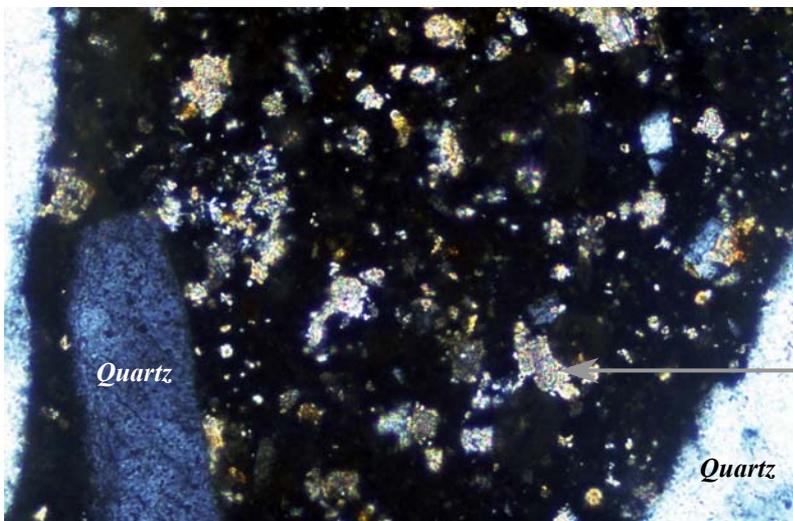
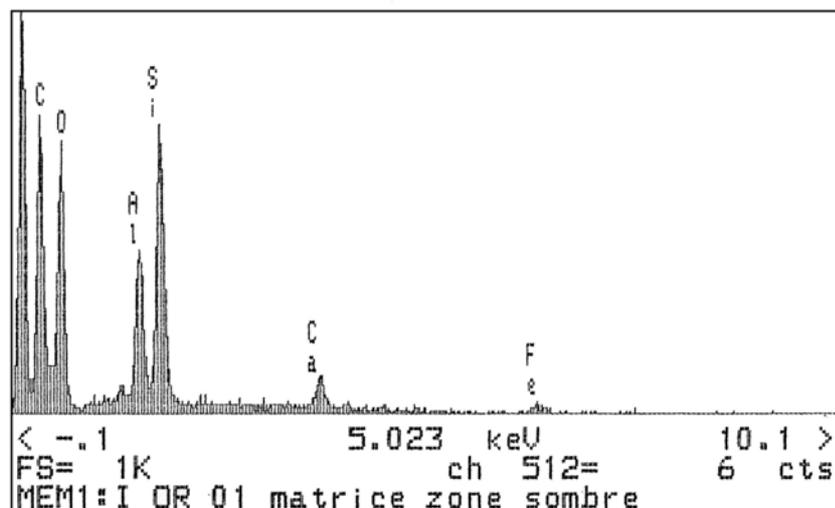


Fig.I.46b. La matrice colorée en LPNA est opaque en LPA. Sont visibles des cristaux de calcite et des fragments d'argiles d'illuviation.

Fig.I.47. Spectre de fluorescence X de la matrice sombre en LPNA. Les proportions sont relatives (analyse qualitative).



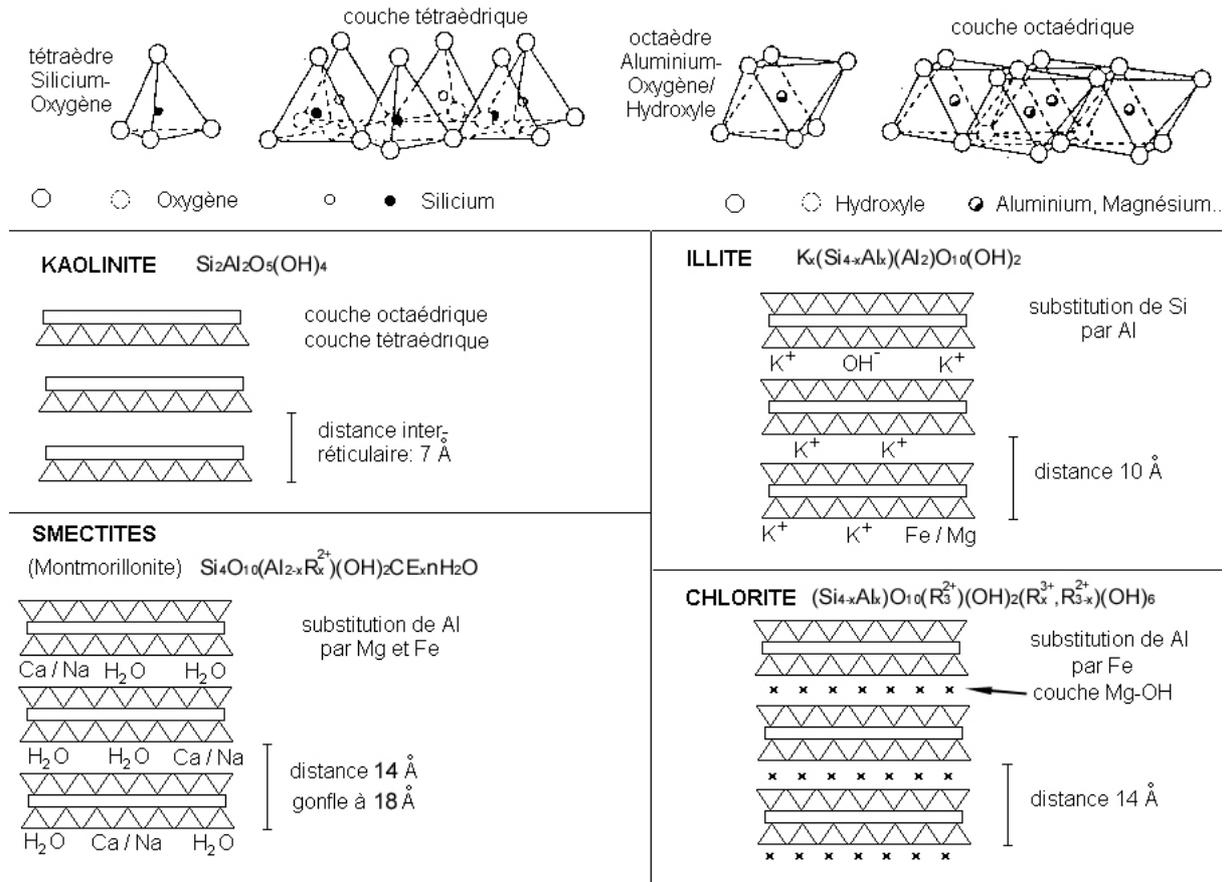


Fig.I.48. Structure des minéraux argileux. « R » correspond aux cations des couches octaédriques. Il s'agit essentiellement, pour les montmorillonites, de Mg^{2+} . Pour le groupe de la chlorite, Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} et Ni^{2+} sont les plus fréquents parmi les cations divalents, de même que Al^{3+} , Fe^{3+} et Cr^{3+} pour les trivalents. Le terme « CE » renvoie aux cations échangeables présents entre les feuillets. Le gonflement des smectites se produit sous l'effet de l'adsorption d'eau entre les feuillets.

L'espace qui se trouve entre les feuillets est appelé espace interfoliaire. Il peut être vide, mais contient le plus souvent des cations, des groupes hydroxylés ou des couches d'hydroxydes.

Tous les minéraux argileux n'ont pas le même comportement avec les phases liquides. La demande en eau de mélange pour un mortier de chaux, de sable et d'argile dépendra directement du cortège de minéraux argileux. La montmorillonite particulièrement possède des propriétés d'adsorption des molécules d'eau dans les espaces interfoliaires, qui se traduisent par des phénomènes gênants de gonflement. La montmorillonite non cuite réagit avec le $Ca(OH)_2$ pour former des composés pouzzolaniques, mais sa forte demande en eau lors de la confection du mortier la rend impropre comme additif (Liebig & Althaus 1997).

Structure du feuillet	Groupe	Sous-groupe	Espèce (exemple)	Formule « idéale » de l'espèce ou du groupe
1:1	Serpentine-Kaolinite	Serpentines	Antigorite	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
		Kaolinite	Kaolinite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
2:1	Talc-Pyrophyllite	Talcs	Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
		Pyrophyllites	Pyrophyllite	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$
	Smectite	Smectites trioctaédriques	Saponite	$(Si_{(4-x)}Al_x)O_{10}(Mg_{3-y}R^{3+}_y)(OH)_2CE_xnH_2O$
		Smectites dioctaédriques	Montmorillonite	$Si_4O_{10}(Al_{(2-x)}R^{2+}_x)(OH)_2CE_xnH_2O$
	Vermiculite	Vermiculites trioctaédriques	Vermiculite	$[Si_{4-x}Al_x]O_{10}[R^{2+}_{3-y}R^{3+}_y](OH)_2,nH_2O$
		Vermiculites dioctaédriques	Vermiculite dioctaédrique	
	Mica-Illite	Illites	Illite	$(K)_x(Si_{(4-x)}Al_x)O_{10}(Al_2)(OH)_2$
	Chlorite	Chlorites trioctaédriques	Clinochlore	$(Si_{(4-x)}Al_x)O_{10}(R^{2+}_3)(OH)_2(R^{2+}_{(3-x)}, R^{3+}_x)(OH)_6$
		Chlorites dioctaédriques	Sudoite	
	2:1	Sepiolite-Palygorskite ¹¹	Sepiolites	Sepiolite
Palygorskites			Palygorskite	$(Mg_{(5-y-z)}R^{3+}_yR^{2+}_z)(Si_{(8-x)}R^{3+}_x)O_{20}(OH)_2(OH_2)_4,R^{2+}_{(x-y+2z)/2},4H_2O$

Tabl.I.49. Classification des minéraux argileux (d'après Mackenzie 1970, Brindley & Brown 1980 et Caillère *et al.* 1982b).

La calcination de ces minéraux réduit considérablement ces inconvénients. La calcination des argiles à température comprise entre 600 et 900°C entraîne le départ des hydroxyles, c'est-à-dire l'eau de constitution, jusqu'à détruire la structure cristallographique. Il en résulte un produit amorphe riche en silice et alumine qui peut réagir rapidement, à température ambiante et en présence d'eau, avec l'hydroxyde de calcium (Furlan et Houst 1980, Charola & Henriques 2000). He *et al.* (1995) ont étudié l'accroissement de l'activité pouzzolanique des argiles suivant leur température de cuisson, déduite notamment des tests de compression. Le tableau I.50 témoigne des avantages inégaux des différentes matières premières et, surtout, de variations de température de cuisson optimale suivant chaque minéral.

¹¹ Minéraux à pseudo-feuillets et à faciès fibreux (Caillère *et al.* 1982b).

Minéral	Température optimale (°C)	Résistance à la compression verticale (en MPa) de mortiers contenant :	
		Argile crue	Argile cuite
Kaolinite	650	37,5	84,6
Ca-montmorillonite	830	53,6	86,7
Na-montmorillonite	830	29,8	78,1
Sépiolite	830	14,2	58,3
Illite	930	38,5	54,6
Interstratifiés illite/smectite	960	25,2	77,9

Tabl.I.50. Essais après 28 jours de résistance à la compression verticale de mortiers contenant des minéraux argileux non traités ou à traitement thermique optimum (d'après He *et al.* 1995).

Certains auteurs considèrent que des températures dépassant les 900°C ne permettent pas d'obtenir des produits pouzzolaniques (perte des propriétés) et que toutes les minéraux argileux cuits ne possèdent pas de caractère pouzzolanique. Par voie de conséquence, toutes les terres cuites « anciennes » ne seraient pas nécessairement de bonnes pouzzolanes artificielles (voir en particulier Binda *et al.* 2000).

Cependant, dans une optique plus globale, les essais d'emploi d'argiles cuites ou plus particulièrement de terres cuites broyées ont montré que cet ajout augmente la résistance mécanique et la durabilité du matériau. Les résultats montrent que les fragments de brique de granulométrie fine, aux particules de diamètre inférieur à 75 µm, peuvent agir telles des pouzzolanes réactives, jouant sur la rapidité de la prise et augmentant la durabilité (Teutonico *et al.* 2000). Il est en effet recommandé, d'une manière générale, de broyer finement les matériaux pouzzolaniques afin d'augmenter la surface spécifique* totale des éléments, et donc la surface totale de contact entre la chaux et les pouzzolanes (Baronio *et al.* 1997).

Le domaine des mortiers et bétons de tuileau anciens présentent bon nombre de matériaux exempts de poussière de tuileau, chargés au contraire de fragments de plusieurs centaines de micromètres voire de plusieurs millimètres. Dans les mélanges à gros éléments la

coloration de la matrice ne présente alors aucune teinte rose caractéristique des « mortiers hydrauliques ». La surface spécifique totale de ces pouzzolanes artificielles est bien plus faible. Les réactions pouzzolaniques sont limitées aux seules bordures des morceaux de brique.

Les réactions de bordure tuileau-chaux s'observent fréquemment en microscopie optique (fig.I.51). Des analyses de ces interfaces à la microsonde au MEB nous ont révélé des teneurs en Si et Al qui marquent la transition entre la composition de la brique et celle du liant calcitique du mortier. Ces résultats sont en concordance avec les travaux de Moropoulou *et al.* 1997 qui portaient sur un nombre restreint de points. La figure I.52 montre la diminution relativement progressive des teneurs en Si, Al et K, du tuileau jusqu'à la zone « intacte » de la matrice calcitique du mortier. La teneur en calcium reste faible dans toute l'interface, mais remonte dans le tuileau. Dans la partie « mortier » de cette interface une zone irrégulière plus claire sur l'échantillon brut est interprétée comme le remplacement des carbonates par divers silicates de calcium. Dans la partie « brique » de cette interface, une plage, qui peut atteindre 1 mm de large (Charola & Henriques 2000), est enrichie en calcite.

La formation de ces bordures est supposée correspondre à la dissolution partielle des silicates des terres cuites (de basse température, < 900°C) en contact avec un environnement alcalin (action de la chaux et de l'eau), suivie de la formation de nouveaux silicates (composés pouzzolaniques) avec, éventuellement, migration et carbonatation de la chaux dans la brique, remplissant ainsi les espaces entre les deux systèmes et remplissant les vides de la terre cuite, créant ainsi une continuité qui augmente leur adhérence (Baronio *et al.* 1997, Charola & Henriques 2000).

La cathodoluminescence permet parfois d'observer les remplissages des vides du tuileau par la chaux, ensuite recarbonatée en calcite (fig.I.53). Les zones d'interface peuvent aussi se révéler. L'échantillon QDE 30A, un béton de tuileau en provenance des thermes de l'Esplanade (Arles ; cf. *infra*), montre effectivement sur les parois de plusieurs fragments des zones de réactions luminescentes, pour la partie accolée au fragment, et plus sombres pour la partie interne. Tous les éléments de terre cuite présents dans le béton ne montrent pas ce phénomène (fig.I.54). Ces réponses diverses à l'agression calcobasique s'expliquent vraisemblablement par des compositions et des températures de cuisson différentes suivant les fragments (la charge du béton est constituée d'un mélange de plusieurs variétés de terres cuites), certaines conditions de préparation des briques (température > 900°C ?) inhibant la réactivité de ces pouzzolanes artificielles ou leur réponse en cathodoluminescence.

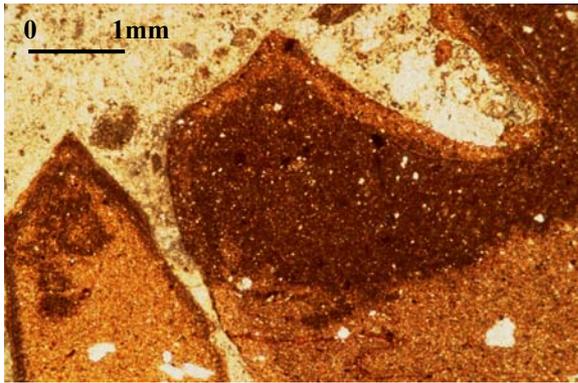


Fig.I.51. Tuileaux montrant des bordures particulières au contact avec la chaux. Béton de tuileau QDE 30A, thermes de l'Esplanade (Arles). LPNA.

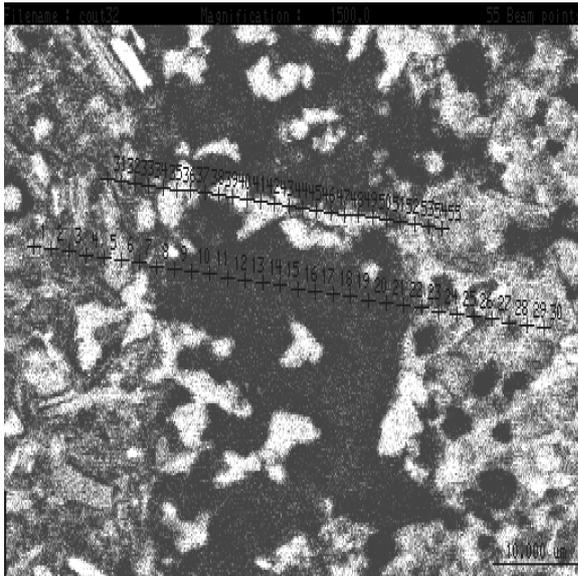
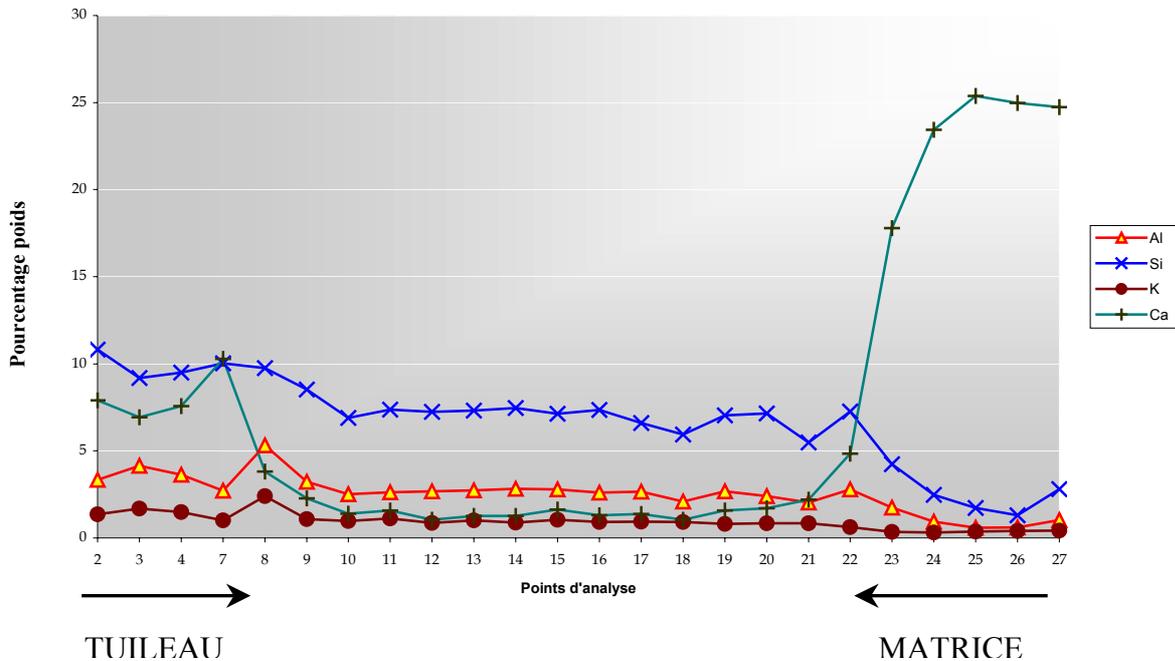


Fig.I.52a. Détail du contact tuileau (à gauche) et chaux (à droite), avec zone de transition (bande sombre au centre). Les plages blanches dispersées dans la bande sombre sont constituées de calcium. Echantillon QDE30A, MEB.

Fig.I.52b. Teneurs relatives en éléments chimiques, du tuileau jusqu'à la matrice carbonatée, pour la série d'analyses de l'image I.52a (points 2 à 27). Certains points correspondant au dégraissant de la terre cuite ont été omis.



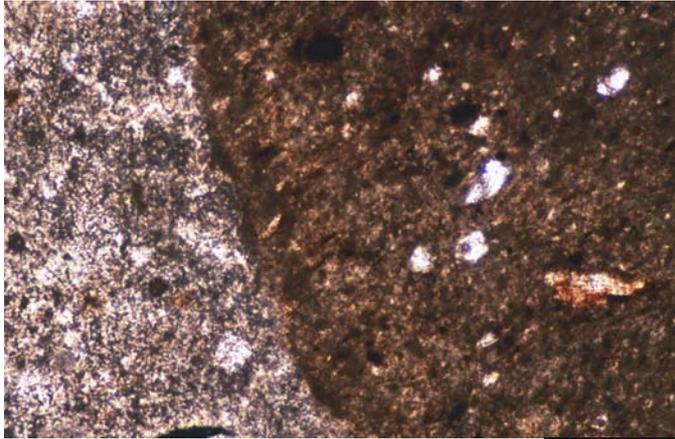


Fig.I.53a. Béton de tuileau QDE 30A, détail du contact entre la terre cuite (à droite) et la matrice du béton (à gauche). LPNA.

Fig.I.53b. Image en cathodoluminescence de la zone, montrant la présence de calcite dans les pores du tuileau et en concentration contre sa paroi extérieure.

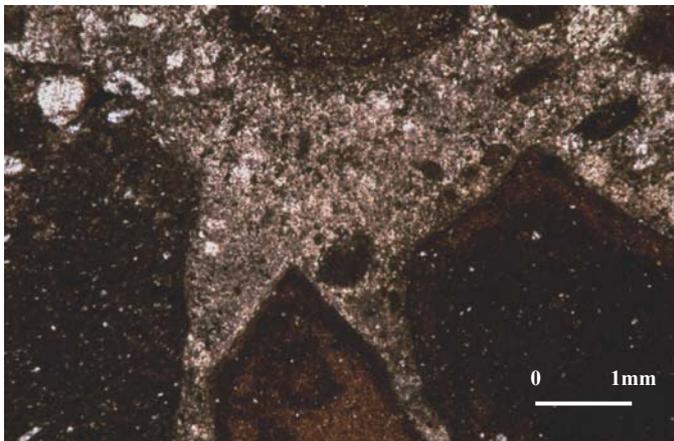
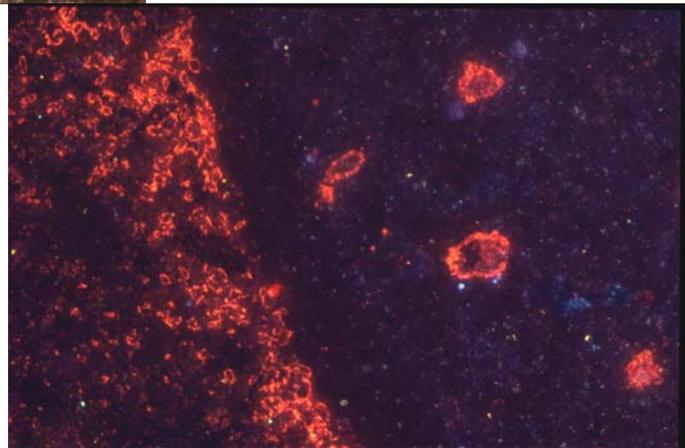
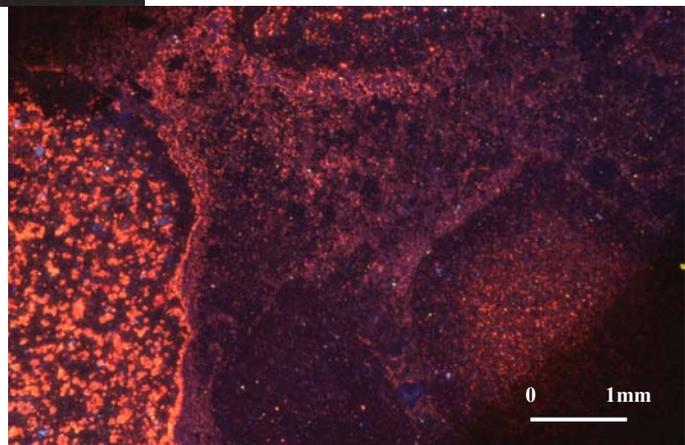


Fig.I.54a. Béton de tuileau QDE30A. LPNA.

Fig.I.54b. Image en cathodoluminescence, montrant les différences de réponses suivant les fragments de tuileau.



L'interaction chaux / terre cuite trouve un autre terrain dans les parements des murs de briques, au contact des joints de mortier. Il est aisé de se faire une idée de l'importance d'un tel phénomène lors des phases de prélèvements sur le terrain : l'adhérence mortier / brique est telle qu'il est fréquent que ce soit la brique qui cède au moment de l'échantillonnage, alors qu'un joint de mortier entre deux moellons en pierre cèdera quasi-systématiquement au niveau du contact mortier / pierre. Les phénomènes intervenant à l'interface entre le liant architectural et la brique sont de même ordre que ceux décrits précédemment. Francini *et al.* (1999) les avaient déduits de l'identification de composés hydrauliques dans des joints de structures en briques, alors qu'il s'agissait de l'utilisation d'une chaux aérienne mêlée à des constituants inertes. Nous les avons observés sur des échantillons des piliers maçonnés du cryptoportique d'Arles (voir *supra*, fig.I.26 et 27). Les observations à l'œil nu et en microscopie optique ont révélé une large zone de réaction à l'intérieur de la brique (3mm) ; l'analyse multispectrale couplée à la micro-imagerie nous a permis de déceler la fine zone de réaction à l'interface mortier / brique (voir fig.I.28). La migration de calcium dans la terre cuite et la mise en place d'une zone de réaction, assurant la continuité entre les deux systèmes, sont venues renforcer la cohésion de la structure.

En résumé, dans les pouzzolanes, c'est le verre volcanique, phase vitreuse soluble, qui est réactif. Dans les terres cuites, la cuisson des argiles entraîne la formation d'un verre réactif, au même titre que celui des pouzzolanes ; cette équivalence autorise l'appellation de pouzzolane artificielle pour le tuileau mais, nous l'avons dit, avec une prudence de rigueur au regard des réponses différentes des terres cuites selon la composition des argiles d'origine et la température de cuisson.

DEUXIEME PARTIE :

LE CORPUS

Les enduits peints

Les mortiers de maçonnerie

Ribemont-sur-Ancre

Conclusions

II. Deuxième Partie : Le corpus, les études de sites

Parce que la connaissance d'un matériau ne se résume pas à la détermination de sa composition, une étude approfondie des sites et ensembles archéologiques a été menée, en vue d'établir quelle position typo-chronologique et fonctionnelle tenait chaque échantillon. Comme précédemment discuté (cf. chap. I), les connaissances (1) de la valeur d'un type de mortier et (2) de la représentativité d'un échantillon dépendent largement du cortège de prélèvements, qui arbitrera d'autant plus les interprétations qu'il sera important.

De ce fait, si l'échantillonnage s'est voulu le plus représentatif possible de l'ensemble des utilisations des liants de chaux, chaque étude de site s'est préférentiellement attachée à un éclaircissement du cadre chronostratigraphique des mortiers de maçonnerie, afin, dans un second temps, de regrouper tous les mortiers contemporains ; les mortiers de maçonnerie constituent la colonne vertébrale de cette évolution chronologique, auxquels se raccrochent ensuite les enduits et les sols, plus liés aux « salles » qu'aux « murs »¹².

Nous dissocierez par convention les études en deux, avec un pôle « mortiers de maçonnerie » et un autre « enduits peints ». Seul le sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (Somme) a bénéficié d'une étude conjointe des peintures murales et des maçonneries. Notre recherche sur les mortiers de construction gallo-romains repose sur un corpus de sites axé principalement sur deux régions : le Bassin parisien et la ville antique d'Arles (fig.II.1). Les édifices étudiés, datés de la fin du I^{er} avant J.-C. au IV^e siècle après J.-C. (fig.II.2a), sont pour l'essentiel des monuments publics.

Les études d'enduits peints (chap. II.1) ont été menées en partenariat avec le Centre d'Etudes des Peintures Murales Romaines (CEPMR). Cette collaboration nous a permis d'intervenir sur des peintures murales issues de toutes les provinces de la Gaule romaine et dont la datation, assurée dans la plupart des cas, recouvre de plus une bonne part de la période gallo-romaine (peintures datées de la fin du I^{er} avant J.-C. au début du IV^e siècle après J.-C. ; fig.II.2b). Les travaux ont porté soit sur des échantillons de référence du CEPMR, soit sur des ensembles de peintures en cours d'étude et de reconstitution. Dans ce dernier cas de figure, tous les fragments du décor ont pu être observés, et l'analyse porter sur un minimum d'échantillons afin de ne pas gêner la reconstitution. Pour trois études (Périgueux, Rouen et Vichten) d'un décor unique, un échantillon de référence aura suffi pour l'analyse du support,

¹² Une salle peut subir plusieurs phases de revêtement sans pour autant subir des réfections de maçonneries.

celui-ci étant le même pour l'ensemble des fragments. Ces études seront présentées en dernier ; nous mettrons en avant les travaux ayant mis en évidence l'existence de plusieurs supports de peintures, qu'ils soient issus de divers édifices ou d'un seul.

L'étude des peintures du temple hellénistique du sanctuaire de Zeus, à Jerash (Jordanie), sera présentée en fin du chapitre II.1. Ce site, le seul hors de la Gaule romaine, a été abordé avec pour objectif de tester la méthodologie sur des ensembles autres que gallo-romains, tout en nous permettant d'entamer une comparaison entre les pratiques identifiées en Gaule et celles retrouvées pour des environnements culturels éloignés. La diversité des utilisations des liants et la richesse de l'échantillonnage font de ce site une référence pour la compréhension des pratiques du métier antique de « stucateur ».

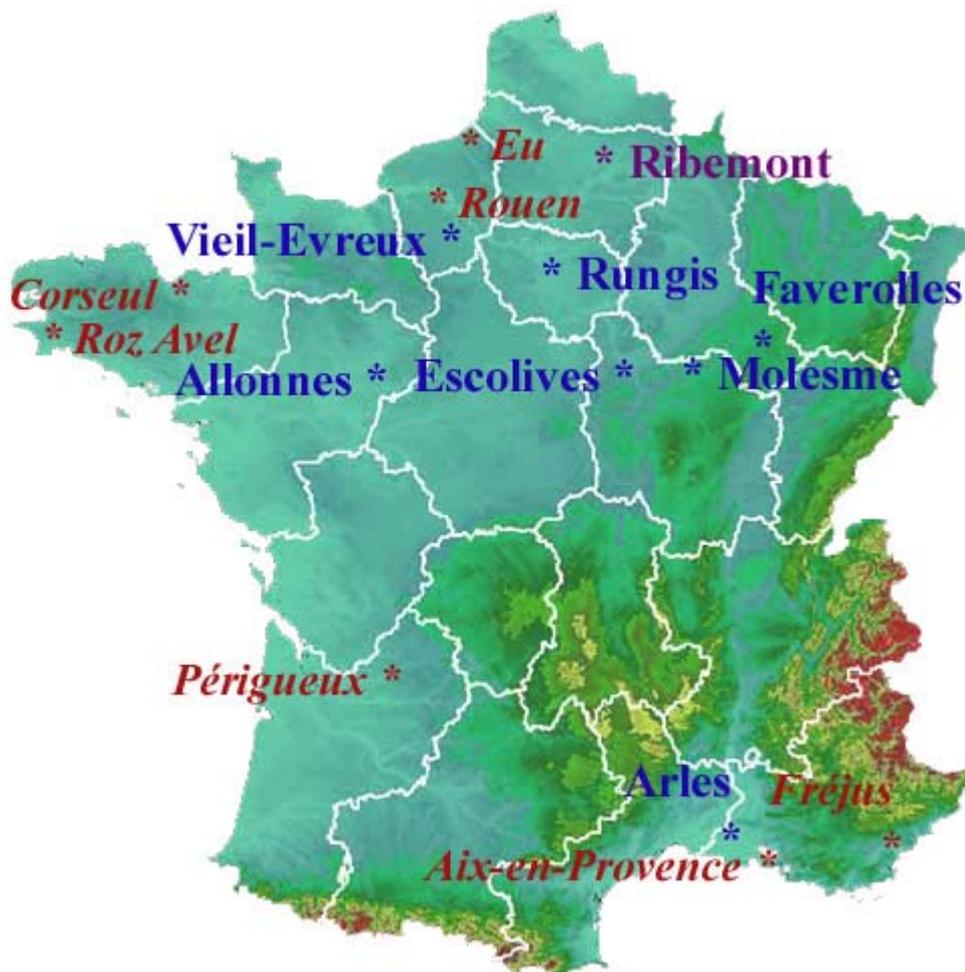


Fig.II.1. Répartition géographique, pour la France, des sites archéologiques étudiés (chap. II.2) et, en italique, des sites d'origine des ensembles de peintures murales analysés (chap. II.1).

L'étude de l'environnement géologique sera systématiquement présentée. Deux approches ont été mises en œuvre pour ce travail, selon les problématiques, la nature des matériaux et la stratégie d'échantillonnage.

L'analyse des environnements géologiques s'est limitée à un travail cartographique et bibliographique pour les études d'enduits peints. Il s'agit de déterminer pour ces matériaux si les matières premières sont locales ou non (pour des questions de circulation d'atelier, par exemple), et surtout d'établir quelles sont les compositions des couches. Le métier antique de « stucateur » est en effet principalement perçu par l'identification de la nature des couches de mortier (mortier de sable, mortier de tuileau ou mortier de marbre broyé ou avec un substitut) et la description de leur stratigraphie. Ce sont ces deux points qui seront principalement discutés par la suite (cf. chap. III et IV).

L'approche fondée sur les recherches bibliographiques et cartographiques a été employée pour l'étude des sites archéologiques (chap. II.2). Elle a toutefois été enrichie par de fréquentes études de terrain, afin de répondre à des questions touchant à la fois au chantier de construction, à la variabilité des matières premières et à leurs traitements éventuels. Une telle démarche sera principalement présentée pour le site des thermes du Vieil-Evreux, dont les résultats, primordiaux pour la compréhension du chantier et obtenus après étude bibliographique, ont été validés par les prospections géologiques sur le terrain. Cette étude sera la première présentée ; les autres suivront selon un ordre fondé, *grosso modo*, sur l'importance de l'échantillonnage.

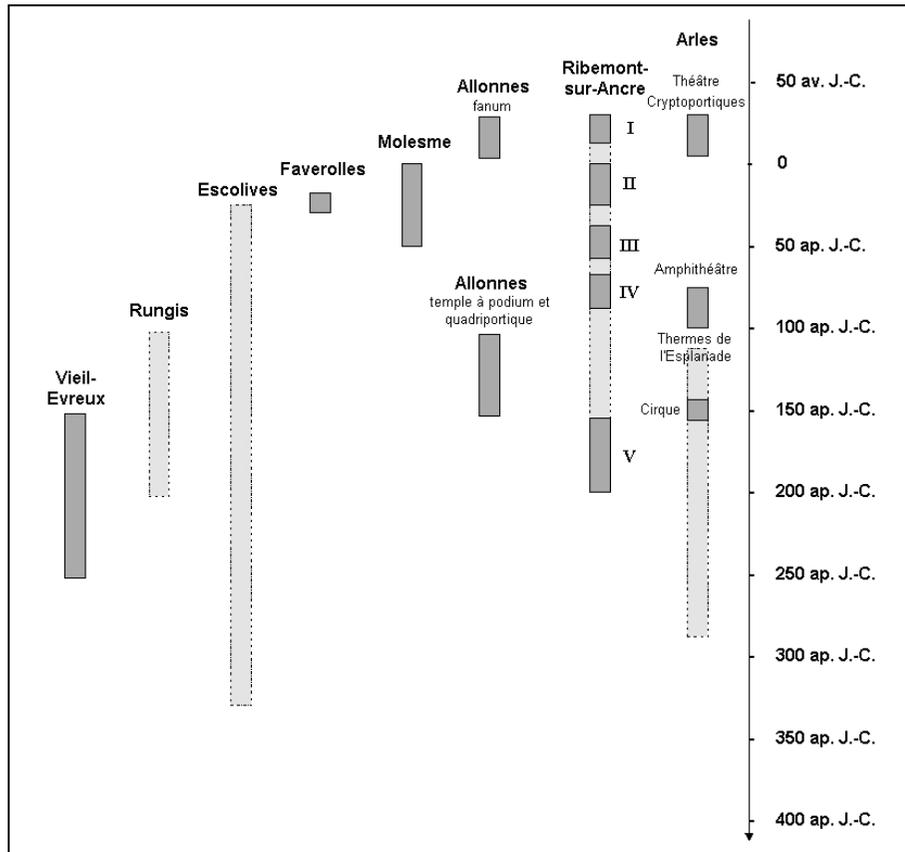


Fig.II.2a. Répartition chronologique des principales phases de construction, pour chaque site étudié dans le chap. II.2. (en clair et pointillés les incertitudes ou imprécisions).

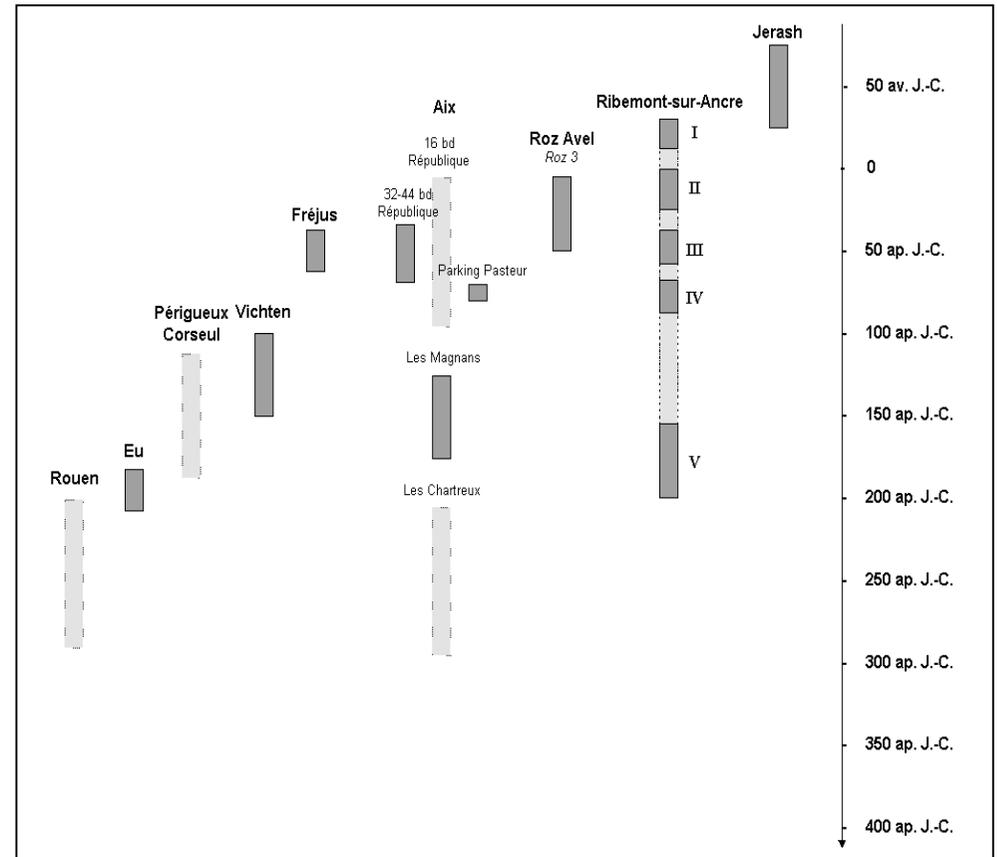
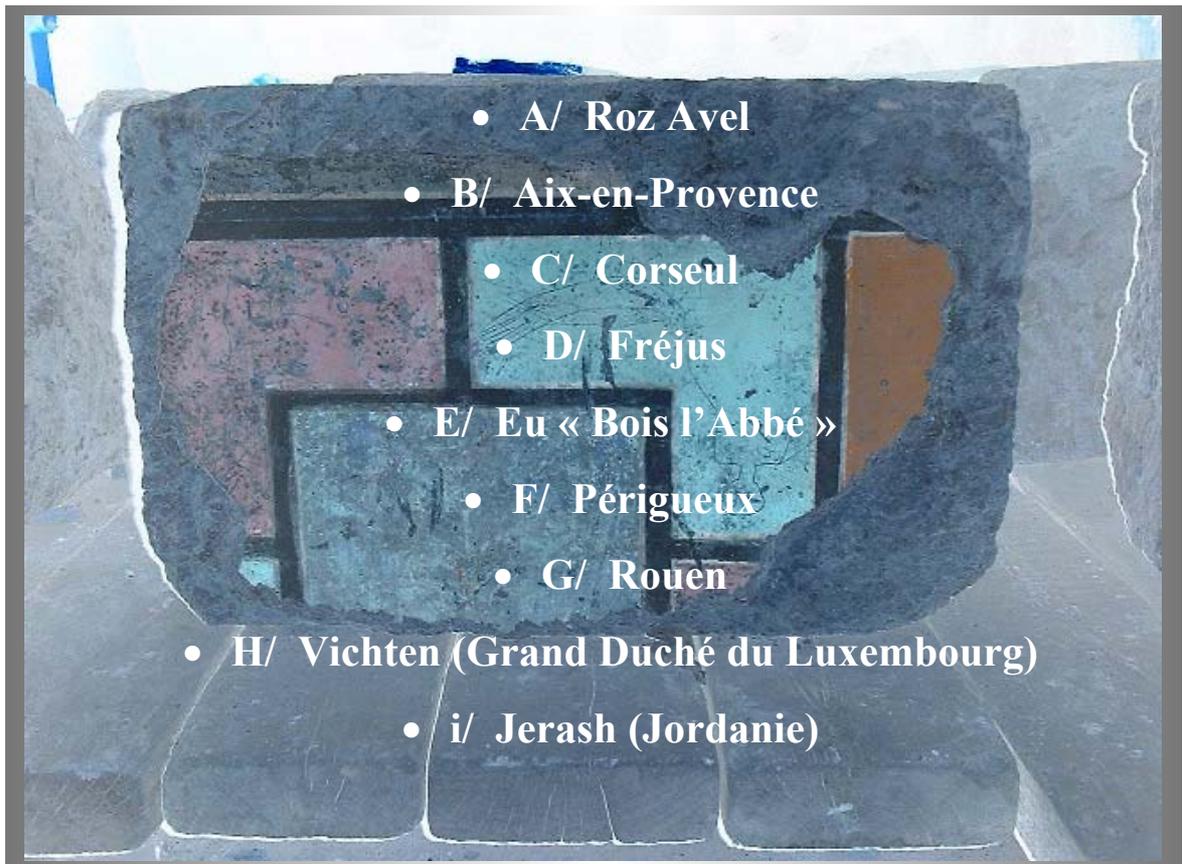


Fig.II.2b. Répartition chronologique des ensembles de peintures murales étudiés dans le chap. II.1.

Les études d'enduits peints



A/ Les enduits peints de Roz-Avel (Finistère)



Carte d'identité

Fouille de sauvetage de la fin des années 70.

Coordinateur : Jean-Paul Le Bihan.

Lot d'enduits peints dans la tranchée de fondation d'un mur de clôture de thermes.

Occupation thermale des années 30 jusqu'à la fin du III^e s. ap. J.-C.

Observations de l'ensemble des fragments, 15 échantillons sélectionnés pour l'analyse microscopique.

Prélèvements dans le cadre de l'étude et de la restauration des peintures au CEPMR.

1. Introduction

Le site couvre plus de 1500 m² d'un quartier de l'agglomération antique de Quimper, appuyé sur le flanc de la « colline du vent » (signification de Roz-Avel), surplombant la rive droite de l'Odét (Le Bihan 1977, Lefèvre et Allag 1999). Les enduits peints ont été retrouvés dans un tronçon de la tranchée d'un vaste mur de clôture d'un édifice thermal. Cela semble être la conséquence d'une vaste campagne de réfection du décor des thermes. L'occupation thermale est datée des années 30 jusqu'à la fin du III^e s. ap. J.-C., date de leur abandon.

Peu d'ensembles picturaux ont pu être datés, mais la richesse des différentes techniques de support a motivé cette étude, une chronostratigraphie générale des différents assemblages apparaissant possible à établir.

Types	Couleur matrice	Teneur en tuileau	Granulométrie principale tuileau	Teneur en sable	Granulométrie principale du sable	Micas noirs	Couches	Epaisseurs maximales
MT 1	Rose	40%	1,5-2 mm	< 5%	~ 250 µm	Rares	(b)	1 cm
BT 1	Blanc	40%	Millimétriques	< 5%	~ 500 µm		(b)	2 cm
BTS 1	Blanc rosé	30%	Millimétriques	10%	~ 250 µm		(b)	2 cm
BTS 2	Beige clair rosé	50%	Millimétriques	10%	20 µm-1,5 mm		(b)	4 cm
MTS 1	Rose pâle	20%	0,5-3 mm	50%	200 µm-1 mm	Rares	(c)	0,8 cm
MTS 2	Rose	40%	Centaine de µm à plus d'un mm	20 à 30%	~ 25-750 µm	Peu nombreux	(a) (b) (c)	0,6 cm 1,5 cm 3,1 cm
MTS 3	Rose rougeâtre	40%	250 µm à 1 mm	30%	75 µm-1,25 mm	Peu nombreux	(b) (c)	2 cm 1,5 cm
MTS 4	Beige rosé	50%	0,5-2,5 mm	10%	250-750 µm	Rares	(c)	1 cm
MTS 5	Rose	30%	250 µm à 1 mm	40%	50-900 µm	Peu nombreux	(d)	1 cm
MTS 6 (→ MS 8)	Gris rosé	20%	0,5-1,5 mm	50%	~ 50 µm-1,5 mm	Peu nombreux	(b)	1,6 cm
MTS 7	Rose brun	40%	250 µm à 1 mm	20%	25-500 µm	Rares	(c)	+ 2 cm
MTS 8	Brun rose	30%	250 µm à 2,25 mm	20%	25-500 µm	Rares	(c)	1 cm

Tabl.A1a. Classification des mortiers à tuileau du support des peintures murales de Roz Avel (voir Annexe 2 pour la codification des types et des couches de support des peintures).

Type	Couleur de la matrice	Teneur en tuileau	Granulométrie principale tuileau	Teneur en sable	Granulométrie principale du sable	Micas noirs	Couches	Épaisseurs maximales
MS 1	Blanc cassé	Tr	2 mm de diamètre maximum	50%	~ 100 µm-1 mm	Peu nombreux	(b) (c) (d)	3 cm 2 cm 5 mm
MS 2	Blanc rosé	Tr	-	50%	50 µm-1 mm	Rares	(c)	+ 1 cm
MS 3	Gris clair	Tr	< mm	50%	~ 100 µm-1 mm	Très nombreux	(b) (c)	5 cm 7 mm
MS 4	Beige clair	< 5%	> mm	40%	0,1-1 mm	Peu nombreux	(b)	2 cm
MS 5	Gris verdâtre						(d)	5 mm
MS 7	Rose beige	< 5%	0,5-1 mm	50%	0,5-1 mm	Rares	(d)	+ 1 cm
MS 8	blanc cassé rosé	< 5%	0,5-1,5 mm	50%	~ 50 µm-1,5 mm	Peu nombreux	(b)	1,6 cm
MS 9	Beige saumon	< 5%	~ 1 mm ou quelques mm	30%	0,25-1 mm	Nombreux	(b)	1,3 cm

Tabl.A1b. Classification des mortiers de chaux et de sable du support des peintures murales de Roz Avel.

Tr : « traces »

2. Typologie

L'intégralité des fragments récupérés a été étudiée, mais seuls quinze ont été analysés en microscopie optique. L'analyse typologique a permis d'individualiser vingt types de mortier et béton de chaux. Ces types ont été regroupés dans plusieurs familles en fonction de leur composition et de la granulométrie de leurs éléments : les mortiers de tuileau (MT1), les bétons de tuileau (BT1), les bétons de tuileau et de sable (BTS 1 et 2), les mortiers de tuileau et de sable (MTS 1 à 8) et les mortiers sableux (MS 1 à 9, en sachant que le type MS 6 a été éliminé¹, et que MS 8 semble pouvoir se rapporter à MTS6).

La liste des types de mortier est reportée dans les tableaux A1, avec un résumé de leurs principales caractéristiques.

3. Nature du granulat naturel et réflexions sur la stratégie d'approvisionnement en matières premières

La ville de Quimper appartient au domaine de l'anticlinal de Cornouaille (Lardeux *et al.* 1996), où prédominent les granitisations et structurations hercyniennes. Plus précisément, Quimper est située dans l'axe du cisaillement sud armoricain, zone de broyage qui s'étend du Sud-Finistère (Cap Sizun et Baie des Trépassés) jusqu'en Vendée. Cette zone de cisaillement est principalement constituée de granite à deux micas, plus ou moins affecté par la déformation mylonitique (le broyage de la roche est plus ou moins accentué). La dépression géomorphologique centrale, qui résulte d'une l'altération accélérée de ces roches broyées, est occupée par des sédiments d'âge stéphanien (le « houiller de Quimper », h³ ; Barrois 1949) et par quelques zones de micaschistes. Plusieurs ensembles de micaschistes encadrent au nord et au sud cette bande cisailée, associés au nord à un massif trondhjémitique (granite à quartz, oligoclase, biotite et très peu de feldspath potassique).

Les éléments du granulat naturel varient peu suivant les échantillons et les types. Il s'agit de fragments de roches plutoniques et/ou métamorphiques (fig.A2). Seule la teneur en micas noirs varie sensiblement. La forte teneur en micas noirs devrait permettre de remonter à la formation d'origine (on peut penser au granite de la bande de Quimper, une trondhjémitite). Dans le même ordre d'idée, le granulat plus pauvre en biotite serait caractéristique du granite

¹ Il s'agissait de la variation d'un autre type de mortier.

de la bande de Rosporden (variété du granite à deux micas qui est présente aux environs de Quimper). Toutefois, on ne peut être affirmatif, vu la grande diversité des ensembles « cristallins » : les caractères d'une bonne part du granulat liés à des phénomènes tectoniques et métamorphiques ne permettent pas de ciblage bien particulier, l'essentiel des formations siliceuses ayant subi des déformations. Néanmoins, il ressort clairement de l'observation des lames minces, qu'au moins deux sources distinctes ont été exploitées pour la fabrication des mortiers de support des peintures murales de Roz Avel. L'aspect légèrement plus homogène du granulat riche en biotite (type MS 3) pourrait laisser penser à un gisement lié à la décomposition en place du granite (arène granitique).

Les alluvions de la rivière passant par Quimper, l'Odet, pourraient être l'autre source de granulat. Le bassin versant de l'Odet, bien que peu développé, recoupe de nombreuses formations siliceuses, telles que, principalement, les sables et galets de l'anse de Toulven, les schistes et poudingues de Gourin, le granite à deux micas, les schistes micacés à staurotide, ainsi que les granites feuilletés (carte 1/80 000 de Châteaulin ; Barrois 1886). L'hypothèse de l'exploitation des alluvions de l'Odet est séduisante, car elle pourrait expliquer les mélanges repérés dans les mortiers peu riches en micas noirs : présence de quartz roulés associés aux éléments anguleux, fréquentes apparitions de fragments de roches métamorphiques, etc... D'ailleurs, il convient de rappeler que Vitruve (*De Architectura*, II, 4) recommande l'usage du sable de rivière pour la préparation des enduits.

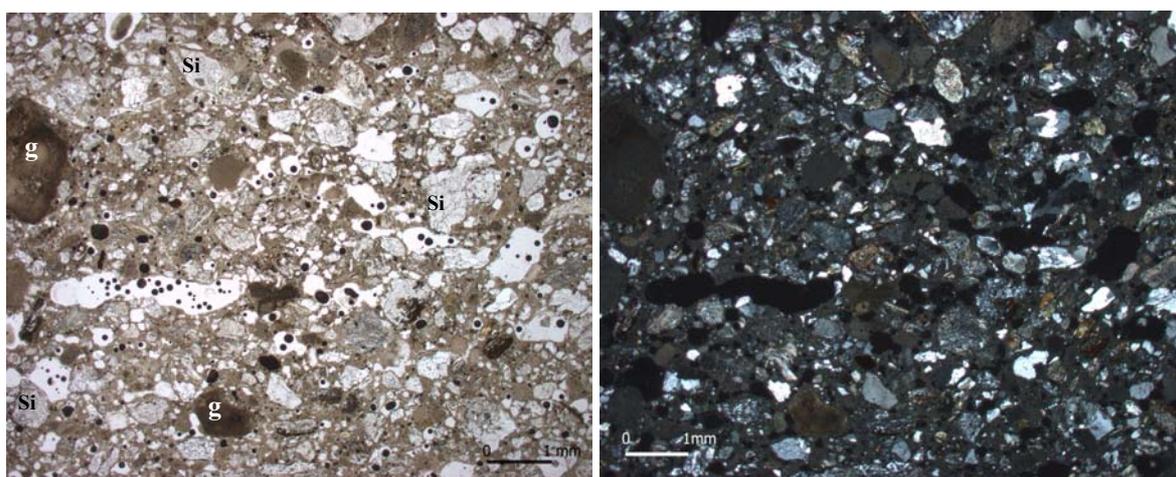


Fig.A2. Granulat siliceux (Si) et grumeaux (g). Une limite de pose est révélée par une série linéaire de pores polyconcaves (au centre de l'image). Echantillon ROZ 13, couche (b), type MS 8. LPNA (à gauche) et LPA (à droite).

La pierre à chaux est une denrée rare dans l'environnement de Quimper. Deux formations sont connues pour avoir été exploitées pour la fabrication de la chaux (carte géologique 1/80 000 de Châteaulin) : les schistes et calcaires de Néhou (d²), et les schistes ardoisiers de Châteaulin (h_v). Plusieurs carrières à ciel ouvert de « pierre à chaux » sont repérées sur cette carte, aux environs de Châteaulin (à une vingtaine de km de Quimper). La proximité relative de ces formations susceptibles de fournir un calcaire adéquat pour la fabrication de la chaux, dans une région marquée surtout par la prédominance des formations siliceuses, laisse supposer que les bâtisseurs de l'époque n'ont aucunement ignoré l'existence de gisements aux environs de Châteaulin, et qu'ils les ont exploités pour la fabrication des liants architecturaux.

4. Analyse des assemblages et de leurs relations chronostratigraphiques

Ce lot est remarquable par la diversité des supports (des assemblages stratigraphiques ; fig.A3). La confrontation des échantillons a permis de mettre en place une relation stratigraphique regroupant l'essentiel des supports, montrant ainsi la filiation relative de tous les ensembles de décors (fig.A4).

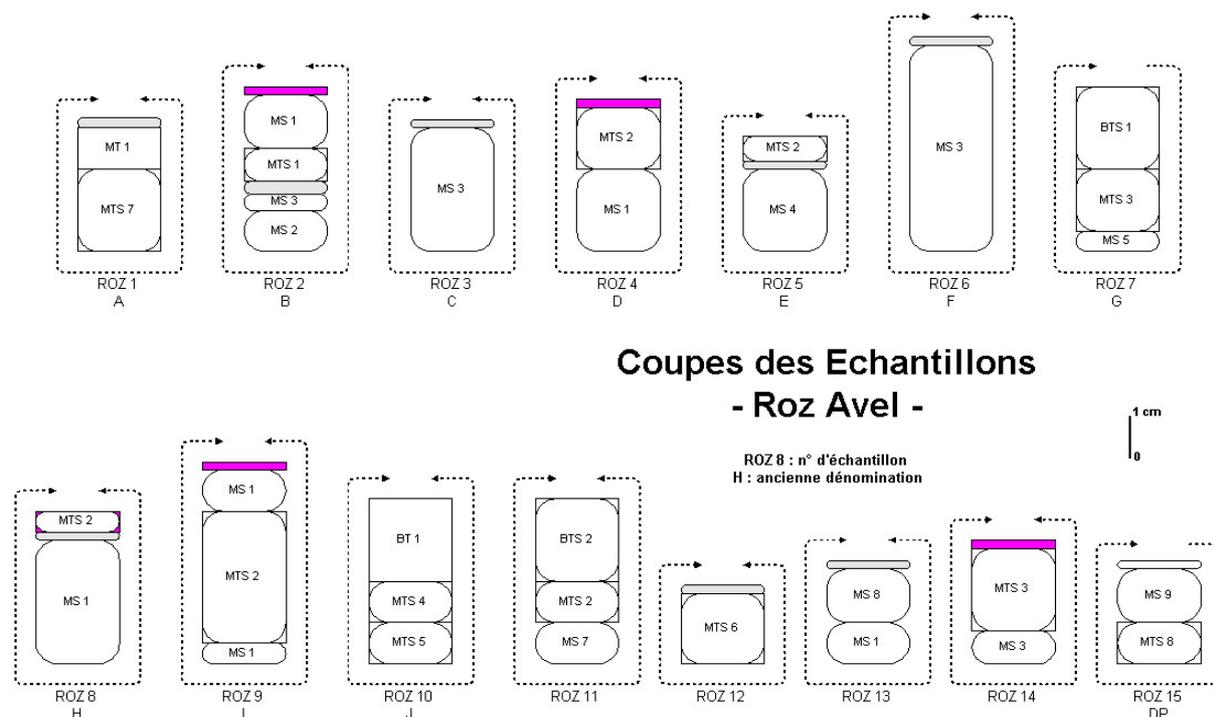


Fig.A3a. Supports de chaque échantillon de peinture murale de Roz Avel (voir la légende de la figure A4).

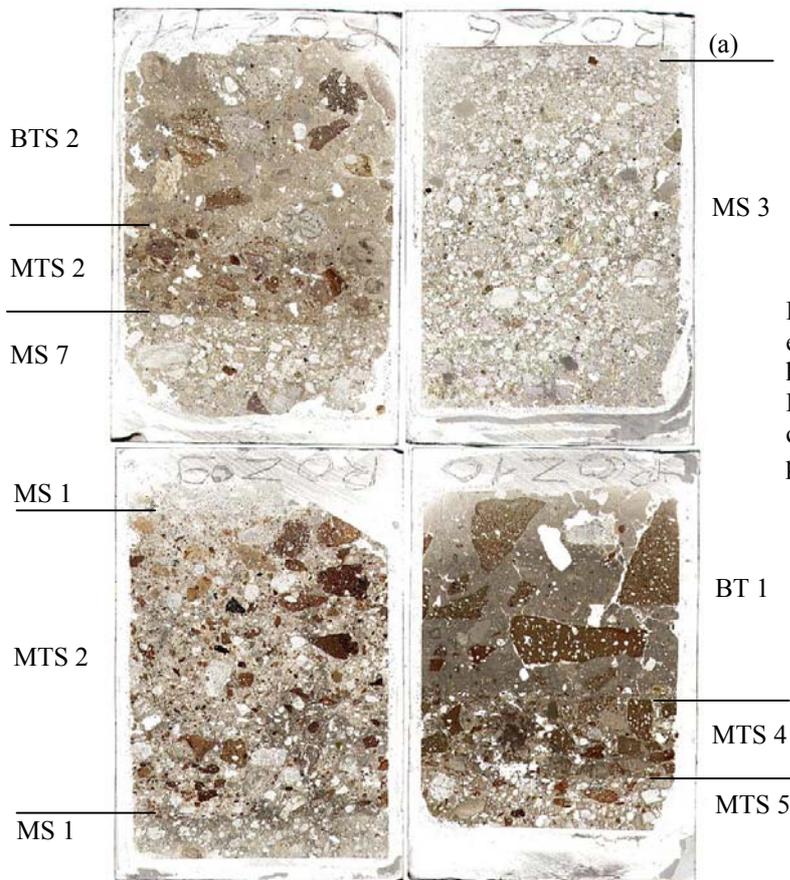


Fig.A3b. Lames minces des échantillons ROZ 11 et ROZ 6 (en haut), ROZ 9 et ROZ 10 (en bas). L'orientation des lames reprend celle du diagramme, avec la couche picturale en haut.

ROZ AVEL - Diagramme "stratigraphique" types de mortiers et échantillons

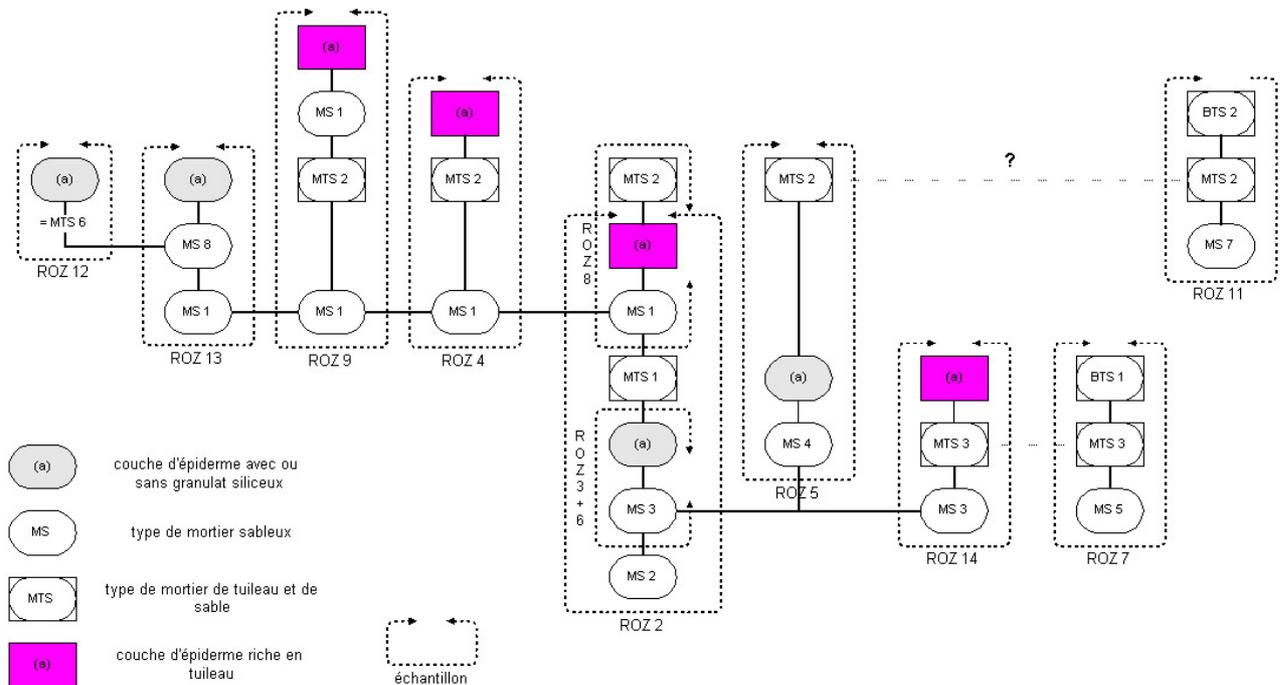


Fig.A4. Relations « stratigraphiques » des types de mortier et des échantillons de support des peintures murales de Roz Avel.

4.1. Les mortiers et les assemblages stratigraphiques

Plusieurs remarques d'ordre technique ressortent (voir annexes pour le système de codification de l'organisation des couches des enduits peints) :

- La majorité des échantillons montrent l'association d'au moins trois couches (sans compter la couche picturale Cp). Si la couche d'épiderme s.s. est présente, deux autres couches lui sont associées, mais si elle est absente on voit l'emploi de trois couches distinctes de préparation (présence d'une couche (d)).
- Lorsqu'il y a une reprise de pose d'enduit à partir d'une couche picturale préalable, le nouveau support est des plus succincts, avec juste une fine couche de transition avant la nouvelle Cp.
- Les mortiers de « tuileau et de sable », lorsqu'ils ne sont pas en reprise sur une ancienne Cp, sont toujours associés avec au moins une autre couche de mortier de nature différente (sans prendre en compte les couches d'épiderme), essentiellement des mortiers sableux. Il n'est pas rare, au contraire, de voir des associations constituées uniquement de couches de mortiers sableux. Ces assemblages se concluent chaque fois par une couche d'épiderme sans tuileau.
- Dans le diagramme principal on remarque que les couches d'épiderme blanches (ne contenant pas de tuileau) ne sont associées qu'avec des couches de mortier purement sableux, excepté avec les échantillons ROZ 1 et 15 (c'est-à-dire lorsque la couche (c) est constituée d'un mortier « de tuileau et de sable » à l'aspect terreux, mais ce peut n'être qu'une coïncidence). Toutefois, on remarque que la couche picturale de ROZ 1 est blanche, ce qui peut expliquer l'emploi d'une couche d'épiderme (a) de la même couleur. L'échantillon ROZ 15 est particulier puisqu'il provient du « décor au poisson ».
- Les couches d'épiderme avec tuileau ne se retrouvent que dans les associations mixtes, à mortiers « de tuileau et de sable » et mortiers purement sableux.
- Lorsque la couche d'épiderme n'apparaît pas, la couche picturale repose soit sur un mortier ou un béton de « tuileau et de sable », soit sur un béton de tuileau.
- Les bétons de tuileau se retrouvent toujours sur une couche de mortier de tuileau.

Le type MTS 2 se singularise par ses variations de positionnement à l'intérieur du système de couches de préparation et de finition de l'enduit. Ce mortier de tuileau et de sable

se retrouve effectivement en « position » (a), (b) ou (c). Cette ubiquité s'explique à la fois par l'abondance de ce type, par sa présence en reprise à partir d'une couche picturale précédente, mais aussi par la difficulté de distinguer une couche (a) d'une couche (b), lorsque l'on peut observer sur le site des variations d'épaisseur de la couche d'épiderme aussi importantes : l'épaisseur de (a), toutes natures confondues, est comprise entre quelques centaines de μm et quelques mm.

Pour les mortiers (et non pour les bétons), on observe fréquemment (en lame mince) une partition des couches lorsque celles-ci dépassent les quelques cm d'épaisseur. Cette partition, qui peut être double ou triple, ne donne pas forcément naissance à des sous-couches parfaitement homogènes dans leur composition et dans leur épaisseur. Les exemples les plus remarquables sont :

- Tripartition de MTS 2, couche (c) dans ROZ 9 : la zone de la couche la plus proche de (b) est visiblement plus riche en tuileaux, avec pour conséquence une coloration rosée plus intense.
- Tripartition de MS 1, couche (b₂) dans ROZ 8 : la sous-couche centrale présente une matrice légèrement différente que les autres sous-couches l'encadrant. De plus, la limite entre b₂' et b₂" ne respecte pas l'orientation des autres limites de l'association (elle est diagonale).

Les limites des couches et sous-couches sont légèrement ondulées, et majoritairement marquées par la présence d'un fin liseré brun sombre. Ce liseré (voir fig.I.24 et 25), de moins d'une dizaine de μm de largeur, renvoie à deux hypothèses : l'application d'un badigeon de lait de chaux en vue d'améliorer l'adhésion de la couche suivante, ou la sudation de la chaux de la première couche, matérialisée par une cristallisation d'un voile de carbonate de calcium à sa surface.

Certaines limites se déduisent de l'agencement des pores. En effet, nous avons remarqué des niveaux parallèles aux limites bien établies des couches, riches en vides polyconcaves (c'est-à-dire témoignant d'une mise en place d'un mélange très humide) organisés en réseaux (fig.A2).

Les épaisseurs totales conservées des échantillons, et des assemblages, n'excèdent pas les 6 cm. L'épaisseur moyenne est de l'ordre de 3 cm. En ce qui concerne les couches et sous-couches on ne peut observer de corrélation entre la composition et l'épaisseur, ou la position

et l'épaisseur. On peut tout au moins souligner, s'il en est besoin, que les bétons apparaissent toujours avec une épaisseur de plusieurs mm.

Il est possible de dégager plusieurs caractéristiques communes aux mortiers et bétons de Roz Avel. Tout d'abord, il ressort de l'observation des lames que l'ensemble des liants apparaît comme riche en « grumeaux ». Ces éléments, accidents de préparation, s'apparentent ici plus à des nodules résiduels de chaux qu'à des fragments de calcaire mal cuit (incuits). La porosité des liants varie suivant les mélanges et les échantillons. Elle est, toutefois, caractérisée par l'abondance de vides essentiellement polyconcaves. La répartition de ces vides est homogène, excepté dans les niveaux marquant la transition entre les couches ou les sous-couches. De même, la répartition des éléments du granulat est parfaitement homogène, preuve d'un malaxage sinon minutieux (nodules de chaux non mélangés), tout du moins rigoureux. Reste enfin à noter que nous n'avons pas observé la présence de débris de végétaux (paille) en lame mince, alors que celle-ci, certes anecdotique, était attestée pour les types MTS 7, MS 1 et MS 2 à l'œil nu.

4.2. Cadre typo-chronologique

Bien que l'on trouve dans l'échantillon ROZ 8 une couche d'épiderme et une Cp entre MS 1 et MTS 2, les échantillons ROZ 4 et surtout ROZ 9 tendent à démontrer la contemporanéité de ces deux types de mortier, qui sont les plus fréquemment employés sur le site ; leur utilisation semble marquer une période d'apogée du bâtiment, car ils se présentent dans de nombreux supports, correspondant à plusieurs décors.

Si l'on considère que cette période riche en supports se manifeste par la présence des types MS 1 et MTS 2, il devient intéressant de percevoir les relations « chronologiques » entre ces deux références et les autres types de mortier. Quatre groupes se distinguent de l'analyse de la figure A4 :

- **Types antérieurs à MS 1 et MTS 2 :** MS 2, MS 3, MS 4, MS 5, MTS 3 et BTS 1.
- **Types contemporains de MS 1 et MTS 2 :** MS 7, MS 8/MTS 6, MTS 1, et BTS 2.
- **Types postérieurs à MS 1 et MTS 2 :** Aucun type de mortier ne peut être formellement rattaché à ce groupe.
- **Types non placés dans la chronologie :** MST 7 et MT 1, MTS 4 et 5, BT 1, MTS 8 et MS 9.

Ce classement permet de faire ressortir un minimum de deux phases de préparation de peinture murale, déjà bien visible en macroscopie, et de rattacher chaque échantillon, et donc chaque association, à l'une de ces phases :

- 1^{ère} phase : échantillon ROZ 2 (première partie), et échantillons ROZ 3, 5, 6, 7 et 14.
- 2^e phase : échantillon ROZ 2 (deuxième partie), et échantillons ROZ 4, 8, 9, 11, 12 et 13.

Seuls les échantillons ROZ 1, 10 et 15 ne peuvent se positionner à l'intérieur de l'une de ces phases chronostratigraphiques.

L'échantillon ROZ 3 correspond au seul ensemble de fragments de peintures dont l'étude stylistique a permis de faire ressortir des critères de datation. La première moitié du I^{er} s. ap. J.-C. est proposée pour ce décor, et pourrait donc être avancée pour ceux portés par les échantillons de la première phase chronostratigraphique.

5. Conclusion

L'étude des mortiers s'est effectuée en « aveugle », la quasi-totalité des fragments d'enduits furent retrouvés dans une tranchée de fondation, ce qui rend difficile les tentatives de repositionnement architectural des échantillons. Malgré cela, après l'établissement de la typologie, il a été possible de définir le cadre chronostratigraphique de l'ensemble des types de mortier et de proposer une datation pour une bonne part des supports.

Références

BARROIS Ch. (1886) – *Carte géologique de la France à 1/80 000 – Feuille de Châteaulin (n° 73), 1^{ère} édition.*

BARROIS Ch. (1949) – *Carte géologique de la France à 1/80 000 – Feuille de Quimper (n° 72), 2^e édition.*

FRIZOT M. (1975) – *Mortiers et enduits peints antiques, étude technique et archéologique.* Centre de recherches sur les techniques gréco-romaines, n° 4, Université de Dijon, 351 p.

LARDEUX H. *et al.* (1996) – *Guide géologique de la Bretagne*. 3^e édition. Guides géologiques régionaux. Masson. 223 p.

LE BIHAN J.-P. (1977) – Quimper, Informations archéologiques. *Gallia*, t. 35, fasc. 2, 363-367.

LEFEVRE J.-F. et ALLAG Cl. (1999) – Roz-Avel (Finistère). *Rapport d'étude des peintures murales du CEPMR*, UMR 8546 CNRS/ENS.

Annexe : Récapitulatif des échantillons**ROZ 1 (A)**

Cp		
(a) blanche	750 µm	
(b) MT 1	1 cm	
(c) MTS 7	plus de 2 cm	Limite avec (b) : fissure

ROZ 2 (B)

Cp ₁		
(a ₁) rose	infra-millimétrique	
(b ₁) MS 1	1,4 cm	
(c ₁) MTS 1	8 mm	Limite avec (b ₁) : très nette
Cp ₂ non continue		
(a ₂) blanche	jusqu'à 1,25 mm	
(b ₂) MS 3	0,5 à 2 mm	
(c ₂) MS 2	plus d'un cm	Limite avec (b ₂) : nette, parfois fissure

ROZ 3 (C)

Cp	
(a) blanche	infra-millimétrique
(b) MS 3	plus de 3 cm

ROZ 4 (D)

Cp		
(a) rose 2 mm		
(b) MTS 2	1,5 cm	
(c) MS 1	plus de 2 cm	Limite avec (b) : nette

ROZ 5 (E)

Cp ₁		
(b ₁) MTS 2	6 mm	
Cp ₂ non continue		
(a ₂) blanche	jusqu'à 500 µm	
(b ₂) MS 4	2 cm	Limite avec (b ₂) : liseré. Mise en place en deux étapes.

ROZ 6 (F)

Cp	
(a) blanche	entre 2,25 et 3,5 mm
(b) MS 3	plus de 5 cm

ROZ 7 (G)

Cp		
Pas de (a)		
(b) BTS 1	jusqu'à 2 cm	
(c) MTS 3	jusqu'à 1,5 cm	Limite avec (b) : assez floue
(d) MS 5	jusqu'à 5 mm	

ROZ 8 (H)

Cp ₁		
(a ₁) MTS 2	3 mm	
Cp ₂ continue		
(a ₂) rose	infra-millimétrique	
(b ₂) MS 1	plus de 3 cm	Subdivisée en trois, aux limites nettes ou à liseré, plane ou à pendage

ROZ 9 (I)

Cp		
(a) rose infra-millimétrique		
(b) MS 1	1 cm	
(c) MTS 2	1,25+0,5+1,25 cm	Limite avec (b) : liseré. Mise en place en trois étapes
(d) MS 1	jusqu'à 5 mm	Limite avec (c) : nette ou à liseré

ROZ 10 (J)

Cp		
Pas de (a)		
(b) BT 1	2 cm	
(c) MTS 4	1 cm	Limite avec (b) : peu nette
(d) MTS 5	jusqu'à 1 cm	Limite avec (c) : liseré

ROZ 11 (K)

Cp		
Pas de (a)		
(b) BTS 2	4 cm	
(c) MTS 2	jusqu'à 1 cm	Limite avec (b) : peu nette, à pendage
(d) MS 7	jusqu'à plus d'un cm	Limite avec (c) : liseré, à pendage

ROZ 12 (L)

Cp		
(a) blanche	1,75 mm	
(b) MTS 6	8+8 mm	Mise en place en deux étapes, à limite à liseré

ROZ 13 (M)

Cp (375 µm)		
(a) blanche	750 µm	
(b) MS 8	3,25+10 mm	Bipartition à limite nette
(c) MS 1	jusqu'à 1 cm	Limite avec (b) : peu nette ou à liseré, à pendage

ROZ 14 (O)

Cp		
(a) rose infra-millimétrique		
(b) MTS 3	0,8+1,2 cm	Bipartition de la couche à limite floue ou à liseré
(c) MS 3	7 mm	Limite avec (b) : liseré, en marches d'escalier

ROZ 15 (DP)

Cp		
(a) blanche	625 µm en moyenne	Evolution continue extérieur - intérieur
(b) MS 9	1,3 cm	
(c) MTS 8	jusqu'à 1 cm	Limite avec (b) : liseré

B/ Le support des peintures d'Aix-en-Provence, ou la recherche des ateliers



Carte d'identité

Cinq sites :

- 16 bd de la République : bâtiments agricoles associés à une zone résidentielle.
- 32-44 bd de la République : *domus*.
- Parking Pasteur : *domus*.
- Les Chartreux : habitations.
- Rue des Magnans : *domus* du II^e s. ap. J.-C.

Nombre de prélèvements : observations sur l'ensemble des fragments, préparation de 15 lames minces.

Prélèvements dans le cadre de l'étude et de la restauration des peintures au CEPMR².

1. Introduction

Les fouilles de ces dernières années à Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône) ont permis de mettre au jour plusieurs ensembles de peintures murales antiques, d'autant plus précieux que les fouilles anciennes les avaient copieusement ignorés. Nous avons pu accéder à divers fragments en provenance de ces différents sites archéologiques (fig.B1) :

- Le « 16 bd de la République » : il s'agit de bâtiments agricoles peut-être associés à une zone résidentielle qui ont été mis au jour à la limite de l'enceinte urbaine ; ils pourraient être les dépendances d'une habitation située à l'intérieur de l'enceinte, à la périphérie du tissu urbain. Ces vestiges gallo-romains constituent l'un des plus anciens témoignages de l'occupation dans *Aquae Sextiae*, entre la seconde moitié du I^{er} s. av. J.-C. et la fin du II^e ap. J.-C. (Nibodeau *et al.* 1989). Les peintures murales ont été découvertes dans la partie sud de l'étable, pour la plupart, à l'état de gravats, dont certains avaient été jetés pêle-mêle dans des *dolia* abandonnés (grandes jarres de stockage en terre cuite).

² Cette étude a fait l'objet de l'encadrement d'un stage de DESS «Métiers de l'archéologie» (stagiaire : Delphine Viart) en avril 2002.

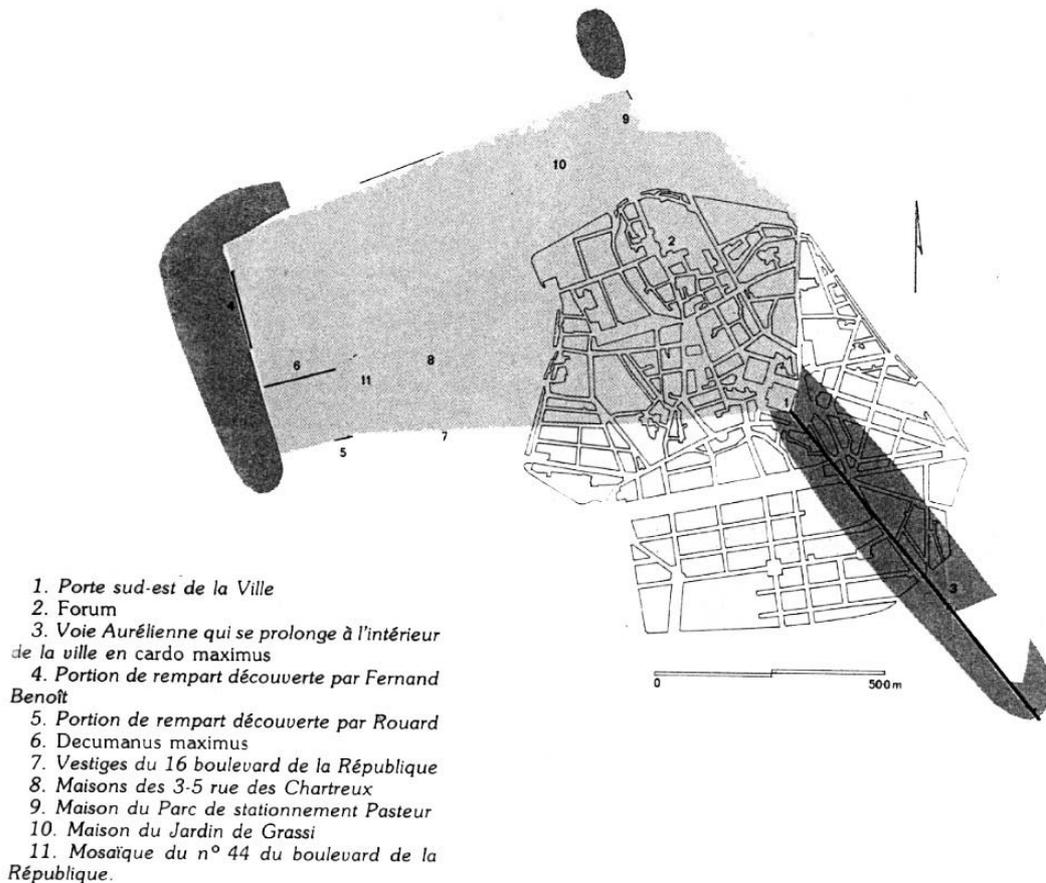


Fig.B1. Emprise de la ville antique (en grisé) sur le cadastre actuel de la ville d'Aix-en-Provence (d'après Nibodeau et al. 1986).

- Le « 32-44 bd de la République » : il s'agit d'une *domus*, présentant notamment des peintures tombées en place sur un sol de mosaïque.
- Le « Parking Pasteur » : il s'agit d'une *domus* aux décors datés du I^{er} s. ap. J.-C. (vers 60-70 ap. J.-C.).
- Les Chartreux : habitations aux décors datés du I^{er} s. ap. J.-C., dont certains (ceux à candélabres) se rapprochent de ceux du 16 bd de la république.
- Rue des Magnans : il s'agit de *domus* du II^e s. ap. J.-C. (Bedon 2001).

La liste des échantillons est reportée dans le tableau B2.

Echantillon	Site	Couche picturale	Datation	Support
AIX 20	16 bd République	Champ rouge bordeaux	I ^{er} s. ap. J.-C.	A
AIX 23 (a ₂ -c ₂)	Parking Pasteur pièce 1 (inv. AP/87 11)	-	-	A
AIX 24-1	Parking Pasteur pièce 1 (inv. AP/87 11-1)	Champ vert	60-70 ap. J.-C.	A
AIX P2 (a ₂ -c ₂)	Parking Pasteur pièce 2	-	-	A
AIX 19	16 bd République	Champ blanc	I ^{er} s. ap. J.-C.	B
AIX 21	16 bd République	Champ bleu	I ^{er} s. ap. J.-C.	C
AIX 23 (a ₁ -b ₁)	Parking Pasteur pièce 1 (inv. AP/87 11)	Champ rouge et filet blanc sur fond ocre jaune	60-70 ap. J.-C.	D
AIX P2 (a ₁ -b ₁)	Parking Pasteur pièce 2	Champ rouge	60-70 ap. J.-C.	D
AIX BR1	32-44 bd République, plinthe mur sud	-	Milieu I ^{er} s. ap. J.-C.	E
AIX BR2	32-44 bd République, zone médiane mur sud	Champ rouge bordeaux	Milieu I ^{er} s. ap. J.-C.	E
AIX BR3	32-44 bd République, zone médiane mur sud	Champ rouge bordeaux	Milieu I ^{er} s. ap. J.-C.	E
AIX PC1	32-44 bd République, Personnages Casqués	-		F
AIX M2	32-44 bd République, Personnages Casqués	Champ rouge bordeaux		F
AIX DC 119	32-44 bd République, mur est ?	Champ rouge et filet blanc sur fond ocre jaune		F
AIX 7	Rue des Magnans	Champ noir	Milieu II ^e s. ap. J.-C. (ou I ^{er} s. ap. ?)	G
AIX 22	Parking Pasteur pièce 11-12	Champ bleu	I ^{er} s. ap. J.-C.	H
AIX 12 (Aix-Char 12)	Les Chartreux, <i>domus</i> II (Capette 32), pièce 11 (éch. C 102)	Champs rouge et blanc séparés par filets bleu clair et sombre	III ^e s. ap. J.-C. ?	I

Tabl.B2. Echantillons de support de peintures murales de la ville d'Aix-en-Provence.

2. Résultats

2.1. Les familles de granulats.

L'ensemble des fragments étudié présente globalement des cortèges identiques de granulat. Les familles observées de granulat sont la calcite, le quartz, les gravillons de calcaire micritique et, dans une moindre mesure, les fragments de terre cuite, de silex et de charbon de bois.

La calcite est présente dans ces échantillons sous deux formes : fragments de roches à cristaux de calcite et cristaux broyés de calcite. La granulométrie des fragments de roches à cristaux de calcite varie en moyenne de 250 μm à 1 voire 2 mm.

Les cristaux broyés de calcite sont anguleux. Ils peuvent apparaître sous forme de poussières ou de cristaux de diamètre compris entre 125 à 500 μm . Ces cristaux, pour l'ensemble des échantillons où ils sont présents (sauf AIX 12), renvoient de façon certaine à un broyage de marbre blanc. Il s'agit de monocristaux ou de fragments polycristallins à macles polysynthétiques, fréquemment courbes. Les cristaux à extinction onduleuse sont souvent observés. Toutes ces caractéristiques ne sont pas retrouvées pour les couches de l'échantillon AIX-12. On a vraisemblablement eu recours à des veines de calcite locales.

La calcite est, globalement, le minéral majoritaire dans la charge des couches d'épiderme (a) et de transition (b) de cet ensemble d'échantillons.

Le quartz se retrouve sous forme de grains anguleux, de granulométrie principalement comprise entre 125 à 500 μm , mais d'autres sont plus petits (50 μm) ou de taille plus importante (750 μm à 1mm). Les grains de quartz apparaissent principalement dans la couche de préparation des échantillons, celle qui est directement appliquée sur le mur.

Les gravillons de calcaire fin (cristaux de calcite trop petit pour être observables en microscopie) ont un diamètre compris pour l'essentiel entre 500 μm à 1 mm, allant jusqu'à 2,5 mm. Ils sont pour la plupart arrondis, certains moins émoussés comme dans l'échantillon AIX 24-1. D'autres sont anguleux (AIX M2), ce qui les diffère de l'ensemble des échantillons.

D'autres composants se retrouvent au sein de ces mortiers mais en très faible quantité : on observe ainsi la présence de fragments de terre cuite, dont la taille varie entre 500 μm et 3 mm, de rares fragments de silex, émoussés, de 2 mm de diamètre, et de charbon de bois.

2.2. Les assemblages stratigraphiques

Huit supports de peintures ont été définis (tabl.B3 et fig.B5) :

Assemblage stratigraphique A : il correspond aux échantillons AIX 24-1 et première stratigraphie³ d'AIX 23 (Parking Pasteur pièce 1), première stratigraphie d'AIX P-2 (Parking Pasteur pièce 2 ; voir fig.B4) et AIX 20 (16 bd de la République). Le support de cet ensemble est constitué de quatre couches. Les couches (a) et (b) contiennent essentiellement des fragments de roches à cristaux de calcite, et la couche (c), plus grossière, des grains anguleux de quartz et des gravillons calcaires arrondis. On observe aussi la présence de fragments de terre cuite au sein des couches (b₂) et (c₂) d'AIX P-2 et un charbon de bois dans la couche (b₂) de ce même échantillon. La dernière couche se compose de granulats assez grossiers, quartzeux (elle n'a pas pu être observée en lame mince).

Assemblage stratigraphique B : il est défini par l'échantillon AIX 19 (16 bd de la République). Il se compose de deux couches peu chargées en calcite. La couche d'épiderme est assez grossière et contient principalement des cristaux de quartz anguleux et des gravillons calcaires (au diamètre compris surtout entre 500 µm à 1 mm). La couche (b) se compose en majeure partie de gravillons de calcaire fin arrondis de dimensions relativement importantes : de 500 µm à 2,5 mm. On note aussi la présence dans cette couche d'un fragment de silex, émoussé, de 2 mm de diamètre.



Fig.B4. Echantillon AIX-P2 avec ses deux assemblages stratigraphiques : A (c₂, b₂ et a₂) recouvert par D (b₁, a₁ et la Cp).

³ Cet échantillon présente deux décors superposés. La « première stratigraphie » correspond au premier décor, à présent recouvert.

Assemblages stratigraphiques	Stratigraphie	Couleur	Fragments de roches à cristaux de calcite	Cristaux broyés de calcite	Quartz anguleux	Gravillons calcaires arrondis	Terres cuites	Chaux/ granulat
Assemblage stratigraphique A	Couche (a)	Blanc	25-30%	2-3%	2-3%	2-3%		1:1
	Couche (b)	Blanc à 10YR8/2	40-50%	5%	10-15%	5-10%	< 5%	1:3
	Couche (c)	Blanc crème	5-10%		de 15% à 20-30%	de 10% à 20-25%	< 5%	1:3
	Couche (d)	Beige crème						
Assemblage stratigraphique B	Couche (a)	Blanc	3%		30%	15%		1:1
	Couche (b)	Beige orangé	3%	1-2%	35-40%	20-25%		1:3
Assemblage stratigraphique C	Couche (a)	-	10%	2-3%	15%	40%		1:3
	Couche (b)	-	7%		25%	20-25%		1:3
Assemblage stratigraphique D	Couche (a)	Blanc		45%	2%			1:1 à 1:2
	Couche (b)	Blanc à 10R8/2	2-3%	50%	5%	< 5%		1:3 à 1:4
Assemblage stratigraphique E	Couche (a)	~10YR8/6	25-30%	2-3%	7-10%			1:1
	Couche (b)	~10YR8/2	45%		10-15%	5%		1:3
	Couche (c)	blanc crème	35-40%	3-5%	15-20%	2%	< 5%	1:3
	Couche (d)	10R8/2	15%		20%	20%	< 5%	1:2 à 1:3
	Couche (e)	~10R8/2	15%		30%	15-20%		1:3

Tabl.B3a. Assemblages stratigraphiques des supports de peinture murale d'Aix-en-Provence.

Assemblages stratigraphiques	Stratigraphie	Couleur	Fragments de roches à cristaux de calcite	Cristaux broyés de calcite	Quartz anguleux	Gravillons calcaires arrondis	Terres cuites	Chaux/ granulats
Assemblage stratigraphique F	Couche (a)	Blanc à rose	25-30%	5%	10%			1:1
	Couche (b)	~10YR8/2	35-40%	5%	15%	10%	< 5%	1:3
	Couche (c)	5YR8/1	10-15%	3-5%	25-30%	25-30%	< 5%	1:2 à 1:3
Assemblage stratigraphique G	Couche (a)	Blanc	5-10%	50%	< 5%	< 5%		1:3
	Couche (b)	~10YR8/6	> 50%	5-10%	5-10%			1:3 à 1:4
	Couche (c)	5R8/2	7%		20%	35%		1:3 à 1:4
Assemblage stratigraphique H	Couche (a)	Blanc		35-40%	1%			1:1
	Couche (b)	~10YR8/2	> 50%	5-10%	2%	5%		1:3 à 1:4
	Couche (c)	blanc crème	2%	5-7%	45%	20%		1:3
Assemblage stratigraphique I	Couche (a)	Blanc		> 50%				1:2
	Couche (b)	10R8/2	20%	25%	25%			1:3
	Couche (c)	blanc rosé	20%	10%	30%	5%		1:3

Tabl.B3b. Assemblages stratigraphiques des supports de peinture murale d'Aix-en-Provence.

10YR8/2 : “very pale orange”

5YR8/1 : “pinkish gray”

10YR8/6 : “pale yellowish orange”

5R8/2 : “grayfish pink”

10R8/2 : “grayfish orange pink”

Assemblage stratigraphique C : il correspond à l'échantillon AIX 21 (16 bd de la République). La stratigraphie de cet ensemble est assez proche de celle de l'assemblage B. Le support de cet échantillon se compose de deux couches assez grossières et relativement peu chargées en calcite. La couche (a) est principalement chargée en gravillons de calcaire fin arrondis, de taille relativement importante : entre 500 μm à 1,5 mm. La couche (b) se compose essentiellement de grains de quartz anguleux et de gravillons calcaires arrondis (1 à 2 mm de diamètre).

Assemblage stratigraphique D : il correspond aux échantillons AIX 23 (deuxième stratigraphie, pièce 1 du Parking Pasteur) et AIX P-2 (deuxième stratigraphie, pièce 2 du Parking Pasteur). Le support de ces échantillons est constitué de deux couches essentiellement composées de cristaux de calcite broyés assez fins (250 μm à 1 mm). Une couche de préparation n'a pas été jugée nécessaire, puisqu'il s'agissait d'une deuxième stratigraphie, le mur comportant un premier revêtement servant de support.

Assemblage stratigraphique E : il comprend trois échantillons issus du site du 32-44 bd de la République, datés du I^{er} siècle ap. J.-C. : AIX BR1 (plinthe du mur sud), AIX BR2 (zone médiane mur sud) et AIX BR3 (zone médiane mur sud). Le support de cet ensemble est constitué de cinq couches, à teneur principale en fragments de roches à cristaux de calcite pour les couches (a), (b) et (c). Les compositions des couches (b) et (c) sont assez proches. La couche (d) de ce support se compose essentiellement de quartz assez fin (250 μm à 1 mm) et de gravillons calcaires arrondis, de diamètre relativement fin (250 à 750 μm). La dernière couche, enfin, se compose de granulats assez grossiers. La stratigraphie de cet ensemble, ressemblant fortement à celle de l'ensemble A, correspond à une variante de ce dernier.

Assemblage stratigraphique F : il est constitué de trois échantillons du 32-44 bd de la République, AIX PC1 (« personnages casqués » datant du I^{er} s. ap. J.-C.), AIX DC119 (mur est) et AIX M2. Le support est composé de trois couches. Les couches (a) et (b) contiennent principalement des fragments de roches à cristaux de calcite. La couche (c), quant à elle, contient surtout des quartz anguleux et des gravillons arrondis de calcaire fin. Le support de l'échantillon AIX M2 diffère quelque peu des deux autres : il ne possède pas de couche d'épiderme. La couche (c) d'AIX M2 est de surcroît plus riche que celles d'AIX PC1 et AIX DC119 en gravillons de calcaire fin (30 à 40 %), moins émoussés d'ailleurs. Il s'agit toutefois

d'une même technique de support, avec une différence de qualité entre le début et la fin de la stratigraphie, le mortier d'accrochage étant plus grossier, friable et argileux.

Assemblage stratigraphique G : il est défini par AIX 7 (rue des Magnans, milieu du II^e siècle de notre ère). Le support est constitué de trois couches. La couche d'épiderme contient une très grande quantité de cristaux broyés de calcite (50 %), à l'aspect de marbre broyé. On observe aussi une faible teneur en fragments de roches à cristaux de calcite (5 %). Les proportions entre ces fragments et les cristaux anguleux de calcite sont inversées dans la couche (b). Cette inversion est assez originale dans l'ensemble des échantillons que nous présentons ici ; cette couche (b) est aussi celle présentant la coloration jaune la plus marquée. La couche (c) comprend essentiellement des gravillons arrondis de calcaire fin, de dimensions relativement importantes (250 µm à 2 mm), et des cristaux anguleux de quartz.

Assemblage stratigraphique H : il correspond à AIX 22 (pièce 11-12 du site du Parking Pasteur, datant du I^{er} s. ap. J.-C.). Le support de cet échantillon se compose de trois couches. La couche d'épiderme contient principalement des cristaux broyés de calcite, de dimensions assez importantes (500 µm à 1 mm). La couche (b) est relativement épaisse (1,5 cm) en comparaison de celle des autres échantillons (en moyenne entre 4 et 8 mm d'épaisseur). Cette couche est composée principalement de fragments de roches à cristaux de calcite et, dans une moindre mesure, de cristaux broyés de calcite. La couche (c) contient essentiellement des grains anguleux de quartz (45 %) et des gravillons arrondis de calcaire fin (20 %). Elle ressemble fortement à la couche (c) de l'ensemble A.

Assemblage stratigraphique I : il correspond à l'échantillon AIX 12 (pièce 11 de la *domus* II du site des Chartreux ; III^e siècle de notre ère ?). Cet échantillon possède trois couches. Les deux premières sont chargées essentiellement de cristaux anguleux de calcite, tandis que la troisième est à teneur principale en quartz (30 %). Elle contient également des fragments de roches à gros cristaux de calcite (20 %), des cristaux broyés de calcite (10 %) et quelques gravillons calcaires arrondis (5 % environ). Le granulats de cette couche est relativement fin (quartz : 500 µm ; calcite : 500 µm à 1 mm ; calcaire : 1 mm) et homogène.

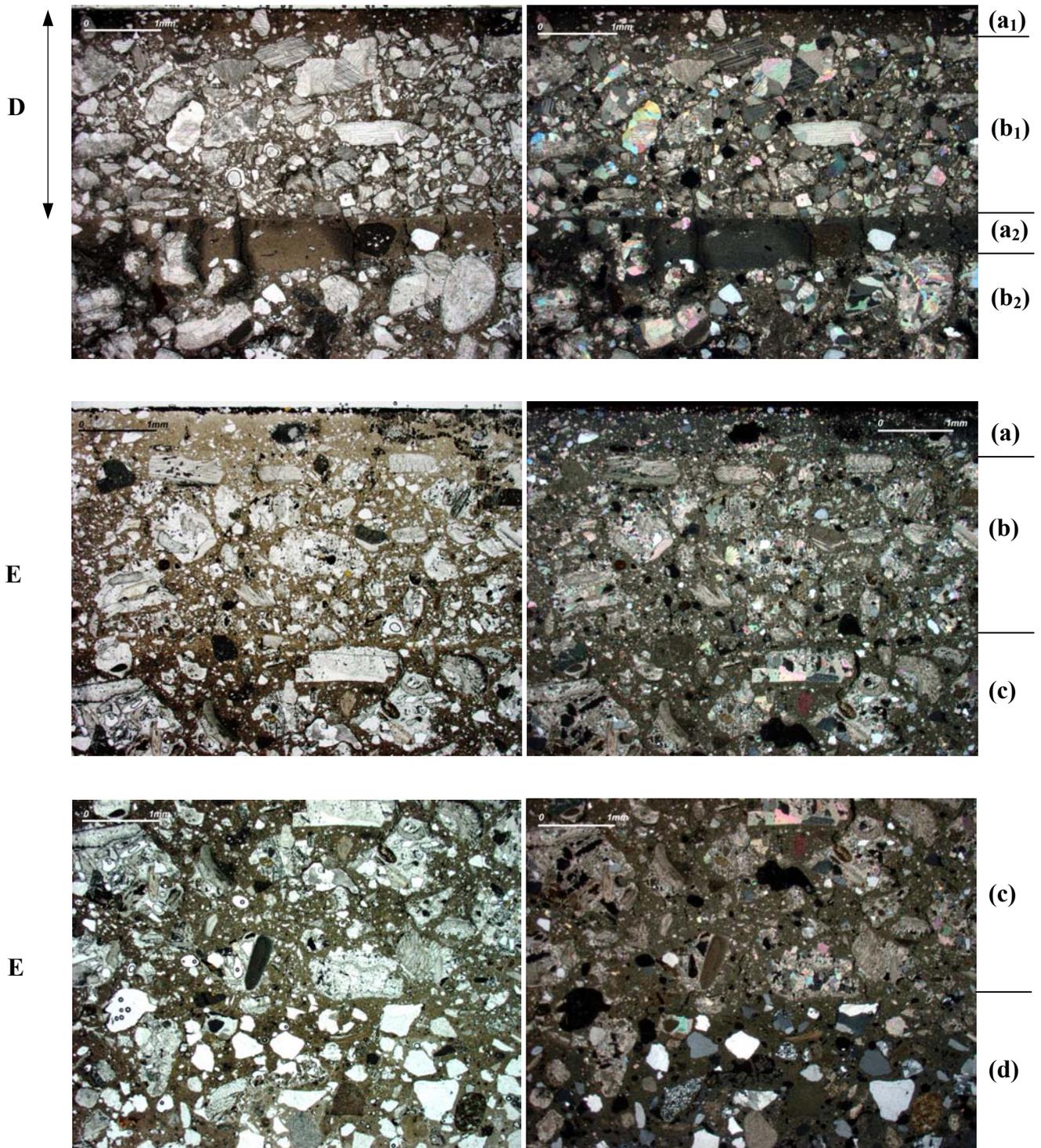


Fig.B5. Assemblages D et E représentés par les échantillons AIX-P2 (en haut) et AIX BR2 (les quatre suivantes). LPNA (à gauche) et LPA (à droite).

3. Discussions

3.1. L'origine du sable naturel

La ville d'Aix-en-Provence se trouve dans la basse Provence calcaire, au pied de la pente occidentale de la montagne Saint-Victoire, sur les rives de l'Arc et de la Torse. Cet environnement est extrêmement riche, puisque l'on peut y découvrir des formations quaternaires alluvionnaires et colluvionnaires, des formations tertiaires continentales, lacustres ou marines, des formations crétacées argileuses à calcaires et des formations jurassiques calcaires, marneuses ou dolomitiques. Un certain nombre de remarques peuvent être formulées sur l'origine du granulats des mortiers.

3.1.1. Le mélange quartz anguleux – gravillons émoussés de calcaire fin

Bien que ce mélange fasse appel à des granulats variés, siliceux et anguleux d'un côté, carbonatés et émoussés de l'autre, l'origine naturelle et locale du sable nous semble indéniable. La formation susceptible d'avoir fourni un tel ensemble serait préférentiellement une formation de surface, quaternaire, alluvionnaire. S'agissant de calcaires fins, le démantèlement de roches calcaires du Jurassique serait à envisager pour l'origine des gravillons. De fait, bien qu'aucune vérification de terrain n'ait été menée, nous postulons pour l'exploitation des alluvions anciennes ou récentes de l'Arc ou de la Torse, marquées par une faible circulation de la charge, expliquant ainsi la persistance des formes anguleuses des grains de quartz, et la forme plus ou moins émoussée des gravillons de calcaire fin, plus à même de subir une altération mécanique que les éléments siliceux. Ces formations alluvionnaires se trouvent abondamment représentées dans l'environnement proche de la ville d'Aix.

3.1.2. Les cristaux anguleux de calcite

Plusieurs formations géologiques locales ont été et sont exploitées pour fournir du « marbre ». Seulement, il ne s'agit pas de marbre s.s. mais de calcaires noir (du Lias), jaune (de l'Eocène) ou de brèches prenant un bon poli. Ici, nous sommes confrontés à des cristaux translucides, incolores, donc issus, s'il s'agit de marbre, de marbres blancs. Nous sommes

donc tentés d'éliminer une source locale. L'hypothèse commune de récupération d'éléments de décoration en marbre blanc serait la plus plausible.

Concernant les cristaux qui peuvent avoir pour origine des filons de calcite, présents dans des roches carbonatées : la notice de la carte géologique nous informe de la présence de « prismes de calcite » au sein du calcaire de Saint-Marc et du Cengle, une formation du Sparnacien (Eocène inférieur, e_3). Cette formation est abondamment représentée à l'est d'Aix-en-Provence, à proximité de la montagne du Cengle.

3.1.3. Les fragments de roches calcaires sparitiques fossilifères

Ils posent un double problème : quelle est la formation d'origine ? et y a-t-il eu traitement (broyage) du granulat ?

L'aspect concassé du granulat fait effectivement penser à un broyage d'une roche calcaire. Les grains ont une forme torturée, des angles frais, peu compatibles avec une altération naturelle d'une formation carbonatée. Cette pratique témoigne de la volonté d'obtenir un granulat aux vertus proches de celles du marbre broyé, sans pour autant chercher à obtenir une matière première aussi « pure » que des cristaux automorphes de calcite.

Quant à la nature de la roche, il ne fait aucun doute de la proximité de la source, au vu de la richesse en calcaires dans l'environnement proche, abondamment représentés dans (et à l'est de) la ville d'Aix. (fig.B6).

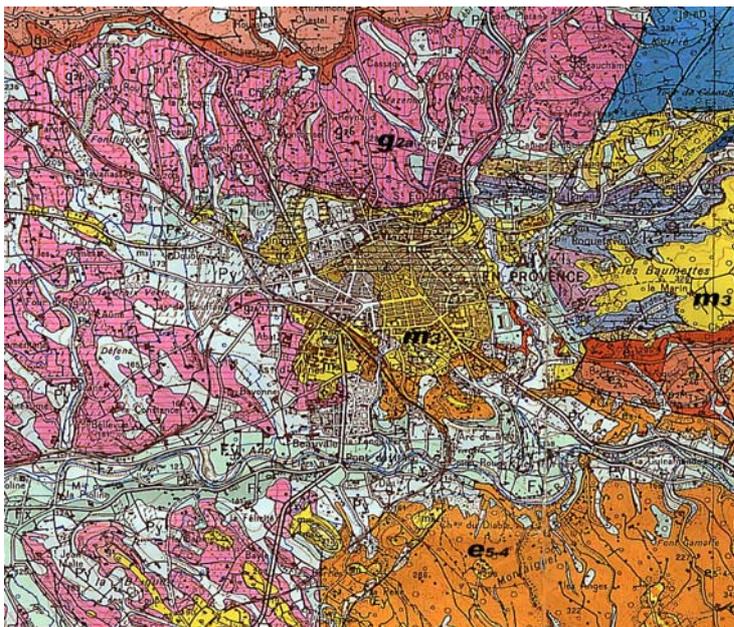


Fig.B6. Aix-en-Provence dans son environnement géologique. Les calcaires du Lutétien ($e_{5.4}$), les argiles et poudingues du Stampien inférieur (g_{2a}) et les calcarénites du Tortonien marin (m_3) sont entaillés par l'Arc et la Torse ainsi que par de nombreux thalwegs.

3.2. Les assemblages stratigraphiques : origines et datations

Le tableau B2 résume l'ensemble des datations associées à nos divers échantillons. On y distingue à la fois la persistance de nombreuses incertitudes ainsi que le manque de données pour plusieurs décors.

La datation attribuée aux échantillons en provenance du Parking Pasteur (AIX 23, 24-1 et P2) est 60-70 ap. J.-C. Un problème se pose, deux assemblages stratigraphiques sont superposés (D sur A) pour AIX 23 et P2, alors que AIX 24-1 ne possède que le premier ; la même datation ne devrait donc pas être associée à ces trois échantillons, plusieurs phases de décoration devraient être reconnues. Un élément de réponse nous vient des observations des limites intérieure et extérieure des couches (a_2). Premièrement, ces couches s'observent sur toute l'étendue de l'échantillon, sans discontinuité, sans trace d'un piquetage qui serait intervenu afin d'améliorer l'accroche de la première couche du nouveau support. Deuxièmement, la qualité de la couche(a_2) n'est pas optimale, puisque l'on voit (surtout pour AIX 23) une répartition du granulat qui n'est pas homogène et une très forte porosité, marquant par endroits plus la pose d'une couche de chaux que d'un mortier de chaux. Enfin, aucune trace n'est visible de la couche picturale du premier état supposé de décoration. Toutes ces données militent pour une seule phase de décoration. La double stratigraphie serait la marque d'une temporisation entre deux phases techniques d'application du support, la fin de la stratigraphie apparaissant comme plus luxueuse, peut-être exécutée par une équipe de spécialistes⁴.

Cela étant, par la comparaison des supports, pas tant dans le choix du nombre de couches mais dans celui des successions de couches aux compositions prédéfinies, il est possible de dresser un bilan des familles de support témoignant d'une même démarche.

Les ensembles A et E tout d'abord semblent participer d'une même approche de la mise en œuvre du support des peintures murales. Les matériaux employés sont identiques, seul varie le nombre de couches, avec en quelque sorte un doublement d'au moins une couche de préparation pour E par rapport à A (la couche (b)). Ces ensembles sont datés du milieu du I^{er} s. ap. J.-C. (60-70 ap. J.-C. pour les échantillons du Parking Pasteur). Le support H peut leur être rattaché. La stratigraphie est différente, mais les matériaux se retrouvent. Les couches (b) et (c) de H correspondent à celles de A. La variation vient de la couche (a),

⁴ Signalons que les pigments rouges ne sont pas les mêmes entre la couche picturale de finition de l'assemblage A (plus ocre) et celle de l'assemblage D.

chargée de « marbre » pour H, et de fragments de roches à gros cristaux de calcite pour A. Seulement, si l'on considère l'assemblage D comme une technique contemporaine de A bien que techniquement postérieure dans les échantillons du Parking Pasteur, alors H se présente comme un raccourci de ces deux assemblages, sa couche d'épiderme correspondant à la couche (a) de D. Le décor de cet échantillon est aussi daté du I^{er} s. ap. J.-C.

Deux assemblages (B et C) en provenance du 16 bd de la République se démarquent par une absence de mise en valeur de la finition par du granulat calcitique (« marbre » ou « roches »). Les matières premières employées pour leur préparation ne sont pas différentes de celles de l'assemblage A. Leur datation proposée est le I^{er} s. ap. J.-C. Il semble donc que l'on soit en présence d'ensembles décoratifs différents mis en œuvre plus ou moins simultanément, peut-être pour des structures différentes : on pense notamment à des zones moins luxueuses du site ou à des parois de salles qui n'auraient peut-être pas nécessité de mise en valeur particulière (tels que les zones hautes des parois ou les plafonds ?).

Dans une même optique de variabilité de la technique, mais là non liée à un changement de stratigraphie mais plutôt à une variation de la qualité des matières premières, l'assemblage F se pose comme un dérivé de l'assemblage A. La stratigraphie, à trois couches, a pour particularité une couche d'accrochage très friable, argileuse, d'un toucher « cendreau ». Cet ensemble provient du 32-44 bd de la République, et devrait dater du I^{er} s. ap. J.-C.

Les matières premières évoquées jusqu'à présent se retrouvent dans les assemblages G et I. Ces deux ensembles se démarquent toutefois des précédents par plusieurs critères originaux. Les échantillons AIX 7 (assemblage G, rue des Magnans, II^e s. ap. J.-C.) et AIX 12 (assemblage I, Les Chartreux, III^e s. ap. J.-C. ?) sont les seuls à présenter des mélanges de fragments de roches à gros cristaux et de cristaux de calcite en teneurs opposées d'une couche à l'autre ou également mélangés. G est proche de H, mais il s'en écarte par une teneur importante en granulat dans la couche (a) et aussi par une coloration très prononcée de sa couche (b), peut-être liée à des ajouts organiques (la texture du mortier n'est pas crayeuse, ce qui est anormal). L'assemblage I présente quant à lui des mélanges à composition originale (proportions inédites des différentes familles de granulat) avec une source de monocristaux de calcite différente de celle des autres assemblages (exploitation de veines plutôt que récupération de marbre ?).

4. Conclusion

Cette étude des échantillons d'Aix-en-Provence a commencé par une classification « à l'aveugle » des spécimens en différents assemblages stratigraphiques. Le fait marquant de ce travail est la mise en évidence d'une homogénéité certaine dans le choix des matières premières, d'un site à l'autre et sur une période assez longue (au minimum un siècle). Ce résultat permet de montrer à l'échelle de l'agglomération à la fois l'empreinte de la géologie locale et celle d'un patrimoine technique commun.

Références

BEDON R. (2001) – *Atlas des villes, bourgs, villages de France au passé romain*. Editions Picard, Paris.

NIBODEAU J.-P., NIN N., RICHARTÉ C. (1989) – Du cellier antique aux Aires de Saint Roch : les fouilles archéologiques du 16 bd de la République. *Documents d'Archéologie Aixoise*, **4**, 39p.

ROUIRE J. coord. (1969) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – feuille Aix-en-Provence, n° 1021.

C/ Enduits peints de Corseul (Côtes-d'Armor) :

Champ Mulon et Monterfil II



Carte d'identité

Fouilles anciennes.

Champ Mulon : *villa* urbaine du I^{er} s. ap. J.-C. et/ou ensemble thermal du IV^e siècle ?

Monterfil II : ensemble commercial et artisanal, décor daté du II^e s. ap. J.-C.

Nombre d'échantillons : 11 au total⁵.

Prélèvements dans le cadre de l'étude des échantillons de référence du CEPMR⁶.

1. Introduction

La ville de Corseul (Côtes-d'Armor), antique *Fanum Martis*, était la capitale de cité des *Coriosolites*. Etablie sous le règne d'Auguste, ce fût jusqu'au IV^e s. ap. J.-C. un pôle important de commerce et d'échanges. La richesse de son centre urbain est notamment soulignée par l'édification de plusieurs temples.

Les échantillons COR 10 à COR 13 proviendraient d'un vaste ensemble commercial et artisanal mis au jour sur la réserve archéologique de Monterfil II, le long d'un axe majeur de l'agglomération (voir Kerébel *et al.* 2001). Ces quatre échantillons d'enduits peints, trouvés entre 1992 et 1994, sont datés du II^e s. ap. J.-C. (cf. rapport interne du CEPMR, 1997).

Les échantillons COR 2 à COR 8 proviennent du lieu-dit Champ Mulon, d'une fouille ancienne (1965 à 1971) qui a mis au jour une petite *villa* urbaine du I^{er} s. ap. J.-C. et un ensemble thermal du IV^e s. ap. J.-C. Malheureusement, la provenance exacte des fragments est inconnue. Les échantillons COR 5 à 7 se rattachent à un premier décor nommé décor I, COR 5 et 6 correspondant à la plinthe. COR 2, 4 et 8 ramènent à un deuxième décor (décor II), COR 2 et 4 correspondant de surcroît à « l'ensemble A » (cf. rapport interne du CEPMR, 1992).

⁵ Voir la liste en annexes.

⁶ L'étude de Monterfil II a fait l'objet de l'encadrement d'un stage de Deug II « Sciences de la Terre » (stagiaire : Thomas Bernstein) en juin 2002.

2. Résultats

2.1. Monterfil II

L'étude des échantillons de Monterfil II nous a amené à définir trois assemblages stratigraphiques, nommés A, B et C. Le résumé des caractéristiques principales des couches de mortier est reporté dans le tableau C1.

couches	couleur	épaisseur	Matrice (en %)	composition du granulat (en %)				Macro-porosité (en %)
				Quartz, lithoclastes	terre cuite	calcite	biotite	
COR10(a)	blanc	1 mm	90% avec fissures	85%	×	3-4%	10%	< 1%
				30µm →450µm		→200µm	110µm →500µm	
COR10(b)	gris-rose	4,5 mm et 11,2 mm	45%	85%	1%	4%	8%	5%
				30µm →1mm	→400µm	125µm →1,7mm	100µm →500µm	
COR11(a)	blanc	entre 0 et 1 mm	90%					
COR11(b)	gris- blanc	16 mm épaisseur conservée	45%	70%	×	5%	25%	10%
				50µm →4,5mm		100µm →600µm	140µm →2,5mm	
COR12(a)	blanc	2,5 mm	90%	20%	×	80%	1%	< 1%
				→600 µm		10µm →800µm	1 cristal →1,5mm	
COR12(b)	orange	12 mm	60%	50%	45%	< 1%	4%	2%
				→2mm	5µm→ 4,5mm	×	125µm →600µm	
COR12(c)	gris	2 mm épaisseur conservée	50%	95%	×	2%	1%	2%
				→3mm		→250µm	→600µm	
COR13(a)	blanc	0,5 mm	90% avec fissures	90%	×	3-4%	5%	< 1%
				→700µm		→200µm	→125µm	
COR13(b)	gris- blanc	14 mm épaisseur conservée	45%	75%	×	3%	20%	8%→10%
				→5mm		×	100µm →600µm	

Tabl.C1. Descriptions des couches des supports de peintures murales de Monterfil II (Corseul, Côtes-d'Armor).

Les assemblages correspondent à :

A : échantillons COR 11 et COR 13, à deux couches de mortier sableux, la couche (a) étant fine, blanche, chargée de quartz, la couche (b) étant abondamment chargée de sable constitué de lithoclastes (principalement granitiques, à biotite, un mica noir, mais aussi présence de gneiss et micaschistes).

B : échantillon COR 12, à trois couches, avec (a) de chaux et cristaux de calcite, (b) à tuileau et sable et (c) à sable (essentiellement fragments granitiques).

C : échantillon COR 10, à deux couches de mortier sableux, la couche (a) étant fine, blanche, chargée de quartz.

La distinction entre les assemblages A et C s'explique par la finesse du sable trouvé dans la couche (b) de l'échantillon COR 10 (fig.C2). La couleur qui en résulte pour cette couche est légèrement plus rose, liée, nous supposons, à un accroissement relatif des réactions entre le granulats et la chaux du fait d'une surface spécifique totale de contact plus importante.

L'assemblage B n'est pas uniquement défini par la présence en couche (b) d'une couche à base de tuileau. Sa couche d'épiderme est particulière pour ce lot d'échantillons, avec une teneur dominante de cristaux de calcite dans la charge. Il ne semble pas s'agir de marbre broyé, mais plutôt de fragments de roches calcaires.

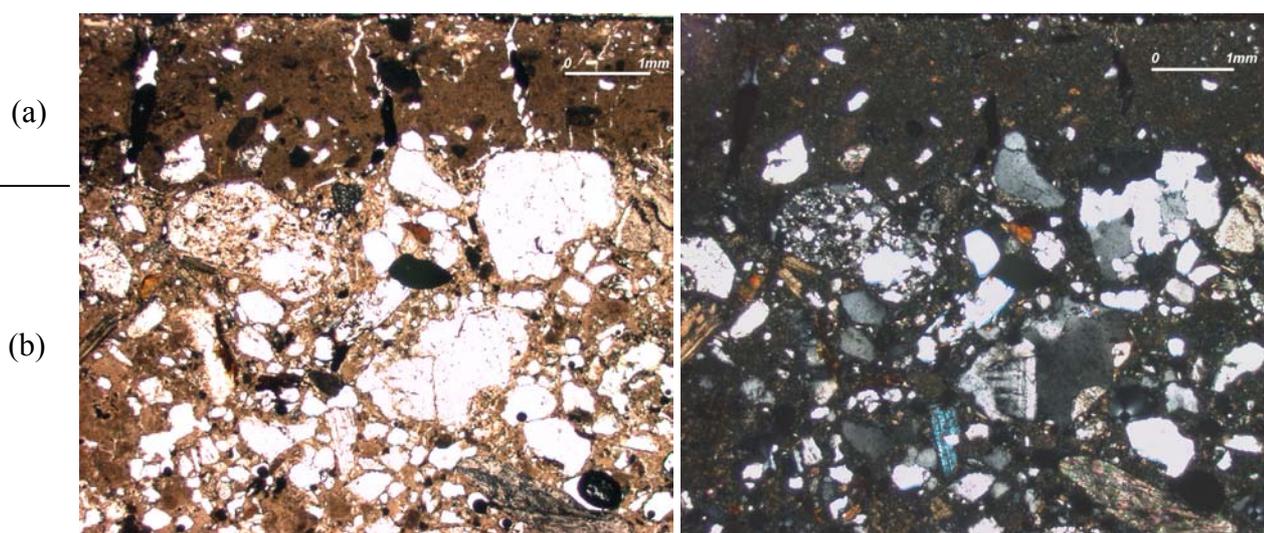


Fig.C2. Couches (a) et (b) de l'assemblage C. Echantillon COR 10, LPNA (à gauche) et LPA (à droite).

2.2. *Champ Mulon*

L'étude dans un deuxième temps des échantillons de Champ Mulon s'est révélée surprenante, une ressemblance de techniques étant observée avec les échantillons de Monterfil II. Les échantillons les plus remarquables sont COR 5, 6 et 7, appartenant au décor I, qui montrent un assemblage stratigraphique connu : **A**.

Un nouvel assemblage, **D**, a été défini pour les prélèvements COR 3 et COR 8. Les couches de mortier sont de mêmes compositions que celles de l'assemblage B, mais la couche en mortier de tuileau n'est pas en position (b), elle se retrouve en (c). Les fragments de tuileau sont de granulométrie plus grossière. L'assemblage **E** correspond aux échantillons COR 2 et COR 4 et se définit par une stratigraphie contenant des mortiers de chaux et de sable identiques à ceux de l'assemblage D, la couche (c) en mortier de tuileau étant par contre absente. Trois des quatre échantillons (COR 2, 4 et 8) correspondent au décor II.

3. Discussions

Devant le manque de datation précise nous ne pouvons que nous résigner à des conjectures. Si l'on considère une parfaite contemporanéité entre les échantillons attribués à l'assemblage A, qu'ils soient de Champ Mulon ou de Monterfil II, la datation du décor I de Champ Mulon devrait être le II^e s. ap. J.-C., l'origine des fragments étant alors la *villa* construite au I^{er} s. ap. J.-C.

Tous les échantillons font partie d'un ensemble relativement cohérent d'un point de vue technique, avec l'utilisation d'un granulat de sable granitique à biotite abondante. Le nombre de couches est limité à deux (même si l'on voit une limite de pose dans COR 10(b)) pour la plupart des fragments. Les stratigraphies à trois couches correspondent à l'ajout d'un mortier de composition différente, à tuileau dominant, et devraient vraisemblablement pointer une phase de décoration d'une structure nécessitant une bonne étanchéité ou résistance à l'eau.

Cette homogénéité dans la technique, malgré les quelques découpages effectués, milite pour une contemporanéité des décors étudiés. Toutefois, pour les supports à deux couches, la simplicité de la stratigraphie ne peut réellement permettre d'effectuer ce type d'interprétations

(notamment pour la comparaison entre A et C) ; la proximité des assemblages semble plutôt caractéristique d'un patrimoine local, sans doute longtemps de mise.

4. Origine du granulat

Le sable présent dans les mortiers est relativement hétérogène, mêlant à une majorité de lithoclastes de granite divers éléments de roches métamorphiques (micaschistes et gneiss). L'hétérogénéité du sable et l'absence d'argile nous amènent à supposer que le granulat ne provient pas d'une arène en place ou légèrement remaniée, mais plutôt d'une formation alluviale, issue du charriage sur une faible distance des fragments de plusieurs formations plutoniques et métamorphiques (Corseul est située en rive droite d'un affluent de l'Arguenon ; fig.C3).

L'environnement local n'est toutefois pas dépourvu de formations calcaires. Le calcaire miocène présent à proximité de Le Quiou, à 16 km au sud-est de Corseul, autrefois exploité pour la construction (Lardeux *et al.* 1996, p.100), pourrait être la source à la fois de la pierre à chaux et des fragments de roches observés dans la couche d'épiderme de l'assemblage stratigraphique B.

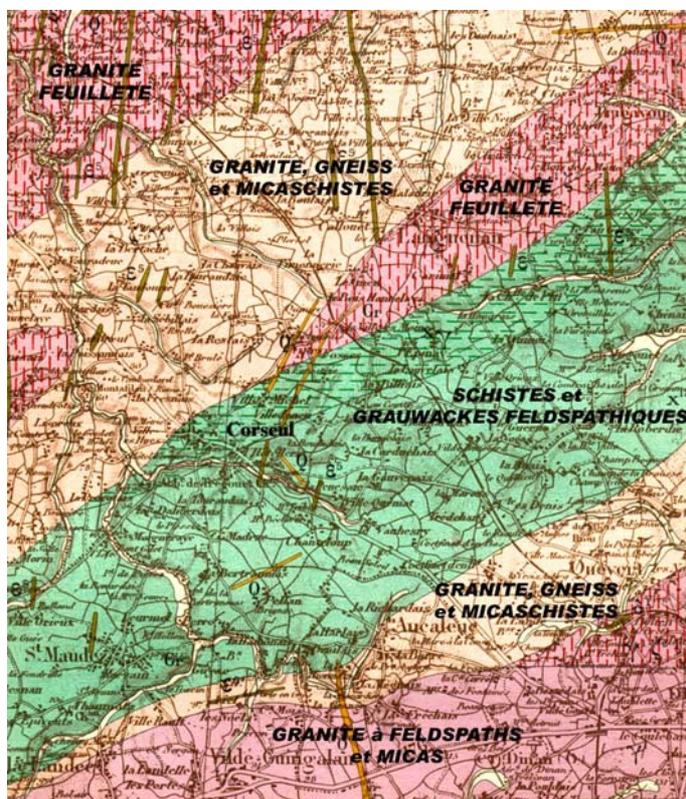


Fig.C3. Corseul dans son environnement géologique (extrait de la carte au 1/80 000 ; Goguel 1964).

Références

GOGUEL J. éd. (1964) – Carte géologique à 1/80 000 – Feuille de Dinan (n°60), 3^{ème} édition.

KEREBEL H. *et al.* (2001) – *Corseul (Côtes-d'Armor), un quartier de la ville antique*. Documents d'Archéologie Française (DAF) n°88, Paris, 252 p.

LARDEUX H. *et al.* (1996) – Guide géologique de la Bretagne. 3^{ème} édition. *Guides géologiques régionaux*. Masson. 223 p.

Annexes : liste des échantillons (références CEPMR)

Champ Mulon :

COR 2 : Cp (couche picturale) bleu, vert, ocre jaune, noir, marron rouge, décor 2, ensemble A du rapport 1992 (fig.25).

COR 3 : Cp bleu égyptien.

COR 4 : Cp violet avec empreinte coquillage, ensemble A décor 2 du rapport 1992 (fig.25).

COR 5 : Cp fond rose avec vert clair et foncé, plinthe, décor 1 (rapport 1992).

COR 6 : Cp rose, plinthe du décor 1, rapport 1992.

COR 7 : Décor 1, traces d'accrochages, revers de COR 39 (rapport 1992, fig.14), base d'une console en esse.

COR 8 : Décor 2, fond ocre jaune avec rouge et motif bleu.

Monterfil II :

COR 10 : Bâtiment 5, à stylobate, secteur XXII, unité stratigraphique 243 (fouille 1992-94).

Datation présumée : II^e s. ap. J.-C.

Décor sur échantillon : champ rouge bordeaux

COR 11 : Secteur XL, unité 389 (fouille 1992-94).

Datation présumée : II^e s. ap. J.-C.

Décor sur échantillon : champ gris (avec nodules de pigment noir ?)

COR 12 : Secteur XXXIII, unité 330 (fouille 1992-94)

2^e groupe

Datation présumée : II^e s. ap. J.-C.

Décor sur échantillon : champ blanc (mortier)

COR 13 : Bâtiment 3 (fouille 1992-94)

2^e groupe

Datation présumée : II^e s. ap. J.-C.

Décor sur échantillon : champ blanc et bande rouge bordeaux

D/ La pièce U de la *domus* de la place Formigé (Fréjus, Var)



Carte d'identité

Fouilles de sauvetage entre le 8 février et le 31 mai 1988 sous la direction de Paul-Albert Février.

Domus occupée entre 30 et 80 ap. J.-C.

Etude du décor de la pièce d'apparat U.

Œuvre datée de 30-40 s. ap. J.-C. (III^e style pompéien mûr).

Nombre d'échantillons : 11 fragments, 8 lames minces.

Reprise de l'étude de Person, Renard et Tourenq 1992.

1. Introduction

Le Centre d'Etude des Peintures Murales Romaines a réalisé entre 1989 et 1995 l'étude et la restauration d'un ensemble de décors provenant des fouilles d'une maison urbaine, dirigées en 1988 par Paul-Albert Février, place Formigé, à Fréjus (Var). La *domus* a été habitée des années 30 à 80 ap. J.-C., puis abandonnée après incendie (Becq et Monier 1992, Barbet *et al.* 2000).

Le décor qui nous intéresse provient de la pièce d'apparat U (fig.D1), et plus particulièrement du mur nord dont la stratigraphie complète a pu être restituée pour l'intégralité de la paroi, grâce aux vestiges en place et à l'effondrement au pied du mur du décor des zones supérieures, dépôt non perturbé par la suite. La restitution a montré l'existence d'un changement de stratigraphie entre la zone basse et la zone supérieure ainsi que l'intervention d'au moins une phase de réfection (fig.D2).

2. Résultats

Une première étude a été menée en 1992 par A. Person, M. Renard et J. Tourenq (Person *et al.* 1992). Les techniques d'analyse employées furent la diffractométrie des rayons X (DRX), l'analyse granulométrique, l'étude des minéraux lourds et la microscopie optique en transmission.

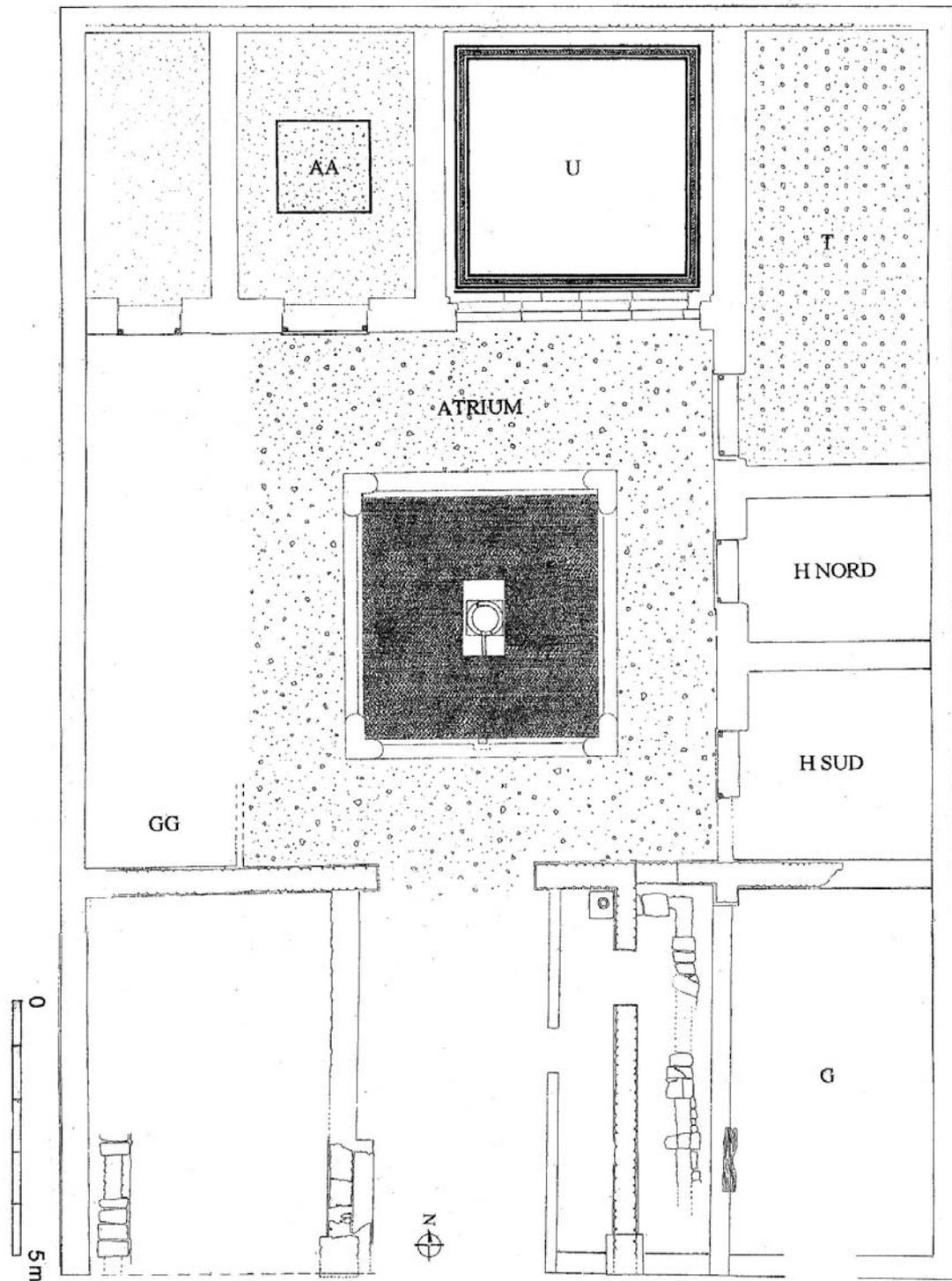


Fig.D1. Domus de la place Formigé (In Barbet et al. 2000).

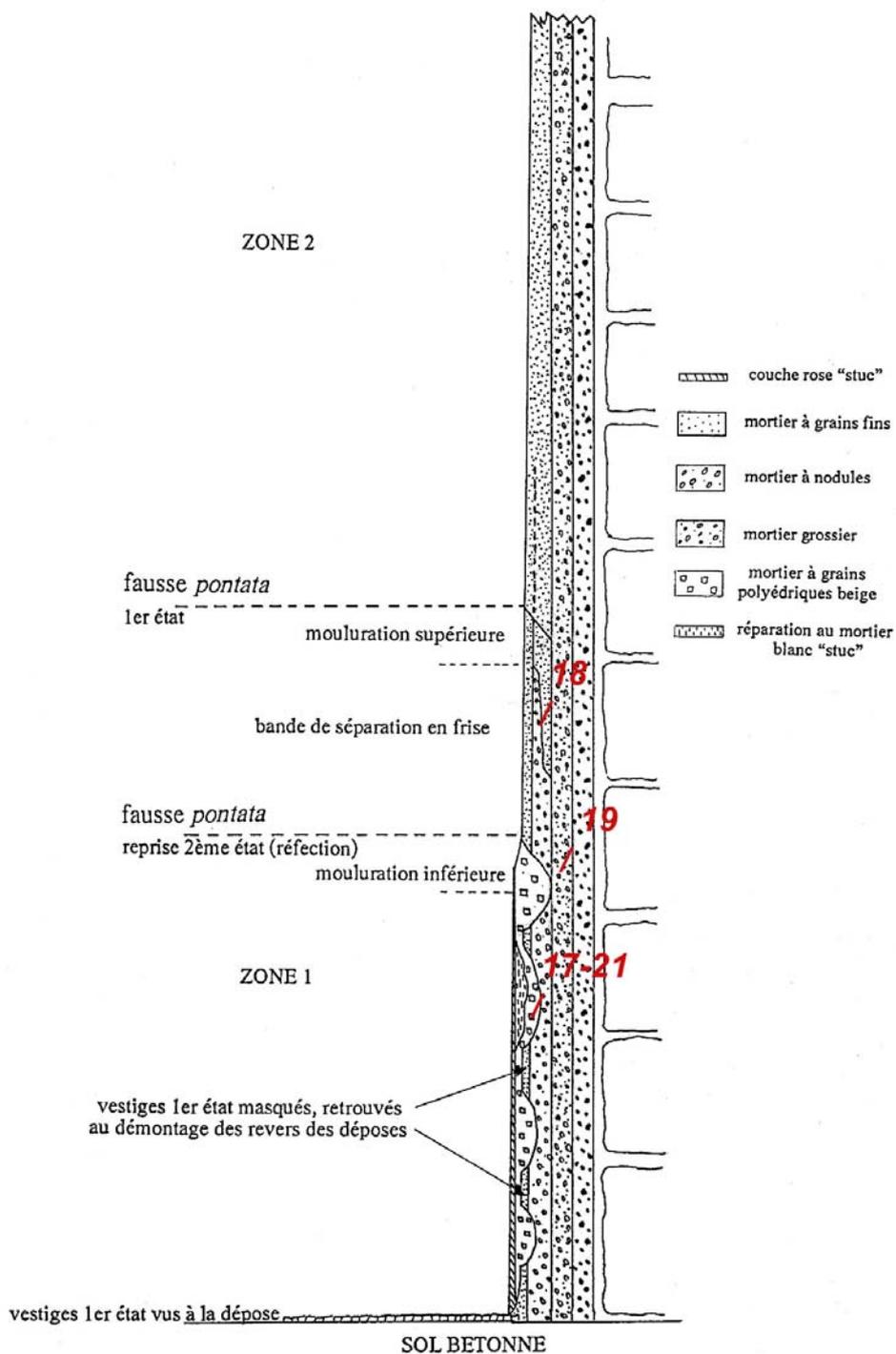


Fig.D2. Résumé des étapes de disposition et modification du support (relevé G. Becq) et position des principaux prélèvements. Pièce d'apparat U, mur nord.

Ces travaux ont porté sur le mur nord et des échantillons en provenance du décor du plafond. Devant l'importance des résultats archéologiques et nos difficultés d'intégration des données de ces travaux analytiques à notre corpus, nous avons étudié à nouveau les lames minces et tenté une synthèse, après quelques rectifications. Il est possible de restituer la stratigraphie de chaque zone du mur nord (fig.D2), en se calant sur le relevé de G. Becq (1992).

2.1. La zone supérieure – « zone 2 »

Le support y est composé de trois couches.

- Couche (c) : mortier beige clair, type **MS1** (échantillons 19 et M2), dit « mortier grossier » (par Becq), à proportion chaux/granat de 1:3 (fig.D6). Le sable est constitué de quartz monocristallins et polycristallins et d'éléments de roches granitique ou volcanique. Les grains sont anguleux pour les petites dimensions, arrondis sinon. La gamme granulométrique est large, toutes les dimensions sont représentées entre quelques μm et 1 mm (d'après lame mince et analyse granulométrique ; fig.D3). Quelques feldspaths sont révélés par DRX (fig.D4).

ECH	LOCALISATION	DESCRIPTION	Calcite	Quartz	Feldspaths	Kaolinite	Illite
1	Mur Nord Bande verte supérieure	Fragment avec reféction superficielle "couche rose"	*****	**			
5	Mur Nord-Plinthe	Couche rose superficielle	*****	tr			
17	Mur Nord-Angle Est	Mortier à grains polyédriques jaunes (réparation)	*****	*			
21	Mur Nord,U-41	idem 17	*****	tr			
18	Mur Nord-Angle Est	Mortier à grains fins (Couche moyenne)	**	*****	**	*	*
19	Mur Nord-Angle Est	Mortier grossier (couche basale)	*	*****	*		
22	Plafond- U393	couche de base	*	*****	**	tr	*
23	idem 22	dernière couche avec peinture	****	****	*	*	*

***** à * : Fréquence des minéraux
tr : trace

Fig.D4. Abondances relatives des minéraux par analyse DRX (*In Person et al.* 1992).

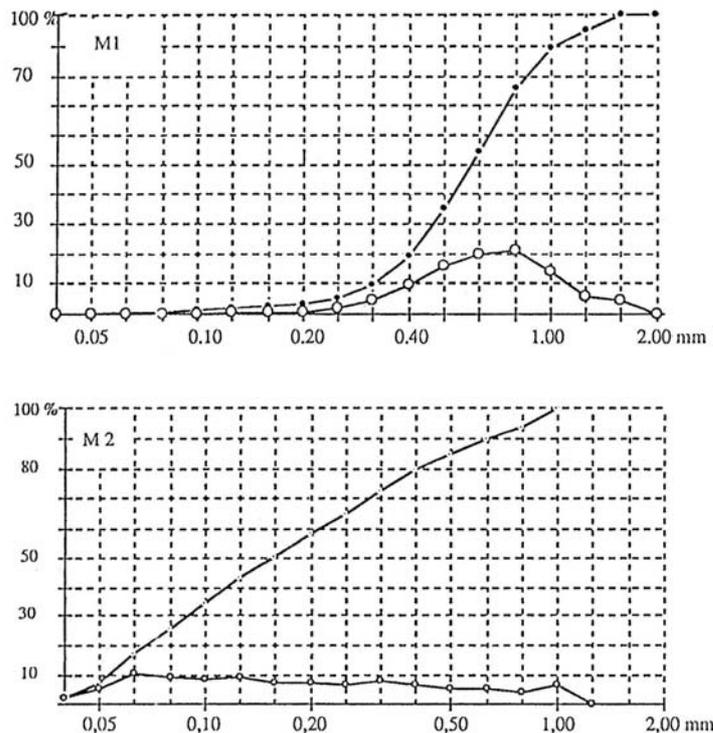


Fig.D3. Résultats de l'analyse granulométrique sur deux échantillons (M1 et M2). Courbes de fréquences et cumulatives (*In Person et al. 1992*).

- Couche (b) : mortier beige, grisé à rose (proche de 5 RP 8/2, *pale pink*, code Munsell), type **MS2** (échantillons 18, M4, M5), dit « mortier à nodules », à proportion chaux/granat de 1:3. Le sable est constitué de quartz monocristallins et polycristallins, de feldspaths, de fragments de roches diverses essentiellement plutoniques, mais aussi métamorphiques et volcaniques ; des argiles, kaolinite et illite, apparaissent en DRX (fig.D5 tirée de *Person et al. 1992*). Le tri du granulat est médiocre, ce qui indique une source géologique du granulat peu éloignée des zones d'altération des roches sources, reprises par colluvionnement et/ou alluvionnement. Les grains sont compris pour l'essentiel entre 200 μm et plus d'1 mm. Les grains sont relativement anguleux, sauf ceux issus de la désagrégation de roches volcaniques.
- Couche (a) : mortier blanc, type **MS3** (échantillon 18), dit « mortier à grains fins », pauvre en granulat, à proportion chaux/granat de 2:1 à 1:1. Le sable est constitué de grains arrondis de quartz monocristallins et polycristallins de 1 mm de diamètre environ, associés à des grains de quelques dizaines de μm de diamètre de biotites, feldspaths, etc. La paragenèse est de type granitique ; la source du granulat serait une arène granitique lavée (naturellement ou par les artisans ?).

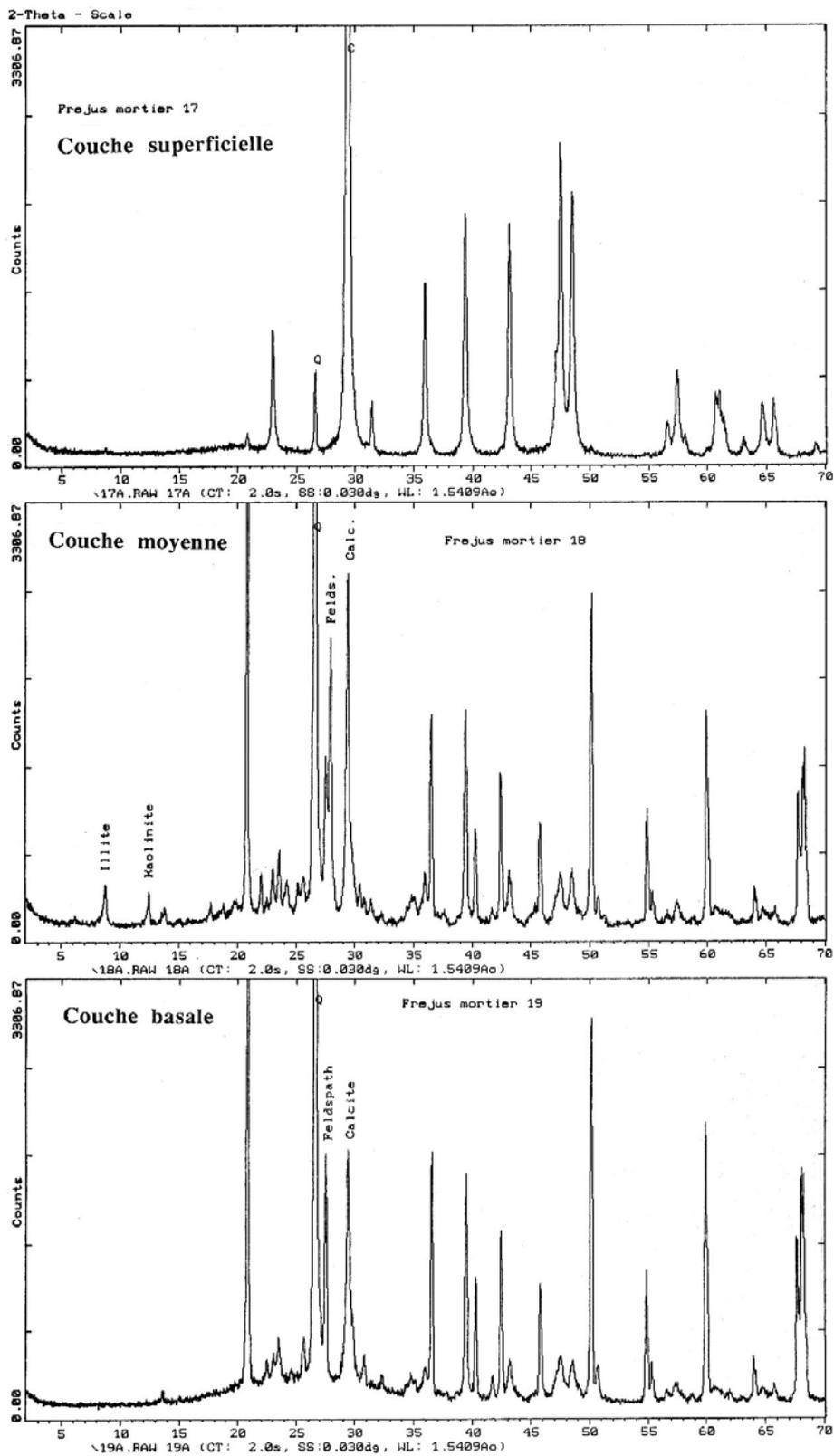


Fig.D5. Diffractogrammes de trois échantillons : 17, 18 et 19 (In Person et al. 1992).

2.2. La zone inférieure – « zone 1 »

On observe les mêmes matériaux en zone basse, mais une stratigraphie à quatre couches : (d) en MS1, (c) et (b) en MS2 et (a) en MS3.

2.3. La zone de transition

La transition entre les zones inférieure et supérieure s'effectue grosso modo entre les deux « fausses pontata* ». A ce niveau s'observe le départ de la deuxième couche de MS2, visible en partie basse, qui vient recouvrir le mortier MS3 qui se biseaute, mais qui vient lui-même recouvrir MS2 en (b) par dédoublement. Ce qui donne, localement, une stratigraphie à cinq couches : (e) en MS1, (d) en MS2, (c) en MS3, (b) en MS2 et (a) en MS3. Cette stratigraphie complexe correspond à un repentir de l'ouvrier qui a modifié les épaisseurs des couches, préalablement disposées, lors de l'exécution de la zone basse (Becq et Monier 1992).

2.4. Les réfections

Les réfections concernent la zone basse. Trois matériaux ont été identifiés :

MS4 : c'est le plus abondamment employé, il remplit les zones piquetées ou abîmées. C'est un mortier blanc (échantillon 17), dit « mortier à grains polyédriques beiges », à proportion chaux/granat de 1:2 (fig.D7). Le sable est constitué presque exclusivement de cristaux anguleux de calcite, nombreux à macles et/ou extinction onduleuse, complétés par quelques grains émoussés de granite à biotite. La calcite correspond à du marbre broyé. Trois types de cristaux ont été repérés : des gris, des blancs et des gris veinés de blanc. Toutes les dimensions sont représentées, depuis la poussière de marbre jusqu'aux cristaux de plus d'1 mm de diamètre.

MS5 : mortier blanc (échantillons 17 et 21), le « mortier blanc stuc », à proportion chaux/granat de 2:1 à 1:1. La fraction sableuse est constituée exclusivement de marbre broyé (nombreux cristaux à macles et/ou extinction onduleuse). Les grains sont anguleux, au diamètre allant de la poussière à 500 µm, avec une fraction importante inférieure à 250 µm.

MS6 : mortier rose (proche de 5 R 7/4, *moderate pink*), le « mortier rose stuc » (échantillons 1, 5 et 21), à proportion chaux granulat de 2:1. Le sable est constitué exclusivement de marbre broyé (nombreux cristaux à macles et/ou extinction onduleuse). Les grains sont anguleux, au diamètre inférieur à 150 μm , surtout de la dimension des limons ; on repère toutefois, à l'œil nu, dans les couches les plus épaisses, des grains au diamètre atteignant 500 μm .

L'orientation du granulat de ces trois mortiers de réparation est très belle, parallèlement à la surface d'aplatissement.

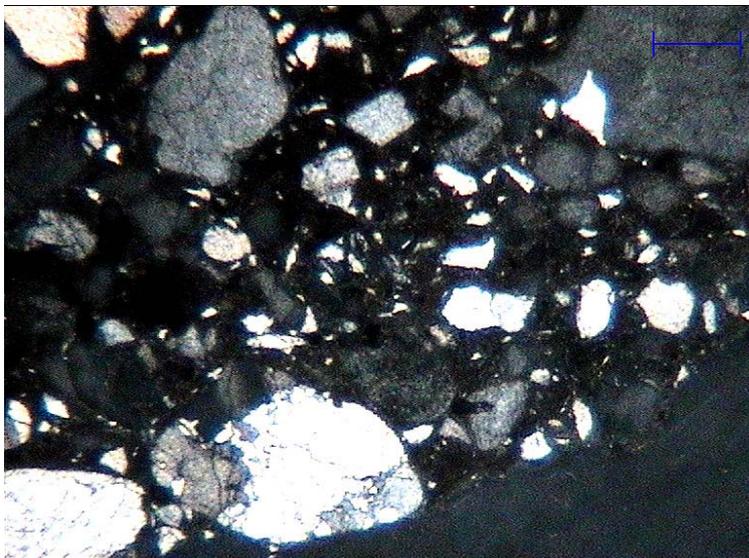
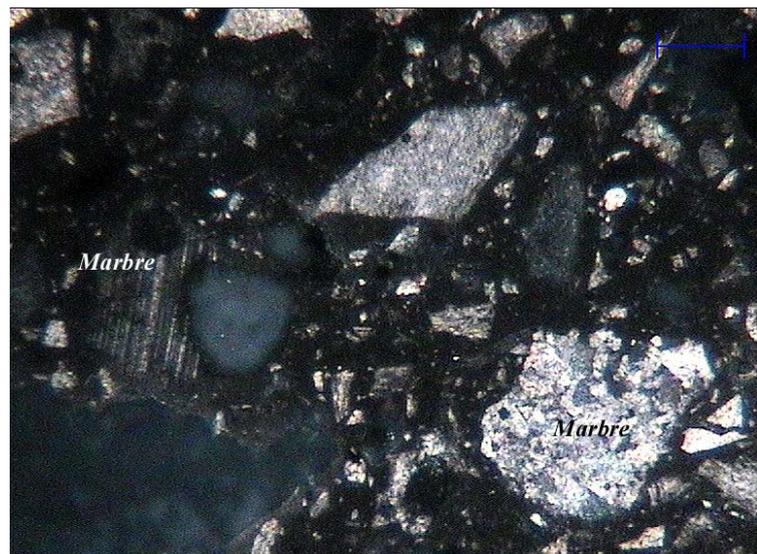


Fig.D6. Echantillon 19, type MS1, en LPA (l'échelle mesure 500 μm). Le granulat est constitué pour l'essentiel de quartz.

Fig.D7. Echantillon 17, type MS4, en LPA (l'échelle mesure 500 μm). Le granulat est constitué pour l'essentiel de cristaux anguleux de calcite, souvent maclés (cristal de gauche) ou « polycristallins » (à droite).



2.5. Le décor de plafond – « zone 3 »

Des fragments du décor du plafond de la pièce U ont été retrouvés lors de la fouille. La plupart avaient conservé leur mortier d'accrochage, au revers duquel pouvaient encore s'observer les empreintes de roseaux sur lesquels le décor était fixé.

Le support est constitué de deux couches :

- Couche (b) : de 1,5 à 2,5 cm d'épaisseur (échantillon 22), mortier marron un peu ocre (5 YR 5/6, *light brown*), type **MS7**, très pauvre en chaux, à sable quartzeux, biotite, feldspaths, oxydes et sans doute une teneur importante en argiles. Les grains, émoussés, sont de toutes dimensions mais nombreux entre 250 µm et 1,5 mm.
- Couche (a) : de 1 à 1,5 cm d'épaisseur (échantillon 23), mortier beige ocre (5 YR 8/4, *moderate orange pink*), type **MS8**, à proportion chaux/granulat de 1:2. Le sable est constitué de quartz, feldspaths et surtout de fragments de roches à biotite. La DRX indique aussi la présence de minéraux argileux. Des vestiges de paille sont visibles à l'œil nu. Les grains sont émoussés à anguleux. Nombreux grains au diamètre compris entre 250 µm et 1 mm, mais toutes les dimensions entre la poussière et 2 mm.

3. Discussions

3.1. L'origine du sable naturel

La composition minéralogique du granulat des mortiers de type MS2 (couches moyennes), les paramètres granulométriques, ainsi que le cortège de minéraux lourds (et plus particulièrement la présence d'augite et d'hornblende ; Person *et al.* 1992) renvoient en partie à la formation « Andésite augitique » de la carte géologique au 1/80 000, associée aux « Porphyrites labradoriques », correspondant aux roches basiques du volcanisme permien (hawaiiite, mugéarite et dolérite) de la carte 1/50 000. Ces formations sont présentes à proximité de Fréjus, essentiellement dans le massif de l'Estérel.

Les paragenèses granitiques sont toujours présentes pour les mortiers d'origine de la pièce. Le granite du Plan-de-la-Tour sur la rive droite de l'Argens pourrait être la source.

C'est un granite porphyroïde à quartz, feldspaths (et plagioclases), micas, ainsi que cordiérite et zircon en minéraux lourds. Il se présente fréquemment à l'affleurement sous un aspect arénisé.

Le sable du Rayran, peut-on lire chez Texier (1849), était fort estimé des Romains car formé de débris de roches très dures, alors que celui de l'Argens était boueux. Ces alluvions étaient appréciées aussi pour se fournir en pierre à chaux : « Le revers de la colline de Fréjus est baigné par le cours du Rayran, gros torrent qui coule du nord au sud, et qui va se jeter dans l'Argent un peu au-dessus de son embouchure.[...] Le Rayran traverse dans son cours les terrains les plus variés, les calcaires de Maraus, les gneiss et les granits d'Escole, les terrains houilliers de la vallée de l'Esquine et les porphyres du Gargalon, qui viennent rouler jusqu'à Fréjus. Les paysans recueillent avec soin les pierres calcaires qui se trouvent dans son lit : c'est un des moyens de se procurer de la chaux à Fréjus ». Toutefois, plus loin, l'auteur signale qu'« il manquait une chose de première nécessité : la chaux ne se trouve nulle part aux environs de Fréjus. On est conduit à croire qu'ils la tiraient des montagnes de Fayence et qu'elle arrivait à Fréjus par l'embranchement de la voie romaine passant à Auriasque car il est certain qu'ils ne la faisait pas venir du pays de Draguignan qui la fournit aujourd'hui. En effet, on remarque dans leurs bétons des morceaux de calcaire qui ont échappé à la cuisson, et cette roche ne se retrouve qu'aux environs de Grasse et de Fayence : c'est une pierre blanche, compacte, qui produisait une chaux grasse, mais de bonne qualité. »

3.2. Le choix des matières premières

Le choix est local pour le sable naturel. Des distinctions ont été faites dans le catalogue de granulats locaux ou dans la gamme des traitements, puisque toutes les couches de mortier ne présentent pas le même dégraissant.

Pour la couche de base du mur nord il faut voir le choix d'un granulats issu d'un très faible transport, avec un tri médiocre. Il en est de même pour la couche moyenne, mais l'enrichissement en fragments de roches volcaniques s'accompagne d'une amélioration du tri granulométrique, montrant peut-être l'accroissement de l'éloignement de chaque formation source (éloignement toutefois encore faible). Ce deuxième sable pourrait avoir été préféré pour sa finesse (relativement au premier).

La couche de finition est plus riche en chaux ; sa coloration est de fait bien plus blanche. Les « fines » sont encore présentes, mais en faible quantité, ce qui pourrait témoigner d'un lavage du sable ou du choix d'exploitation d'un niveau plus propre.

Les caractéristiques des couches de plafond sont la présence d'argile en forte proportion et de chaux en faible proportion. Cette technique est exacerbée pour la couche d'accrochage, celle reposant sur le treillis de roseaux (c'est une technique de fixation bien connue pour les enduits de plafond ; Barbet et Allag 1972). L'argile pourrait avoir été employée pour améliorer l'adhérence de la couche (Person *et al.* 1992). Il s'agit de toute façon d'une technique parfaitement différente de celle appliquée sur le mur, pour deux décors *a priori* contemporains.

Les réfections sont intervenues sur une portion seulement de la paroi. L'utilisation de marbre broyé est systématique. Ce changement de matière première est d'autant plus intéressant qu'il s'agit du passage à un granulats considéré comme « de luxe ». Il n'est pas possible, sans comparaison avec d'autres décors contemporains de Fréjus, de voir s'il s'agit d'un effet général (généralisation de la technique, apparition d'une mode, etc.) ou si les finances du commanditaire l'ont simplement permis pour ce travail de restauration.

Références

BARBET A. et ALLAG C. (1972) – Techniques de préparation des parois dans la peinture murale romaine. *MEFRA*, **84**, 1972-2, 935-1069.

BARBET A. *et al.* (2000) – La peinture romaine : fresques de jardin et autres décors de Fréjus. Catalogue de l'exposition « La maison romaine de la place Formigé : techniques de la peinture antique », Musée Archéologique Municipal de Fréjus, 36 p.

BECQ G., MONIER F. (1992) – Données préliminaires sur la caractérisation minéralogique des mortiers support de peintures romaines, Fréjus. Première partie : analyse archéologique. *VIII^e journées des Conservateurs-Restaurateurs en Archéologie / CRIAA – Bordeaux – 47-49.*

PERSON A., RENARD M., TOURENCQ J. (1992) – Données préliminaires sur la caractérisation minéralogique des mortiers support de peintures romaines, Fréjus. Deuxième partie : analyse géologique. *VIII^e journées des Conservateurs-Restaurateurs en Archéologie / CRIAA – Bordeaux – 50-54.*

TEXIER Ch. (1849) – Mémoires à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres de l'Institut national de France - Antiquités de France - Tome II : *Mémoires sur la ville et le port de Fréjus*. Paris, 246-262.

TOUTIN-MORIN N. *et al.* (1994) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Fréjus-Cannes, n° 1024, 2^{ème} édition.

E/ Le support des peintures du *fanum* de Bois l'Abbé (Eu, Seine-Maritime)



Carte d'identité

Echantillons provenant d'une campagne de fouilles des années 70.

Ville-sanctuaire de Bois l'Abbé, Eu (Seine-Maritime).

Enduits peints du *fanum* construit à la fin du I^{er} s. ap. J.-C. ou au début du II^e s. ap. J.-C.

Nombre d'échantillons : 6.

Prélèvements dans le cadre de l'étude des échantillons de référence du CEPMR.

1. Introduction

Le site gallo-romain de Bois-l'Abbé (Eu, Seine-Maritime) est une ville sanctuaire gallo-romaine découverte à la fin du XVIII^e siècle, lors du percement d'une route qui recoupa un « grand temple », daté du début du III^e s. ap. J.-C (Cholet et Follain 2001). Un autre édifice a été mis au jour dans l'aire cultuelle : il s'agit d'un *fanum* daté de la fin du I^{er} s. ap. J.-C. ou du début du II^e s. ap. J.-C. Ses murs sont appareillés en silex non équarris noyés dans du « mortier de chaux et de gravier de mer » (Mangard 1980). De nombreux fragments d'enduit peint ont été retrouvés lors de la fouille du sanctuaire. Le lot étudié ici correspond à l'un des ensembles découverts dans le *fanum*. Les indices archéologiques et stylistiques semblent permettre de dater cet ensemble, à « cadres linéaires emboîtés », du dernier quart du II^e s. ap. J.-C. (Muller 1990).

2. Résultats

Nous avons eu à notre disposition six échantillons de référence de cet ensemble de peintures murales. Ils peuvent, d'après nos résultats, se scinder en deux groupes de support.

Assemblage stratigraphique A

Il correspond aux échantillons :

- Ech.1 : bandeau d'encadrement de la paroi, rouge bordeaux.
- Ech.2 : sur fond blanc, élément de candélabre ou objets suspendus, ocre jaune, marron, orange (partie de corne d'abondance).
- Ech.3A : bande d'encadrement bleue, points marron-rouge en diagonale dans l'angle.
- Ech.4 : Plinthe mouchetée bleu et rouge sur fond blanc.

Le support est constitué de deux à trois couches.

- (a) : 5mm d'épaisseur. Mortier blanc chargé à la fois de grains de **quartz** anguleux (5%, diamètre moyen 250µm), de fragments anguleux de **silex** (25%, diamètre moyen 750µm), de fragments de **coquilles** (5%, diamètre moyen 500µm) et de nombreux « **incuits** » (20%, de 1 à 2mm de diamètre).
- (b) : 2cm sur l'échantillon Ech.2, 3,5cm pour l'échantillon Ech.3A⁷, mais elle peut atteindre 5cm sur d'autres (Muller 1990). Mortier beige crème, très riche en argile, limons quartzeux et **paille** (aspect torchis). Le dégraissant grossier est constitué de grains de **quartz** anguleux (\leq 5%, diamètre moyen 250µm), de fragments anguleux de **silex** (30%, diamètre moyen 750µm), de fragments de **coquilles** (5%, diamètre moyen 500µm), de quelques « **incuits** » (5%, de 500µm à 1mm de diamètre) et de fréquents éléments de **sol argilo-limoneux** (diamètre moyen 1 à 2mm).
- (c) : 2cm sur l'échantillon 2 (le seul présentant cette couche dans le lot d'échantillons de référence ; fig.E1), mais elle peut atteindre 4,5cm sur d'autres (Muller 1990). Mortier blanc, chargé à la fois de grains de **quartz** anguleux (5%, diamètre moyen 250µm), de fragments anguleux de **silex** (5%, diamètre moyen 750µm), de fragments de **coquilles** (\leq 5%, diamètre moyen 500µm), quelques « **incuits** », des fragments de **craie** (5%, diamètre moyen 500µm à 2mm), du **tuileau** (5 à 10%, diamètre moyen entre 100 et 500µm) et plusieurs **fragments de mortier de chaux à monocristaux de calcite (marbre ou veines ?)** (10%, uniquement de la calcite dans la charge de cette couche récupérée ; épaisseur moyenne des fragments : 500µm).

⁷ La couche (b) de Ech.3A a été disposée en deux étapes ; la couche (b') mesure 2cm d'épaisseur.

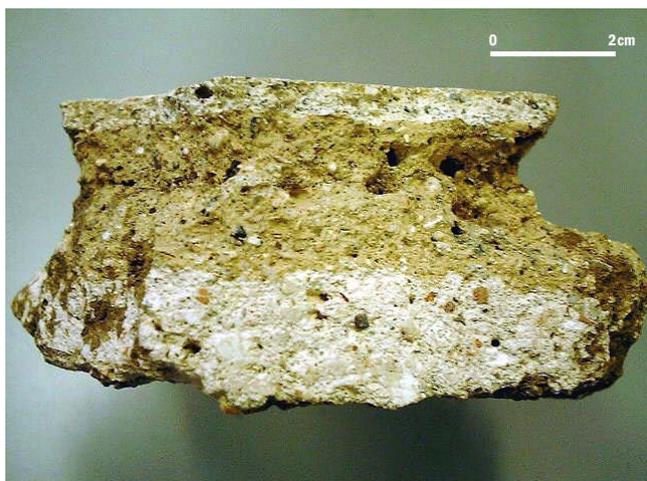


Fig.E1. Echantillon Ech.2. La couche (c) (en bas) est constituée d'un mortier blanc contenant quelques éléments de tuileau. La couche (b), plus riche en argile et limons, est moins bien conservée.

Assemblage stratigraphique B

Il correspond aux échantillons :

- Ech.3B : bande d'encadrement bleue, avec filet intérieur marron-rouge.
- Ech.5 : Élément de candélabre vert (et partie d'une ombelle ?).

Le support est constitué de trois couches⁸.

- (a) : épaisseur très variable, de 1,5 à 7mm (variation observée seulement à 1cm d'intervalle !). Mortier blanc, de matrice très homogène, chargé de grains de **quartz** anguleux ($\leq 5\%$, diamètre moyen $250\mu\text{m}$), de fragments anguleux de **silex** (30% , diamètre entre $500\mu\text{m}$ et $2,5\text{mm}$) et de fragments de **coquilles** ($\leq 5\%$, diamètre moyen $500\mu\text{m}$).
- (b) : 9mm d'épaisseur. Mortier gris beige, riche en limons quartzeux. Le dégraissant grossier est constitué de grains de **quartz** anguleux (10% de la dimension des sables fins, diamètre moyen $100\text{-}300\mu\text{m}$), de fragments anguleux de **silex** ($20\text{-}25\%$, diamètre moyen $300\text{-}750\mu\text{m}$, jusqu'à 3mm), et fragments de **craie** (5 à 10% , de $500\mu\text{m}$ à 2mm de diamètre).

⁸ Signalons que la couche picturale, de $150\mu\text{m}$ d'épaisseur, est légèrement chargée de cristaux anguleux de calcite.

(c) : jusqu'à 2,5cm d'épaisseur sur l'échantillon 5. Mortier beige crème, très riche en argile, limons quartzeux et **paille** (aspect torchis). Le dégraissant grossier est constitué de grains de **quartz** anguleux ($\leq 5\%$, diamètre moyen 250 μm), de fragments anguleux de **silex** (10%, diamètre moyen 500 μm à 1mm) et fragments de la **craie** (10-15%, de 200 à 500 μm de diamètre en général).

3. Discussions

Les six prélèvements proviennent, *a priori*, d'un décor unique. Ils sont tous contemporains. Pourtant deux types d'assemblage ont été définis et le support A montre, de plus, des différences suivant que la couche (c) est présente ou non : en effet, elle pourrait ne pas avoir été disposée pour l'Ech.3A.

Les assemblages A et B sont relativement ressemblant, excepté lorsque la couche (c) du support A (celle à tuileau) est visible. Les mortiers sont de compositions relativement proches, employant des cortèges identiques de matières premières. La position originelle des fragments sur la paroi, en zone basse, moyenne ou haute, pourrait expliquer les changements de stratigraphie. En effet, les échantillons Ech.1 (assemblage A), Ech.3A (assemblage A) et Ech.4 (assemblage A) proviendraient de la partie inférieure du décor ; les échantillons Ech.2 (assemblage A avec (c)) et Ech.5 (assemblage B) seraient issus de la zone moyenne. L'échantillon Ech.3B (assemblage B) pourrait provenir soit de la partie basse (bande d'encadrement horizontale) soit de la zone moyenne (bande d'encadrement verticale).

Il se pourrait donc que l'on ait une transition entre la zone moyenne et la zone basse telle que du support B à trois couches dont deux limoneuses, on aboutisse au support A à trois couches, dont une à tuileau. Si cela se vérifie, cela marquerait la volonté d'assurer la durabilité et l'étanchéité de la partie basse de l'enduit.

Seulement, un problème se pose. Aucune couche ne se retrouve précisément à l'identique entre les deux assemblages stratigraphiques. De nombreuses variations existent entre les deux supports : présence d'incuits dans la couche (a) de A, épaisseur variable de la couche (a) de B, présence de coquilles dans la couche (b) de A et absence de paille dans la couche (b) de B. Mises bout à bout, ces différences ne permettent pas d'assurer que les deux supports ressemblant soient véritablement affiliés. Si tous les échantillons proviennent effectivement de la même paroi ou d'un même décor, alors peut-être faut-il voir dans la

dualité du support une mise en place tardive ou une reprise de la zone inférieure, éventuellement par une autre équipe.

4. Origine du granulat

La ville de Eu se dresse sur la rive gauche de la Bresle (fig.E2), à quatre kilomètres de l'embouchure de la rivière dans La Manche. L'environnement géologique immédiat se caractérise par une pauvreté en formations sableuses, celles-ci, tertiaires, étant reléguées à de nombreux kilomètres.

L'hétérogénéité du granulat des mortiers présents dans le support des peintures et la présence en faible mais constante quantité de coquilles de mollusques renvoie de façon directe à la formation exploitable la plus proche du sanctuaire : les alluvions récentes Fz, holocènes et tardi-glaciaires, constituées de graviers, sables et limons (Broquet *et al.* 1985).



Fig.E2. Eu se situe dans la vallée de la Bresle qui entaille le plateau calcaire (craies du Crétacé). Le plateau est couvert de limons. Les alluvions Fz sont la seule source locale de granulat.

Références :

BROQUET P., AUFFRET J.-P., BEUN N. et DUPUIS C. (1985) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Saint-Valéry-sur-Somme – Eu, n° 31-32.

CHOLET L. et FOLLAIN E. (2001) – Eu, la ville sanctuaire oubliée. *Archéologia*, **375**, 30-37.

MANGARD M. (1980) – *Bulletin de l'Association pour la recherche archéologique à Eu*, **1**.

MULLER M. (1990) – Les peintures murales du Bois l'Abbé (Seine Maritime). In Actes du XI^e séminaire de l'AFPMA, la peinture murale romaine dans les provinces du Nord, Reims (30 avril – 1^{er} mai 1988). *Revue Archéologique de Picardie*, n° **1-2**, 27-35.

F/ Un support de peintures de la *Domus* des Bouquets, Périgueux (Dordogne)



Carte d'identité

Fouilles débutées en 1960.

Domus, construction première moitié du I^{er} siècle.

Etude du revêtement extérieur d'un bassin.

Ouvrage daté du milieu du II^e s. ap. J.-C.

Nombre d'échantillons : observations macroscopiques sur l'ensemble des fragments, analyse d'un échantillon.

Prélèvement dans le cadre de l'étude et de la restauration des peintures au Centre d'Etude des Peintures Murales Romaines.

1. Introduction

Les ruines de la *domus* des Bouquets, situées à Périgueux (Dordogne), jouxtent la Tour de Vésone (Girardy-Caillat et Wozny 2000). Cette maison fut construite dans la première moitié du I^{er} siècle de notre ère. Son abandon ne semble pas intervenir avant le deuxième tiers du III^e siècle.

La maison possède un plan classique, s'organisant autour du jardin. On trouve au centre de celui-ci un bassin d'agrément rectangulaire, présentant un revêtement sur son parement extérieur, sur lequel on peut observer un décor peint à crustacés, coquillages, et surtout une grande variété de poissons. C'est le support de cet ensemble qui est étudié ici.

Ces scènes aquatiques, décorant le pourtour du bassin rectangulaire, appartiennent à un état de la maison daté du II^e siècle ap. J.-C. (Amadei et Barbet 1998).

2. Le support...

2.1. ...En macroscopie

Cette description du support découle des observations des échantillons en macroscopie (sur échantillon brut), de la couche picturale (Cp) jusqu'à la première couche de préparation. Les données de l'étude microscopique ne concerneront qu'un seul échantillon, considéré comme représentatif de l'ensemble.

Cp : rouge.

- (a) : inexistante sur l'échantillon sélectionné, mais fine – légèrement blanchâtre – à tuileau sur d'autres fragments.
- (b) : environ 13 mm de mortier rose légèrement pâle, de sable et de tuileau, disposé en deux étapes, la limite interne se trouvant à 6 mm de Cp.
- (c) : environ 14 mm de mortier rose, de sable et de tuileau, disposé en deux étapes, la limite se trouvant à 8 mm de (b).
- (d) : environ 12 mm de mortier rose légèrement pâle, de sable et de tuileau.

Les limites des (sous)-couches se déduisent principalement de niveaux poreux. Les variations de coloration entre les couches et entre les sous-couches sont extrêmement ténues. Tous les mortiers sont résistants.

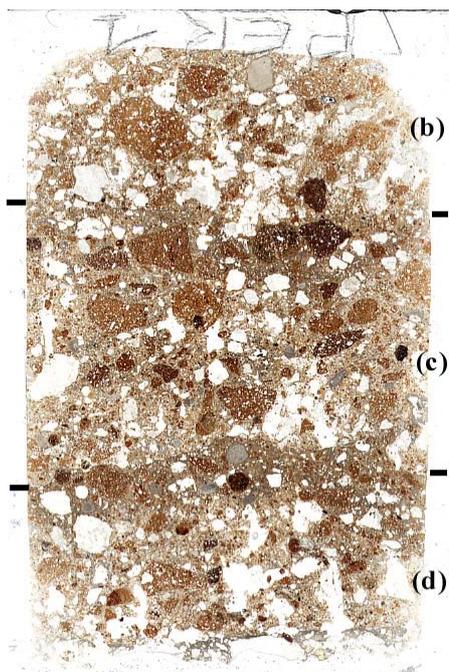


Fig.F1. Lame mince, échantillon PER 1, couches (b), (c) et (d).

2.2. ...*En microscopie*

Les couches (b), (c) et (d) sont extrêmement proches en terme de composition (fig.F1). Les éléments prédominants du granulat sont les fragments de terres cuites architecturales (tabl.F2). On rencontre toutes les granulométries depuis les fragments de quelques millimètres (seulement) jusqu'à la « poussière » de tuileau (une à quelques centaines de μm). Ceci témoigne soit d'un broyage important et régulier, soit d'un tri avec suppression des éléments trop grossiers : on a soigneusement évité de fabriquer un « béton » de tuileau. Il n'y a pas de grande variété dans les familles de tuileau, on retrouve essentiellement des fragments aux angles émoussés de tuileau roux à dégraissant de grains de quartz anguleux et fins (on rentre parfois, pour ce dégraissant siliceux, dans l'intervalle granulométrique des limons).

Le sable « naturel » siliceux constitue le deuxième ensemble de granulat. Il s'agit pour l'essentiel de quartz monocristallins et polycristallins (voire de fragments de roche granitique à quartz et micas noirs et blancs), ainsi que de nombreux micas blancs (surtout) et noirs. On remarque aussi des feldspaths et de rares fragments de silice. Tous ces éléments sont généralement anguleux. Les grains sont de diamètre inférieur à 2 ou 3 mm. Ils sont nombreux aux alentours de 1 mm, et aussi dans la gamme granulométrique du dégraissant des tuileaux (sables fins à limons : diamètre inférieur à la centaine de μm). Les extinctions onduleuses sont fréquentes. Plusieurs indices témoignent d'une évolution pédologique de la formation géologique à l'origine de ces éléments. On observe quelques nodules de quartz pris dans une gangue d'oxyde (de fer ou de manganèse ?), ainsi que des fragments de revêtements argileux jaunes à oranges, et même des restes en place de revêtements d'argile sur les parois des grains siliceux, parfois « doubles » (dépôt jaune recouvert d'une pellicule orange ; fig.F3).

On trouve parfois, associés à ces deux familles, quelques charbons de bois. Les grumeaux sont fréquents. On remarque aussi de rares fragments de roche calcaire.

Couches	Tuileau	Sable siliceux	Porosité	Orientation des grains
(b)	> 50 %	20 %	Faible, vides polyconcaves infra-millimétriques.	Faible, parallèlement à la surface de pose.
(c)	45-50 %	15-20 %	Moyenne, vides polyconcaves et sphériques infra-millimétriques.	Importante, obliquement par rapport à la surface de pose.
(d)	40-45 %	15 %	Importante (surtout au niveau de l'accroche avec le mortier du mur), macroporosité à vides polyconcaves.	Importante, obliquement par rapport à la surface de pose, inversée par rapport à (c).

Tabl.F2. Caractéristiques des mortiers des couches (b), (c) et (d), après observation au microscope optique. Echantillon PER 1, *domus* de la rue des Bouquets, paroi extérieure du bassin central.

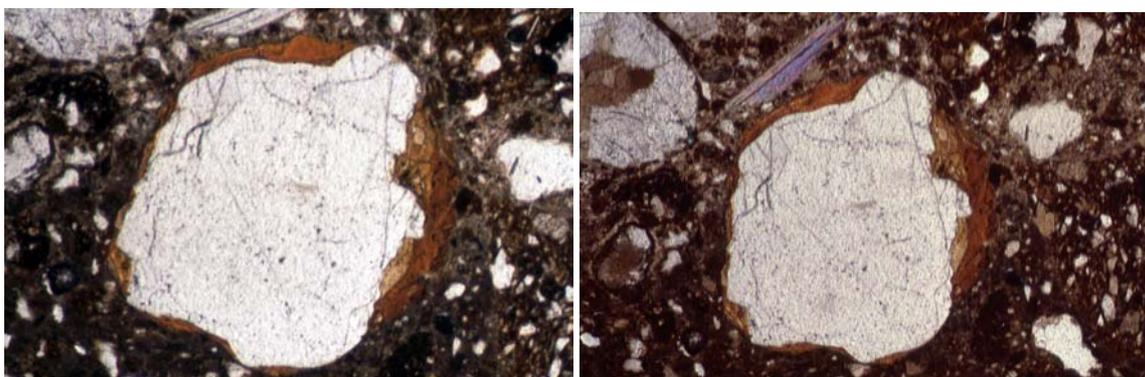


Fig.F3. Quartz (1,5 mm de diamètre) encore recouvert de deux générations de revêtements argileux. LPNA (à gauche) et LPA (à droite).

3. Limites des couches et sous-couches

Les déterminations des limites internes (division en sous-couches) ne se font que difficilement par observation des lames. En contrepartie, se confirme parfaitement ce que laissait apparaître l'observation macroscopique d'une coupe de l'échantillon, c'est-à-dire la présence de zones légèrement distinctes dans la partie externe de chaque couche. En effet, on

observe dans la couche (c) en limite avec (b), et dans la couche (d) en limite avec (c), une bande de 1 à 3 mm de large, sans relation avec les séparations internes évoquées plus haut pour les observations macroscopiques (limites liées à la présence de pores). Ces plages particulières sont parfaitement visibles par transparence de la lame mince car marquées par une coloration plus claire. Pourtant, on ne note aucun changement de composition par comparaison avec le reste de la couche. Les limites de ces zones de transition ne sont déduites que des variations dans l'apparence en LPNA-LPA⁹ de la matrice du mortier.

Ainsi, les raccords des couches et les contours des zones de transition sont bien nets (fig.C4). Leur suivi, à l'échelle de la lame mince, nous montre que les limites ne sont pas planes et régulières, et que la frontière du côté interne suit globalement le dessin de la séparation externe. Quelles conclusions en tirer ? Premièrement, on peut avancer qu'il n'y a pas eu de lissage important des couches de préparation¹⁰. Deuxièmement, la différenciation de la zone externe des couches est sans doute intervenue par contact avec l'environnement extérieur (pénétration précoce de CO₂ atmosphérique dans la matrice ?). La préservation des irrégularités, associée aux traits évidents d'une évolution de la matrice, corroborent l'idée, apparue dès l'observation à l'œil nu, qu'un certain laps de temps difficilement quantifiable (en heures ou en jours ?) s'est écoulé avant l'application de chaque couche suivante.

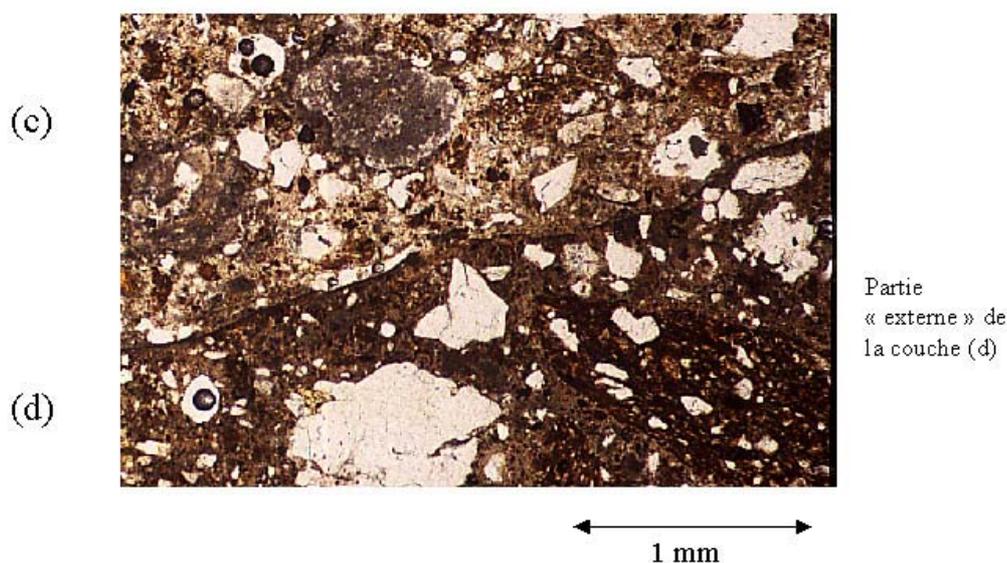


Fig.F4. Contact entre les couches (c) et (d).

⁹ Lumière Polarisée Non Analysée (« lumière naturelle ») et Lumière Polarisée et Analysée.

¹⁰ C'est surtout vrai pour la couche (d), car on observe localement des « proéminences » millimétriques.

4. Conclusion sur le support

Malgré les divisions du support que nous venons d'effectuer, on ne peut nier sa grande homogénéité. La présence de différentes couches ne marque pas une volonté technique d'associer plusieurs types de mortier de tuileau (et de sable), mais témoigne simplement de la multiplication de « strates » de même nature en vue d'assurer une réelle étanchéité, et ce en un seul programme de pose d'enduit. Nous sommes donc en présence d'un même type de mortier, disposé en plusieurs étapes, et subissant de légères variations de composition lorsque les intervalles entre les étapes sont quelque peu prolongés.

5. Les mortiers hydrauliques

Le qualificatif de mortier « hydraulique », de par la composition du mélange très riche en tuileau fin, et surtout par l'aspect de la matrice (à la couleur rose prononcée), semble parfaitement justifié¹¹. Nous nous sommes toutefois assuré de la présence effective de composés hydrauliques par fluorescence X au Microscope Electronique à Balayage (MEB).

Nous nous sommes positionnés en un point de la couche (b), centré sur un fragment de tuileau (fig.C5 et C6). L'analyse de cette zone à partir d'un détecteur EDS montre, via les cartes de répartition des éléments chimiques pris un à un (fig.F5 et F7), la présence de quartz, feldspaths et micas blancs, aussi bien dans le tuileau que dans le mortier. Le tuileau est constitué d'aluminium, de fer, de silicium et de magnésium (dans une moindre mesure), alors que la matrice du mortier se démarque surtout par sa richesse en calcium. Cependant, cette répartition du calcium n'est pas homogène. Elle ne correspond pas exactement, sur la fig.F7, aux limites du fragment de tuileau. Les autres éléments chimiques, tels que Si et Al, montrent des fonds non continus (répartition, donc présence, hétérogène).

¹¹ La coloration témoigne indéniablement de réactions intervenues entre la matrice carbonatée et le granulat.

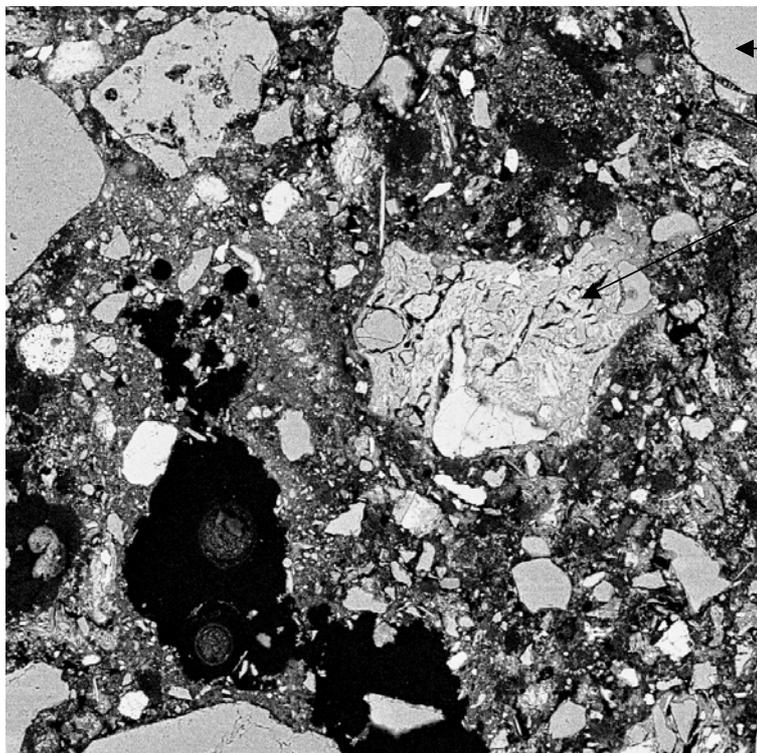
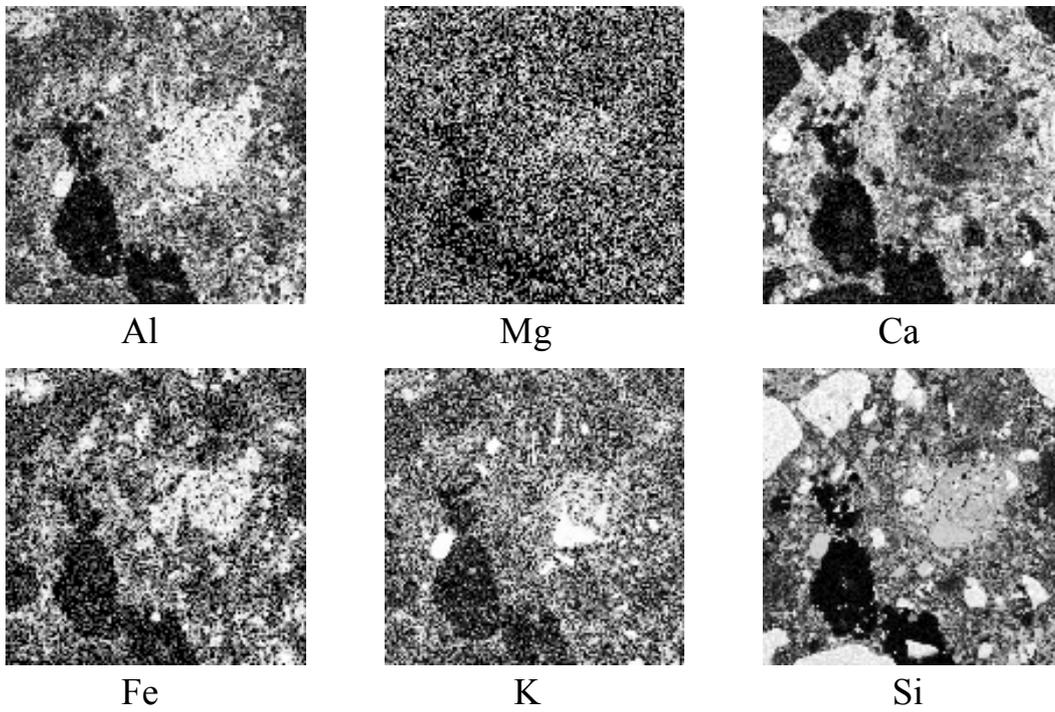


Fig. C5. MEB

Échantillon PER 1, couche (b)

Image en électrons rétrodiffusés (bse) et carte de répartition des éléments chimiques.

Le champ de l'image est de 1 mm par 1 mm.

bse

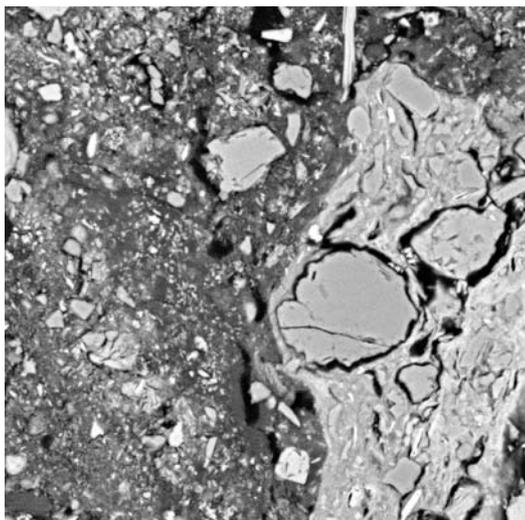


Fig.F6. Élément de tuileau et matrice du mortier de la couche (d). Echantillon PER 1. Image en électrons rétrodiffusés (bse).

La figure F8 illustre parfaitement le problème de la répartition du calcium dans la matrice. Le carbonate de calcium doit être l'unique composé du liant si le calcaire est totalement pur et si aucune réaction n'intervient avec le granulat. Ici, il apparaît clairement que d'autres composés sont présents. Il s'agit des zones sombres de l'image, constituées de calcium, silicium et aluminium (fig.F9). Nous sommes donc bien en présence de composés hydrauliques. Malheureusement, il ne nous est pas possible de déterminer si ces composés témoignent de l'utilisation d'une chaux hydraulique ou bien s'ils découlent de réactions pouzzolaniques intervenues entre la chaux et les éléments de tuileau, ou encore s'il s'agit d'une combinaison de ces deux phénomènes. Toutefois, on se rappelle que le calcium de la matrice n'enveloppe pas complètement le fragment de tuileau, ce qui peut signifier, comme la coloration rose le laissait supposer, que des échanges chimiques sont effectivement intervenus entre la chaux et les fragments de terre cuite (diffusion du silicium et de l'aluminium, et sans doute du fer qui, même en trace, donne la coloration).

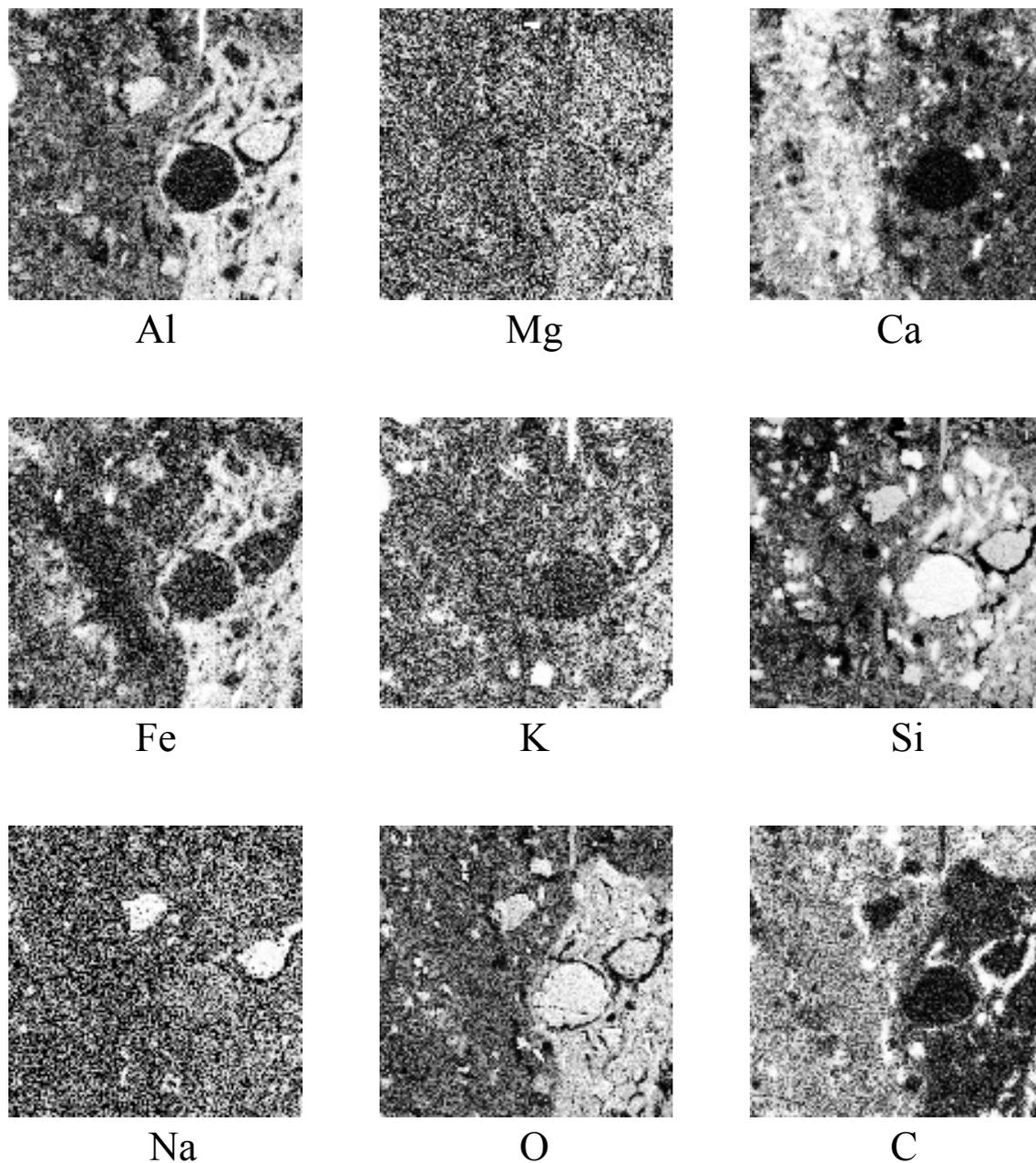


Fig.C7. Carte de répartition des éléments chimiques.
Échantillon PER 1 : **Matrice** (à gauche) **et tuileau** (à droite).
MEB

Les zones saturées en carbone correspondent à des vides.

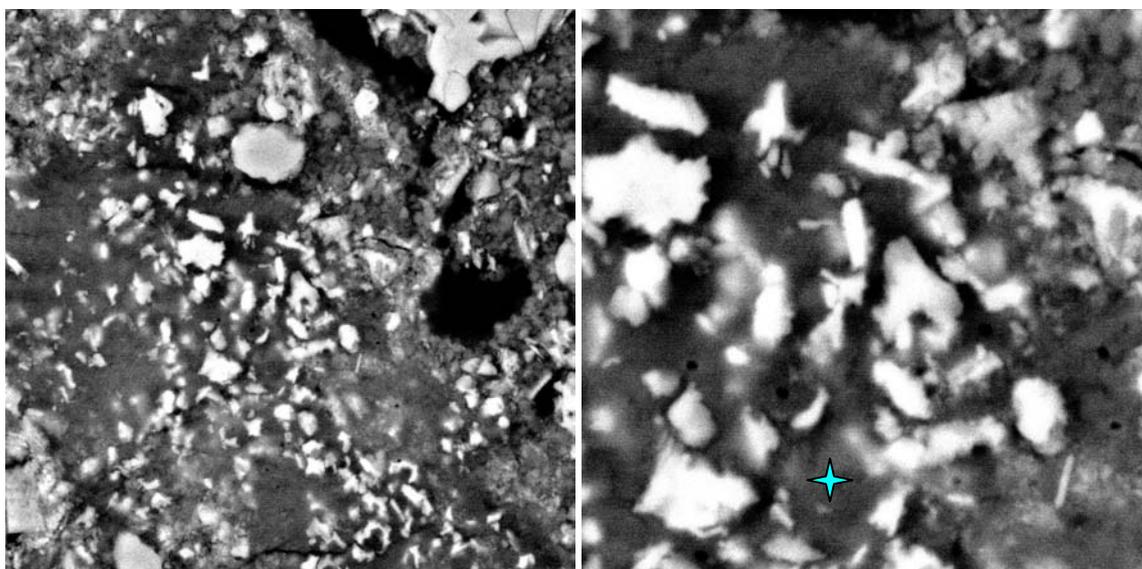


Fig.F8. Images en électrons rétrodiffusés de la matrice de la couche (d) de PER 1, grossissement machine de x1500 (à gauche) et x4000 (à droite). L'étoile marque le point d'analyse de la fig.F9.

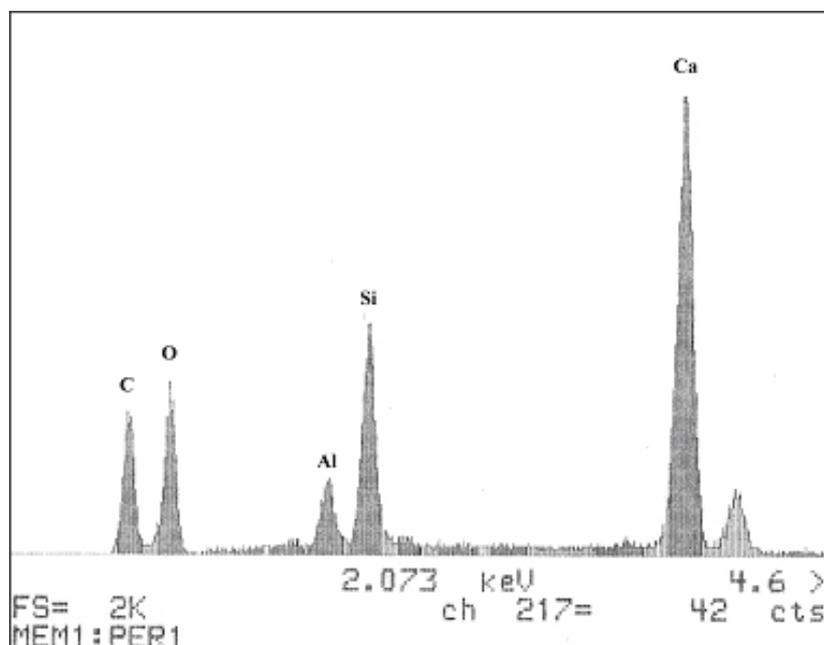


Fig.F9. Spectre de fluorescence X d'une zone sombre de la matrice du mortier de tuileau (proportions relatives).

6. La géologie

Malgré le peu d'information fournie par les mortiers étudiés (bien plus riches en tuileau qu'en sable naturel), nous avons tenté, par une étude des cartes géologiques récentes et anciennes, de déterminer si les matières premières étaient locales et quelles formations pouvaient avoir été exploitées pour la préparation de l'enduit du bassin.

La ville de Périgueux (fig.F10) se situe dans la vallée de l'Isle, dans une région où de vastes forêts de châtaigniers se développent sur des terres argilo-sableuses rouges, issues de la décomposition du substratum : les formations crayeuses du Coniacien supérieur, du Santonien et du Campanien inférieur (Platel et Paris 1988).

Plus à l'ouest, la morphologie devient accidentée, du fait des contrastes lithologiques entre le Santonien (calcaires crayeux) et le Campanien (calcaires crayo-marneux et marnes), formant les cuestas disséquées des paysages du Ribéracois. Plus à l'est, se développe un « cause » sur calcaires jurassiques, recouverts de faibles placages de sables et graviers tertiaires et quaternaires.

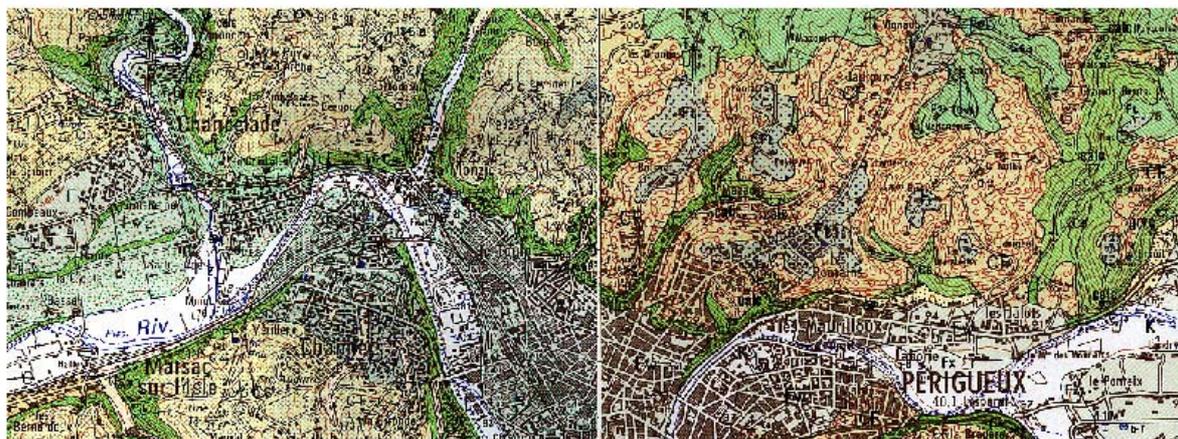


Fig.F10. Environnement géologique de la ville de Périgueux. Les noms et symboles des formations sont repris dans le texte. Les formations du Crétacé (symbole C) apparaissent en vert, les formations superficielles ou de plateau en jaune (ou beige), les alluvions anciennes et récentes en gris.

6.1. Les données sur la pierre à chaux locale

De très rares éléments de roche calcaire ont pu être observés en lame mince. Il n'est pas possible de déterminer la formation d'origine. Le calcaire semble toutefois bioclastique, à ciment sparitique. Les fragments observés n'apparaissent pas altérés (par une éventuelle cuisson par exemple).

Dans les légendes techniques des cartes géologiques au 1/80 000 de Périgueux, seuls les calcaires de l'étage J_{IV} (qui correspond, sur les cartes plus récentes au 1/50 000, au Bajocien et au Bathonien basal : J_{1a} et J_{1b}) sont indiqués pour l'exploitation de pierre à chaux. Il s'agit de calcaires oolithiques, de cargneules et de calcaires dolomitiques. Il est surprenant que dans un tel environnement carbonaté, riche en formations calcaires du Crétacé et du Jurassique, seul cet étage soit indiqué.

Les cartes au 1/80 000 de Bergerac témoignent de peu d'affleurements de formations jurassiques (Vasseur *et al.* 1920). Leurs légendes techniques sont plus particulièrement susceptibles de fournir des informations sur les calcaires extraits, pour la fabrication de la chaux, dans les formations crétacées. Effectivement, elles indiquent comme pierre à chaux les formations Maestrichtiennes (C₉) et Campaniennes (C₈). Il s'agit pour le Campanien (sup.) de calcaires gris blanc glauconieux, de grès blanchâtres micacés (Campanien moy.) et glauconieux, et de calcaires à « chaux hydraulique », marno-calcaires bleuâtres (Campanien inf.). Pour le Maestrichtien (sup.) on observe des calcaires en plaquettes, jaunes, glauconieux, subordonnés à des marnes ; des calcaires blancs ou jaunes (moy.) ; des calcaires à Orbitoïdes, à sable glauconieux, surmontés par des calcaires « identiques » à ceux du Campanien, mais plus blancs et plus grenus (inf.). On retrouve ici, dans la globalité, les descriptions du Campanien des cartes géologiques au 1/50 000 (C_{6a} à C_{6d}).

Autre indication : Vicat (1839), pour le point n° 25 du département de la Dordogne, indique que dans la commune de Périgueux est extrait, pour la fabrication de la chaux, un calcaire blanc sale, de texture grossière, du Crétacé inférieur, contenant environ 20 % d'argile, ainsi que du sable, et donnant une chaux très maigre (chaux hydraulique). Cela pourrait correspondre aux niveaux du Turonien supérieur, ou bien du Coniacien inférieur (faciès détritiques gréseux ou marneux, plus ou moins graveleux).

6.2. Les données sur le granulats local

Il convient de rappeler les caractères généraux du granulats des mortiers. Il s'agit d'un granulats siliceux, aux grains anguleux, constitué pour l'essentiel de quartz monocristallins ou polycristallins, voire de fragments de roche granitique (quartz et micas blancs et noirs), de feldspaths, ainsi que de micas blancs et noirs. On observe de fréquentes extinctions onduleuses. Plusieurs critères ont été avancés (cf. *supra*) en faveur d'une évolution pédologique de la formation sableuse à l'origine du granulats des mortiers.

En ce qui concerne les sables pour la construction, on note dans les légendes techniques les alluvions récentes et les « sables du Périgord » (terme englobant les sables tertiaires (e-p), les « alluvions anciennes des plateaux » (Fs) et les altérites, définies dans les cartes au 1/50 000).

Les sables tertiaires se sont déposés de l'Eocène inférieur au Pliocène, par épandage fluvial, engendré par l'érosion importante des arènes granitiques couvrant le Massif Central. Ces formations sableuses à sablo-argileuses ont subi, comme les alluvions anciennes, l'altération plio-quadernaire, affectant ces sables alors souvent colorés, de jaune orangé à rouge, par les oxydes de fer.

La notice de la carte géologique au 1/50 000 de Périgueux ouest (Platel et Paris 1988, p.70) indique de plus que les sables (quartzeux) du Coniacien (C₄) furent exploités « autrefois », dans de nombreuses petites sablières peu profondes, dans les bois, pour des besoins très locaux dans la construction. Altérés en surface par des oxydes de fer, ils seraient de meilleure qualité en profondeur.

6.3. Périgueux

Revenons à Périgueux. La ville actuelle recouvre les alluvions récentes et anciennes de la vallée de l'Isle, et déborde sur les flancs de la vallée et sur le plateau, reposant sur les calcaires du Turonien sup. (C_{3c}), du Coniacien (C₄) et du Santonien inf. (C_{5a}), ainsi que sur les altérites (ACS). Ces formations locales – mises à part les alluvions récentes (Fz) dominées par les éléments carbonatés ou limoneux – sont susceptibles d'avoir fourni les matières premières employées lors de la fabrication des mortiers du support étudié. Même les « altérites », celles de type 2, c'est-à-dire développées aux dépens des sables siliceux crétacés (Coniacien et Cénomaniens), se présentent sous un faciès sablo-argileux rubéfié.

Si l'on rajoute à cela le Campanien(C₆), qui affleure non loin (que se soit à l'est, au nord, à l'ouest ou au sud), avec ses faciès généralement riches en argiles donnant une chaux hydraulique, et les sables tertiaires, concentrés surtout à l'ouest de Périgueux, il devient impossible de trancher à partir de cette étude cartographique sur l'origine des matières premières, pour la pierre à chaux comme pour la formation meuble à l'origine du granulat. Toutefois, il est indéniable que les formations sources soient d'origine locale, voire extraites dans ou en périphérie de la ville antique.

Références

AMADEI B. et BARBET A. (1998) – Périgueux, futur musée gallo-romain : étude préalable à la mise en valeur des peintures murales romaines. *CEPMR*, UMR 8546 CNRS/ENS.

GIRARDY-CAILLAT C. et WOZNY L. (2000) – Domus. *L'archéologue*, n°47, Avril-Mai 2000, 74-77.

LE POCHAT *et al.* (1979) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – feuille Périgueux (Est), n° 759.

PLATEL J.P. et PARIS J.P. (1988) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – feuille Périgueux (Ouest), n° 758.

SERONIE VIVIEN M., SERONIE VIVIEN M.R. et BORDES F. (1965) – Carte géologique de la France à 1/80 000 – Feuille de Bergerac (n° 182), 2^{ème} édition.

VASSEUR G., BLAYAC J., DALLONI M. et RANDOIN A. (1920) – Carte géologique de la France à 1/80 000 – Feuille de Bergerac (n° 182), 1^{ère} édition.

VICAT M. (1839) – Recherches statistiques sur les substances calcaires à chaux hydraulique et à ciment naturel. CARILIAN-GOEURY et V. DALMONT éditeurs, Paris, 661 p.

G/ Plafond peint, *domus* de la station Métrobus - Palais de Justice (Rouen, Seine-Maritime)



Carte d'identité

Fouilles de sauvetage début des années 90.

Bâtiment : une *domus*.

Etude d'une voûte d'arête, partie thermale de la maison, effondrée dans une piscine.

Décor daté du III^e s. ap. J.-C.

Nombre d'échantillons : observations macroscopiques de l'ensemble des fragments, analyse d'un échantillon représentatif.

Prélèvement dans le cadre de l'étude et de la restauration des peintures au CEPMR.

1. Introduction

La fouille de la « station Métrobus » à Rouen a mis au jour une *domus*. Les lots de fragments d'enduits peints proviennent du quartier thermal, au sud du péristyle. Le décor effondré sur place a été découvert dans une structure identifiée comme une piscine. Ce décor correspond à une voûte d'arête, à structure porteuse de *tubuli*. Il est daté, d'après la technique d'application de la couche picturale (brossage vigoureux), du III^e siècle ap. J.-C. (cf. rapport interne du CEPMR, C. Bertrand, J-F Lefèvre et A. Barbet 1996).

2. Description du support

L'échantillon ne couvrait pas la totalité de l'épaisseur de la voûte maçonnée, qui comprend (Fig.G1), de l'extérieur vers l'intérieur, c'est-à-dire de la partie convexe vers la partie concave (Bertrand *et al.* 1996), une couche compacte de mortier de tuileau, de 8 cm d'épaisseur, un niveau de *tubuli* (13 cm), un mortier de blocage ocre jaune sur une épaisseur de 4 cm, et « deux couches très irrégulières de mortier de sable et de chaux, de couleur blanche, d'une épaisseur de 4 cm en moyenne, préparant à l'application de la couche

picturale » (p.7). La présence « très réduite » de tuileau fut remarquée dans les couches de mortier de sable.

L'échantillon étudié correspond non pas à la partie convexe de l'ensemble (mortier de tuileau servant notamment à l'accrochage des *tubuli*), mais à la partie concave supportant la couche picturale.

Le support est constitué de trois couches d'épaisseurs croissantes de la couche picturale vers l'intérieur. La première, la couche d'épiderme (a), est une fine couche blanche, de chaux, peu riche en granulat. La suivante, (b), épaisse de quelques millimètres seulement, beigeâtre à l'œil nu, est riche en granulat naturel. Enfin, la couche (c), beaucoup plus épaisse, de couleur beige rosé, compacte et résistante, montre quelques empreintes végétales et se caractérise par la présence de nombreux grains de quartz ainsi que, même si ce n'est que peu évident à l'œil nu sur un échantillon brut, de fréquents éléments de tuileau. La présence d'une limite interne dans la couche (c) est probable, bien visible sur l'image de la lame mince (Fig.G2), à 1,9 cm de la limite avec (b), ce qui est compatible avec les observations de Bertrand *et al.* 1996 (cf. *infra*).

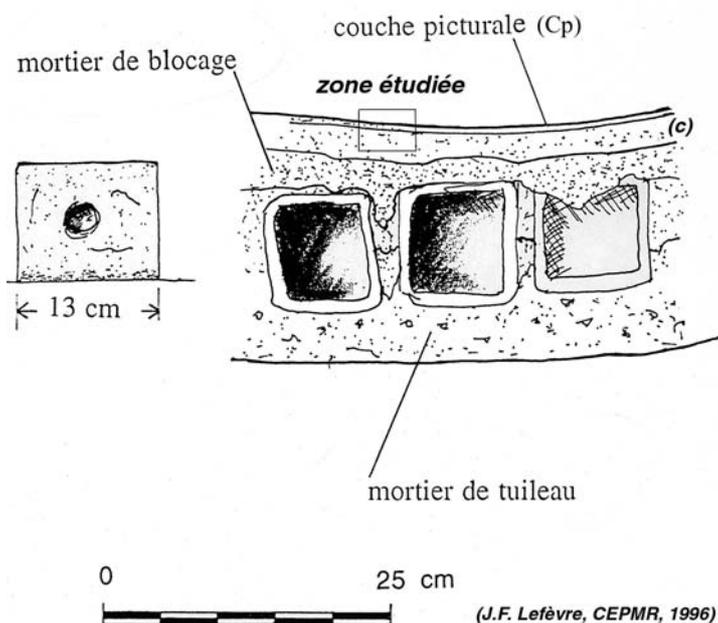


Fig.G1. Schéma de la voûte (inversé) et localisation de la zone étudiée (correspondant au support s.s. de l'enduit peint).



Fig.G2. Lame mince de l'échantillon ROU 1, laissant apparaître à la base de la couche (c) une limite interne.

Description en lame mince :

Couche (a)

L'épaisseur varie entre 100 et 500 μm (Fig.G3). La porosité est très faible, avec de rares fissures, très fines. Le granulat est constitué de quelques grains de quartz anguleux de 100 μm de diamètre en moyenne. Ils sont monocristallins ou polycristallins, et/ou à extinction onduleuse, témoignant d'une évolution tectonique et métamorphique des formations géologiques d'origine.

Il s'agit d'une couche d'épiderme commune, riche en chaux (pauvre en granulat, à la matrice d'aspect proche des grumeaux de chaux), sans granulat « particulier », c'est-à-dire sans tuileau finement broyé, sans calcite ou marbre broyé.

Couche (b)

La limite avec (a) est peu nette, déduite du changement de couleur de la matrice et de la présence plus importante de granulat. Elle apparaît ondulée (Fig.G3). L'épaisseur varie de 2 à 2,5 mm. La matrice est blanc jaunâtre par transparence. Elle est, en « lumière naturelle » (LPNA), de la couleur des grumeaux, claire et peu homogène. La porosité est faible, vacuolaire, avec quelques vides de 250 μm de diamètre en moyenne. La répartition du

granulat est homogène, les éléments sont visiblement orientés parallèlement à la surface d'aplatissement.

On observe plus de 50 % de granulat siliceux, essentiellement des grains de quartz monocristallins et polycristallins et/ou à extinction onduleuse. Les grains peuvent être émoussés ou anguleux. Nombreux sont ceux entre 125 et 750 μm de diamètre. Il est important de noter la présence de revêtements argileux sur quelques quartz et de quelques papules (fragments de revêtements) dans la matrice. De rares grumeaux de chaux sont visibles.

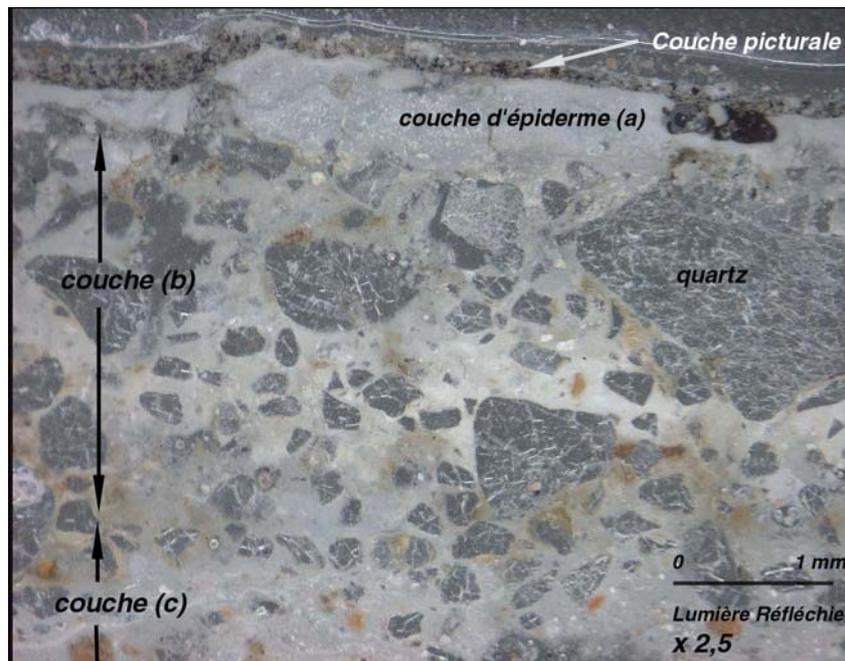


Fig.G3. Couches picturale, d'épiderme et de transition de l'échantillon ROU 1.

Couche (c)

La limite avec (b) est nette, marquée par un liseré marron. Elle est légèrement ondulée. L'épaisseur maximale de la couche est de 2,5 cm environ. La couleur de la matrice est blanc cassé par transparence de la lame. La matrice est de la couleur des grumeaux, claire, en LPNA, mais peu homogène car plus ou moins sombre. La porosité est faible, avec quelques vacuoles de 2 mm de diamètre au maximum. La répartition du granulat est homogène. Globalement, on note une légère orientation des éléments allongés parallèlement à la surface.

De nombreux (30 à 40 %) tuileaux anguleux sont présents (Fig.G4). Leur charge est constituée principalement de quartz silteux (diamètre inférieur ou égal à 100 μm). Les fragments sont généralement millimétriques : les plus gros mesurent environ 8 x 4 mm, nombreux entre 2 et 3 mm de diamètre. Certains tuileaux apparaissent peu cuits.

On observe environ 30 % de sable siliceux, constitué de quartz monocristallins (surtout) et polycristallins, et/ou à extinction onduleuse. Anguleux pour la plupart, quelques-uns sont arrondis. De nombreux grains ont entre 50 et 500 μm de diamètre. Les plus gros éléments mesurent environ 4 x 2 mm.

Une fois encore on peut observer des éléments témoignant de la présence d'argile non cuite : fréquents revêtements argileux (essentiellement jaunâtres) sur les grains de quartz, quelques papules (jaunes ou rouges) de dimensions n'excédant pas 500 μm pour le diamètre, dispersées dans la matrice.

La présence de rares restes biogéniques (paille et charbon de bois) est aussi attestée, ainsi que de rares grumeaux se détachant de la masse, au diamètre inférieur ou égal à 1,5 mm.



Fig.G4. Couche (c) de l'échantillon ROU 1.

3. Conclusions archéologiques

L'étude a permis de mettre en évidence la présence, non pas réduite, mais majoritaire, de tuileau. Le tuileau n'a pas été broyé très finement, ce qui peut expliquer que la matrice ne montre pas une coloration rosée plus intense. Cet agrégat disparaît à l'approche de la couche picturale (couches (b) et (a)). Il aurait été intéressant d'étudier la composition du mortier de blocage des *tubuli*, afin de voir s'il contient ou non du tuileau, ce qui marquerait le souhait d'assurer « triplement » l'étanchéité de la voûte.

4. Environnement géologique de Rouen

4.1. Formations géologiques

Le méandre de Rouen contourne un fort dépôt d'alluvions anciennes de la plus haute terrasse (55 m et plus ; Fy_a). La partie convexe est caractérisée par un versant où affleurent les craies du Cénomaniens (C_2), Turonien (C_3) et Coniacien (C_4) jusqu'au plateau recouvert de formations superficielles à silex et de limons des plateaux. Le Santonien-Campanien (C_{6-5}) affleure surtout en amont et en aval de Rouen.

4.2. Ressources

La légende technique des cartes géologiques au 1/80 000 (anciennes cartes géologiques) nous informe sur l'exploitation ancienne des formations géologiques, en particulier pour les « arts de construction ».

La carte de Rouen, datée de 1930 pour la troisième édition, est particulièrement bien détaillée. La légende nous renseigne sur les formations exploitées par la fabrication de chaux « ordinaire » et de chaux « hydraulique ». Les formations calcaires donnant par calcination de la chaux ordinaire sont : le Sénonien (ancienne dénomination d'un étage incluant le Coniacien, le Santonien et le Campanien) et le Cénomaniens, ainsi que le Portlandien inférieur (Jurassique). Pour la fabrication de la chaux hydraulique sont indiquées les formations d'âges Turonien ainsi que Kimméridgien (Jurassique). Une rubrique indique les formations susceptibles d'être employées pour fournir du sable pour mortier (malheureusement cette

rubrique inclue aussi les cailloux pour empièchement et les graviers pour ballast). Ces formations sont principalement les « graviers des plateaux » (ce sont les alluvions anciennes de la plus haute terrasse, Fy_a), les « sables de Sologne » (sables de Lozère) et l'argile à silex.

Les grains de quartz présents dans les mortiers sont caractéristiques des sables de Lozère. On sait que cette formation pliocène n'est que rarement exploitée sous son faciès purement sableux (Coutelas *et al.* 2000) ; la proportion non négligeable d'éléments argileux, témoignant de phénomènes d'illuviation au sein de la formation, rappelle que la formation dite des « sables de Lozère » se présente sous un faciès sableux à argilo-sableux. Elle apparaît peu sur les cartes géologiques, du fait de ses grandes variétés de faciès la rapprochant souvent des formations de l'Argile Résiduelle à Silex et des Limons des Plateaux, et à cause de son recouvrement par ces derniers. On peut d'ailleurs noter que les Limons des Plateaux (LP) montrent des niveaux extrêmement sableux (Sangnier et Goguel 1967, Sangnier 1968) qui pourraient fournir un granulats de même ordre (reprise du matériel pliocène). Même s'il s'avère que ces niveaux sableux de LP, plutôt que les « sables de Lozère » s.s., furent exploités, il n'en reste pas moins que les grains de quartz qui se retrouvent dans les mortiers sont originaires, en premier lieu, de la formation pliocène.

Si l'on s'en tient aux légendes techniques des cartes géologiques au 1/80 000^e, toutes les formations carbonatées présentes dans l'environnement proche de Rouen sont susceptibles d'être exploitées pour la fabrication de la chaux. La seule distinction nous vient de la légende de la feuille de Rouen indiquant que la craie du Turonien fournit après calcination une chaux hydraulique. La lecture de Vicat (1853) nous apporte malheureusement peu d'informations, la majorité de ses observations pour Rouen intra-muros étant difficilement vérifiables actuellement. Il est toutefois possible de se rattacher à ses observations autour de la ville même.

Description des « pierres » par Vicat¹², et nature des formations géologiques (nomenclature actuelle) présentes au niveau des lieux d'extraction¹³ :

¹² Vicat a répertorié, sous forme de tableaux, les différents lieux d'extraction (numéros) et les caractéristiques principales des roches exploitées (couleur, texture, formation géologique, nature du résidu, classement de la chaux).

¹³ Voir en annexe les lieux correspondants aux numéros.

- 123 : blanc de lait, crayeuse, craie sup., résidu : argile, chaux correspondante très grasse → C₄.
- 124 : blanc de lait, crayeuse, craie sup., résidu : argile, très grasse → C₄.
- 126 : blanc de lait, crayeuse, craie sup., résidu : argile, grasse → C₃, C₄.
- 127 : blanc de lait, crayeuse, craie sup., résidu : argile, très grasse → C₄, C₆₋₅.
- 129 : blanc de lait, crayeuse, craie sup., résidu : argile, très grasse → C₂, C₃, C₄.
- 131 : blanc de lait, crayeuse, craie sup., résidu : argile, très grasse → C₄, C₆₋₅.
- 132 : blanc de lait, crayeuse, craie sup., résidu : argile, grasse → C₂, C₃, C₄.
- 160 : blanc de lait, crayeuse, craie sup., résidu : argile, grasse → C₃, C₄.
- 170 : blanc roux, grossière, craie sup., résidu : argile, très grasse → C₆₋₅.
- 177-182 : blanc de lait à café au lait, grossière, craie sup., résidu : argile, grasse à très grasse (rarement maigre, quand résidu : sable) → C₄, C₆₋₅.
- 183-186 : blanc de lait, grossière, craie sup., résidu : argile, grasse → C₄.

Malgré les incertitudes, liées à la difficulté de retrouver avec précision les points d'extraction de la roche cités par Vicat, on peut remarquer que la craie du Coniacien (C₄) apparaît quasi systématiquement et qu'à sa présence correspond chaque fois une pierre de couleur blanche. C'est cette roche du Coniacien qui est caractérisée (points 123, 124 et 183 à 186) par une couleur blanc de lait (cette blancheur était très importante dans le choix de la pierre à chaux durant la période antique). Ainsi, globalement, c'est cette formation qui semble avoir principalement été exploitée au siècle dernier, dans la région, pour la fabrication de la chaux « grasse » ou « très grasse », ce qui correspond bien à la légende technique de la carte au 1/80 000 de Rouen. Cette formation est présente en bancs épais et homogènes, ce qui, associée à sa dureté et à sa couleur, constituent de bons critères pour une exploitation, durant l'antiquité, pour la fabrication de la chaux.

5. Conclusions géologiques

L'environnement géologique de Rouen présente l'intérêt d'inclure un cortège de formations peu différent de celui associé à l'environnement du site du Vieil-Evreux (chap.II.2/N). Le sable originaire de la formation des « sables de Lozère » apparaît comme le granulats de prédilection, malgré la présence dans les deux cas d'autres formations sableuses (sables de Cuise, de Fontainebleau, alluvions ; fig.G5). Toutefois, il faudra étoffer la gamme

de sites et d'échantillons venant de ces régions avant de pouvoir interpréter cette concordance en terme de technicité.

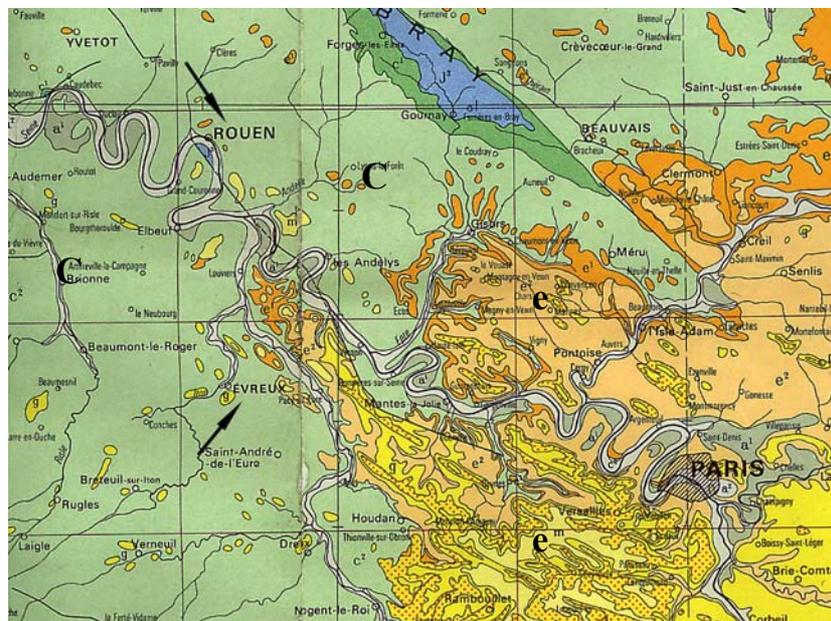


Fig.G5. Rouen et le Vieil-Evreux (Eure) dans leur environnement géologique (C : la craie ; e : les formations tertiaires).

Références

BERTRAND C., LEFÈVRE J.-F. et BARBET A. (1996) – Rouen, station Métrobus – Palais de Justice. *Rapport d'étude des peintures murales du CEPMR*, CNRS – ENS.

COUETLAS A., GUYARD L. et DAVID C. (2000) – Pétroarchéologie de mortiers gallo-romains. Application de méthodes analytiques à l'étude des thermes du Vieil-Evreux (Eure). *Les nouvelles de l'archéologie*, n° 81, 3^e trimestre 2000, 31-36.

GRANDJEAN F. (1939) – Carte géologique de la France à 1/80 000 – Feuille de Lisieux (n°30), 2^{ème} édition.

SANGNIER P. (1968) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Rouen (Ouest), n°99.

SANGNIER P., GOGUEL J (1967) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Rouen (Est), n°100.

TERMIER P. (1930) – Carte géologique de la France à 1/80 000 – Feuille Rouen (n°31), 3^{ème} édition.

VICAT M. (1853) – *Recherches statistiques sur les substances calcaires à chaux hydraulique et à ciment naturel*. CARILIAN-GOEURY et V. DALMONT éditeurs, Paris, 604-606, tabl. n°74, département de la Seine-Inférieure.

Annexes

Lieux d'extraction de Vicat (1853) :

- 123* : côte des Faas, commune de Boos.
- 124* : côte de Faas, commune de Franqueville.
- 126* : côte de Bon-Secours, commune de Boos.
- 127* : côte des Authieux, commune des Authieux.
- 129* : de St-Antoine, commune de Belbeuf.
- 131* : commune de Belleville.
- 132* : côte de Ste-Catherine, commune de Rouen.
- 160* : des longs vallons, commune de Boudeville.
- 170* : d'Oissel, commune de Oissel.
- 177-182* : carrière d'Orival, commune d'Orival.
- 183-186* : carrière de Tourville, commune de Tourville.

H/ Les enduits peints de la *villa* de Vichten (Grand-Duché du Luxembourg)



Carte d'identité

Fouille de sauvetage au printemps 1995.

Coordination : service archéologique du Musée National d'Histoire et Art (MNHA) de Luxembourg.

Etude des enduits peints d'une *villa*.

Datation du décor pictural : première moitié du II^e s. ap. J.-C.

Nombre d'échantillons : observations macroscopiques sur l'ensemble des fragments, analyse d'un échantillon.

Prélèvement dans le cadre de l'étude et de la restauration des peintures au CEPMR.

1. Introduction

Le village de Vichten se situe dans la partie centrale du Grand-Duché du Luxembourg, à mi-chemin entre Mersch et Ettlebruck. Au cours du printemps 1994, lors de travaux de terrassement à côté de son étable, un cultivateur dégagea trois mètres carrés d'une mosaïque polychrome. La découverte s'est avérée hors du commun, puisque c'est toute une luxueuse *villa* gallo-romaine qui fut fouillée en 1995. La totalité de la salle de réception était recouverte d'une mosaïque en parfait état de conservation, la « mosaïque aux Muses » (datée vers 240 ap. J.-C.), et les murs étaient plaqués de marbre noir et blanc. Les pièces contiguës à cette salle étaient quant à elles recouvertes de fresques.

L'ensemble de peintures murales, dont le support est étudié ici, provient du corridor n°4 et est daté de la première moitié du II^e siècle après J.-C. (Krier *et al.* 2002).

2. Le support

Le support de l'ensemble étudié de Vichten est caractérisé de prime abord par sa très grande homogénéité. La couche picturale repose invariablement sur une fine couche

d'épiderme blanche, couche (a). La couche de transition, couche (b), épaisse de plusieurs millimètres, apparaît plus ou moins distinctement : la coloration de la couche variant du ocre au blanc « sale », suivant apparemment la teneur en chaux. Enfin, la couche de préparation, couche (c), épaisse de plusieurs centimètres, est de couleur ocre, ce qui peut gêner parfois sa distinction avec (b).

2.1. La couche d'épiderme

L'épaisseur maximale est de 1 mm. La porosité est peu importante, marquée par de fines fissures courant sur toute l'épaisseur de la couche, parallèles entre elles et perpendiculaires à la surface, et par quelques vides polyconcaves de 150-250 μm de diamètre en moyenne. L'aspect de la matrice est à rapprocher de celui d'une chaux vierge de tout granulats et cristallisée.

La quantité de granulats est toutefois non négligeable, environ 20 à 25 %. Il s'agit de cristaux à section rectiligne de calcite et de dolomite non ferrifères (fig.H1). La dimension de ces cristaux n'excède que rarement le millimètre, le diamètre moyen étant compris entre 25 et 250 μm .

On remarque sur un échantillon la pénétration de la couche picturale, localement, dans un creux de la couche (a), sur un millimètre d'épaisseur environ.

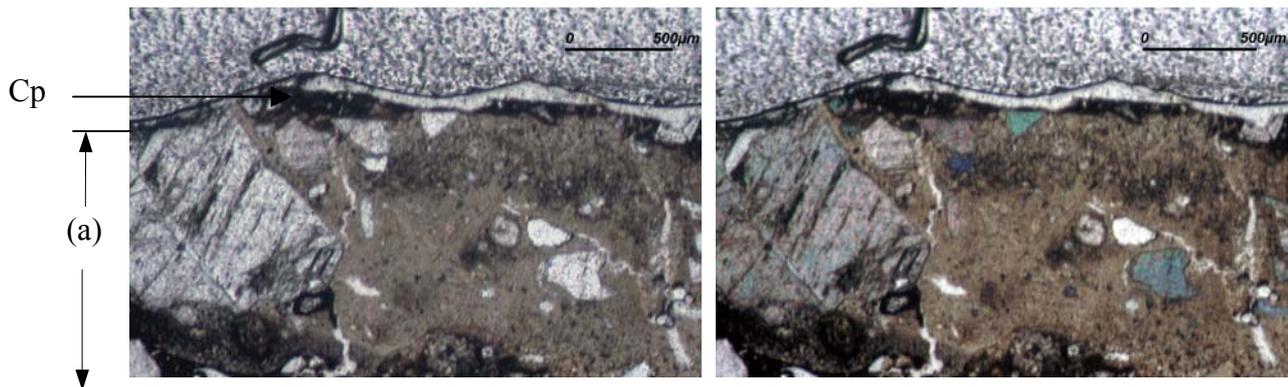


Fig.H1. Couches d'épiderme (a) et picturale (Cp) de l'échantillon VIC 1. La couche (a) contient des cristaux anguleux de calcite. La Cp est discontinue sur la lame mince, à pigments rouges. LPNA (gauche) et LPA (droite).

2.2. La couche de transition

L'épaisseur moyenne est de 7 mm environ. La limite avec la couche (a) est peu nette, mais parfois soulignée par un fin liseré marron ou une fissure fine. La porosité est importante, vacuolaire, à vides polyconcaves surtout, de diamètre moyen compris entre 100 et 250 μm . La répartition du granulat est homogène. Il semble y avoir une orientation des éléments allongés parallèlement à la surface, mais ce n'est pas systématique, elle est accentuée surtout aux limites de la couche. La matrice du mortier montre, en lumière dite naturelle, une coloration légèrement rouille.

Il y a au moins 50 % de granulat anguleux siliceux. Il s'agit pour l'essentiel de quartz polycristallins et/ou à extinction onduleuse, ainsi que quelques *stretched metamorphic quartz*, ce qui témoigne du caractère tectonique et métamorphique des formations géologiques à l'origine de ces éléments détritiques. Le plus gros élément mesure 2 x 2 mm. Nombre d'entre eux ont un diamètre compris entre 50 et 250 μm , et entre 500 et 750 μm .

On note la présence de nombreux « grumeaux ». Il est parfois possible de faire la différence entre les incuits de la roche carbonatée et les nodules résiduels de chaux. Les nodules résiduels sont généralement patatoïdes, de diamètre compris entre 250 μm et 1,5 mm. Le plus gros élément de roche imparfaitement cuite mesure 4,5 x 2,5 mm.

Fait intéressant, des éléments de « sol » (défini ici comme « formation superficielle pédologique ») sont parfaitement observables. Ils correspondent à des nodules argilo-sableux à matrice argileuse parfois rubéfiée (en lumière dite naturelle comme en lumière polarisée et analysée).

Reste à signaler que nous n'avons pas observé de fragments de tuileau.

2.3. La couche de préparation

L'épaisseur maximale est de 3 cm. La limite avec la couche (b) est peu nette en général, sauf lorsqu'elle est soulignée par un fin liseré marron. La porosité est importante, vacuolaire, à vides polyconcaves de diamètre compris surtout entre 100 et 750 μm . La répartition du granulat est homogène ; pas d'orientation particulière détectée pour les éléments. La matrice montre une franche coloration rouille en lumière naturelle.

Il y a plus de 50 % de granulat anguleux siliceux. Il s'agit essentiellement de quartz polycristallins et/ou à extinction onduleuse, ainsi que quelques *stretched metamorphic quartz*.

Le plus gros élément mesure 7 x 4,5 mm. De nombreux grains ont un diamètre compris entre 25 et 125 µm. Certains grains présentent des revêtements pédologiques argileux rouge orange sur leur pourtour (ces revêtements argileux sont des figures témoignant d'une illuviation d'argile au sein d'un profil pédologique). On remarque de plus des nodules argilo-sableux à matrice argileuse parfois rubéfiée (fragments de sol). Un autre trait caractéristique, marquant l'exploitation d'une formation argilo-sableuse ou argilo-limoneuse pour obtenir le granulat, est la présence de rares papules argileuses (fragments de revêtements isolés) orangées, de 100 µm de diamètre.

On note une proportion importante (au moins 20 %) de grumeaux (résidus de chaux). Ils possèdent, pour l'essentiel, un diamètre compris entre 100 et 750 µm, mais plusieurs sont pluri-millimétriques, le plus gros mesurant 3 x 2 mm.

Il y a de rares empreintes de restes végétaux (paille). Une fois encore, la présence de tuileau n'a pas été décelée.

La présence d'argile étant attestée en lame mince, nous avons effectué une analyse par diffractométrie des rayons X, afin de déterminer leur nature. La présence de kaolinite et d'illite a ainsi été mise en évidence, associées au quartz et à la calcite (chaux cristallisée).

3. L'environnement géologique

Vichten est implantée sur un plateau triasique, au creux d'une petite vallée où coule le Vichtbach, affluent de l'Attert.

Les formations, du fait du recoupement du plateau par la vallée, sont nombreuses, et l'on retrouve une stratigraphie complète importante, du Trias moyen (Muschelkalk) au Trias supérieur (Keuper), comportant à la fois des formations gypseuses, des marnes, des dolomies, du grès et des conglomérats, le tout recouvert localement par les limons des plateaux, parfois à galets, à concrétions ferrugineuses et quartzitiques, ou à blocs isolés de quartzite.

L'origine du granulat siliceux semble devoir se chercher au niveau du plateau, dont les formations superficielles « limoneuses » sont à même, suite à des phénomènes pédologiques, de fournir des horizons enrichis en argiles d'illuviation (ces traits pédologiques ayant été plusieurs fois observés dans les mortiers de Vichten).

La chaux peut être obtenue par calcination d'une dolomie (roche carbonatée riche en magnésium). La roche locale, une dolomie alvéolaire du Muschelkalk, pourrait avoir été exploitée pour la fabrication de la chaux. Toutefois, les analyses de fluorescence X n'ont pas

révélé de teneurs anormalement élevées dans la matrice des mortiers. L'origine de la chaux serait à rechercher plus au sud, peut-être aux environs de la ville de Luxembourg, dans les calcaires du Jurassique.

Les cristaux de calcite et de dolomite sont difficilement distinguables en microscopie optique. Une coloration de ces cristaux (application sur la lame mince non couverte de colorant à base d'alizarine et de ferricyanure de potassium) nous permet d'affirmer leurs présences respectives. Leur origine pourrait éventuellement venir de la récupération de marbre broyé ; il s'en trouve en effet au niveau du synclinal de Dinant dans le Dévonien ou le Carbonifère de l'Ardenne, et les placages de plusieurs parois de la *villa* étaient constitués de marbres noirs et blancs. Toutefois, les cristaux de calcite présentent peu de critères pétrographiques associés aux marbres (il y a peu de macles polysynthétiques, pas d'extinction onduleuse, exclusivement des monocristaux aux formes régulières, etc.). L'exploitation de veines calcitiques et dolomitiques, qui sont indiquées dans les dolomies triasiques de la région, est donc la meilleure hypothèse que l'on puisse avancer.

4. Discussions

Le support des fresques de Vichten est donc constitué de trois couches, visiblement de plus en plus riches en chaux au fur et à mesure que l'on se rapproche de la couche picturale. Les couches de transition (b) et de préparation (c) diffèrent peu du point de vue de la nature des agrégats, mais on note globalement un appauvrissement en argile pour la couche (b) par rapport à la couche (c).

L'origine du granulat apparaît univoque, l'observation des lames minces renvoie à la formation superficielle des limons des plateaux.

Ces éléments décoratifs appartiennent à un ensemble fastueux, ce qui pose la question de la qualité des peintures, abordées ici via leur support.

Les couches, nous l'avons déjà signalé, sont au nombre de trois, d'épaisseurs décroissantes du revers à l'avant, pour une épaisseur totale de plus de 3 cm. La présence d'argile, ainsi que le mauvais tri granulométrique de la charge (présence de quelques gravillons et de sable grossier, associés au sable fin et au limon utilisés comme granulat), laissent supposer que le « sable » exploité pour les mortiers n'a pas subi de traitements avant

son utilisation¹⁴, malgré son manque de pureté. La présence d'incuits de la roche carbonatée utilisée pour la fabrication de la chaux, parfois de plusieurs millimètres de diamètre, et le nombre élevé de petits nodules de chaux résiduels (infra-millimétriques), montrent des manquements dans la chaîne opératoire du mortier, au moment de la cuisson de la roche, de l'extinction de la chaux et/ou du gâchage. Pourtant, malgré ces indices de « défauts » de fabrication, le résultat obtenu est loin d'être médiocre. Au contraire, le mortier est résistant, les éléments de la charge restent solidaires de la matrice, les couches entre elles ne se désolidarisent pas.

Mieux encore, on observe un soin particulier au moment de la mise en place de la couche d'épiderme, avec non plus l'emploi d'un granulat siliceux tout-venant, mais d'un granulat spécifique constitué de monocristaux de calcite ou de dolomite.

Ainsi, même si le support des peintures murales de la *villa* de Vichten ne nous semble pas d'une fabrication parfaite, le résultat obtenu (peut-être biaisé par des siècles d'enfouissement entraînant tout un cortège de phénomènes post-dépositionnels) apparaît comme parfaitement convenable pour une utilisation en environnement non-humide. La marque du luxe ne se note que par l'usage délibéré de cristaux de calcite dans la couche supportant la peinture.

Références :

BLINTZ J. coord. (1974) – carte géologique générale du Grand-Duché de Luxembourg. Deuxième édition. Ministère des travaux publics, service géologique.

KRIER J. *et al.* (2002) – Peintures romaines de Vichten. *Archéologia*, **395**, 44-55.

LUCIUS M. (1948) – carte géologique du Luxembourg au 1/25 000, feuille n° 5, Redange-sur-Attert. Service géologique de Luxembourg.

LUCIUS M. (1949) – carte géologique du Luxembourg au 1/25 000, feuille n° 6, Diekirch. Service géologique de Luxembourg.

WATERLOT G., BLINTZ J. (1973) – Ardenne, Luxembourg. *Guides géologiques régionaux*. Masson & Cie éditeurs. 206 p.

¹⁴ L'emploi d'un sable non tamisé pour la couche de préparation est parfois interprété comme le souhait d'obtenir un mortier rugueux, potentiellement plus adhérent au mur.

i/ Le support des peintures d'un *naos* hellénistique, sanctuaire de Zeus, Jerash (Jordanie)

Carte d'identité

Fouilles menées entre 1982 et 1996 par une équipe française dépendant de l'IFAPO, dans le cadre du *Jerash International Project* financé par la Jordanie.

Etude des enduits peints de blocs d'un *naos* hellénistique du sanctuaire de Zeus.

Sous la coordination de Jacques Seigne (CNRS-UPR 5500 IRAA), Hélène Eristov et Claude Vibert-Guigue (CNRS-UMR 8546, Archéologies d'Orient et d'Occident).

Datation du décor pictural : I^{er} s. av. J.-C.

Nombre d'échantillons : 22, dont 5 de stucs.

Prélèvements par l'analyste.

1. Introduction

La ville de Jerash, l'antique *Gerasa*, est située à une cinquantaine de kilomètres au nord d'Amman (Jordanie). Elle fut conquise en 63 av. J.-C. par Pompée. Elle prospéra grâce au commerce avec les Nabatéens dont le royaume se situait plus au sud (Pétra). Un important programme d'urbanisme changea sa physionomie au milieu du I^{er} s. ap. J.-C., mais c'est au II^e s. ap. J.-C. que fut son âge d'or, après l'annexion du royaume nabatéen par l'empereur Trajan et la visite de l'empereur Hadrien en 129. Le sanctuaire de Zeus s'agrandit en 163 avec la construction d'un nouveau temple monumental.

Le démontage partiel du *naos* de Théon (édifice daté de 69/70 ap. J.-C., dans le sanctuaire de Zeus) a révélé un grand nombre de blocs de grand appareil appartenant à une phase antérieure, possédant toujours leur décor peint (fig.i1). C'est cet ensemble pictural qui est à l'origine de notre étude, la seule effectuée hors du cadre géographique de la Gaule. Il s'agit du décor peint et stucé, à la fois interne et externe, d'un *naos* hellénistique sans doute détruit lors de la première Révolte Juive de 66-73 ap. J.-C. (Eristov, Seigne *et al.* 2002). Par extension, des blocs de l'autel ont aussi été échantillonnés, ainsi que des matériaux de « réparation » de bloc¹⁵.

¹⁵ Voir la liste des échantillons en annexe en fin de chapitre.

	Stratigraphie	Cristaux anguleux de calcite	Gravillons calcaires	Sable siliceux (quartz et silex essentiellement, ainsi que grès siliceux ou à ciment d'oxyde)	Roches (?) tendres gris sombre	Roches basaltiques (dolérites)	Fragments d'un autre mortier
Autel : Assemblage Stratigraphique "B"	Couche (a)	< 5 %	35-40 %	< 5 %		< 5 %	
	Couche (b)	< 5 %	30-40 %	15-20 %		< 5 %	
Naos : Assemblage Stratigraphique "A"	Couche (a)	50-60 %	< 5 %	Quelques % (quartz anguleux et grès siliceux)			
	Couche (b)	< 5 %	40-50 %	5 à 15 % silex principalement		Fréquents	
	Couche (c)	< 5 %	40-50 %	5 % maximum			
Stucs « à stratigraphie »	Couche (a)	35-45 %	< 5 %	< 5 %			
	Couche (b)	< 5 %	35-45 %	25 % silex principalement		Nombreux	
Stucs à mortier léger	Couche (a)	35 %					
	Couche (b)	5 %	15-20 %	5 %	20-25 %		Nombreux (mortier à gravillons de calcaire et sable siliceux)
TZJ 32	Couche (a)	30 %	Fréquents				
	Couche (b)	< 5 %	35 %	20 % silex principalement		< 5 %	

Tabl.i2. Assemblages et matériaux de support de peintures murales et de stuc du temple de Zeus, (Jerash).

2. Résultats et discussions

Pour la présentation des résultats nous mettrons directement l'accent sur les familles de matériaux plutôt que sur la composition précise de chaque couche. La composition des matériaux est résumée dans le tableau i2.

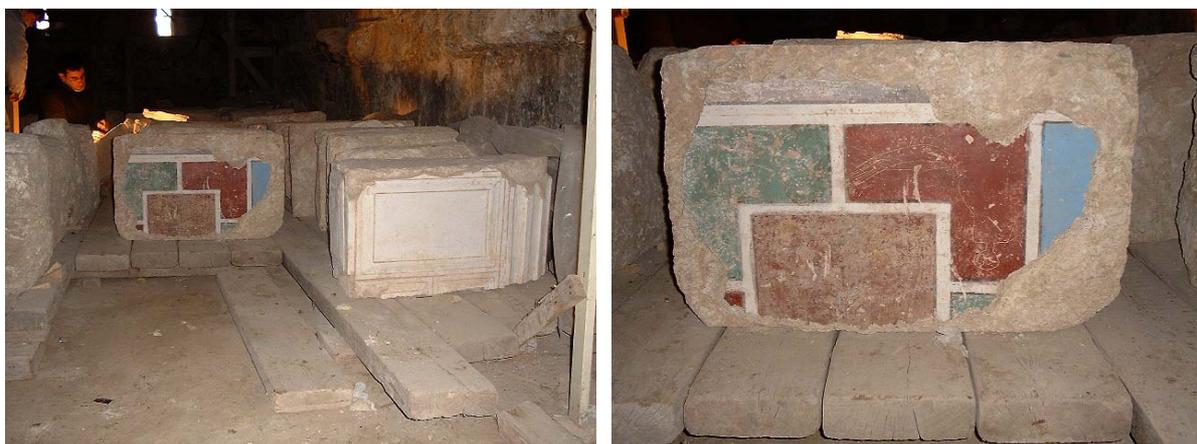
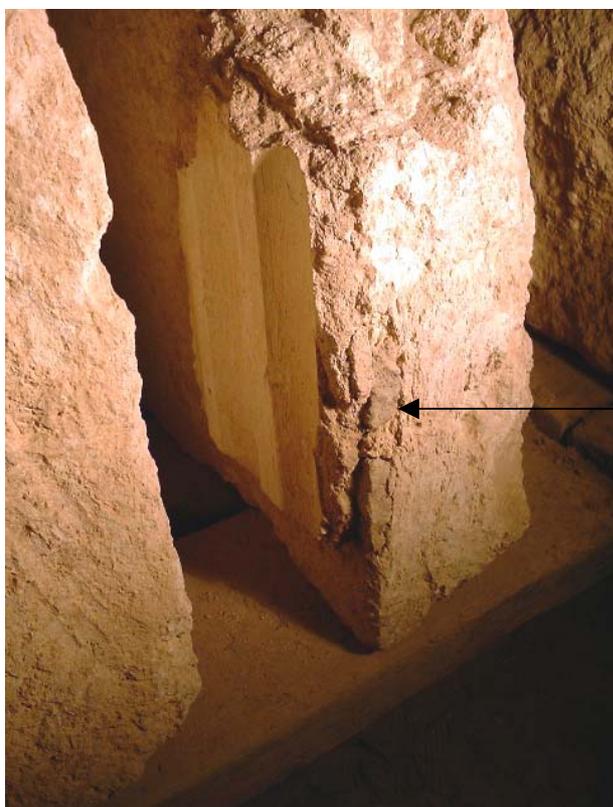


Fig.i1. Blocs de grand appareil décorés du *naos* hellénistique.



« réparation »

Fig.i3. Bloc endommagé, « réparé » avant la pose du stuc.

2.1. Les mortiers de « réparation » de bloc

Nous avons effectué deux prélèvements (TZJ 24 et TZJ 27) de matériaux employés pour la réparation de blocs endommagés (fig.i3). Ces applications n'avaient apparemment d'autre but que de régulariser la surface des murs de pierre, en vue d'assurer la pérennité de l'enduit peint après son application en évitant les zones fragiles et sensibles à l'altération (zones de vides), ou pour faciliter la mise en œuvre en évitant les zones gênantes pour la pose de ces couches de support qui nécessitent un important travail de pression.

Il semble qu'il s'agisse d'un programme unique de restauration¹⁶ puisque les matériaux constitutifs de TZJ 24 et 27 sont identiques. Nous ne sommes pas en présence de mortier de chaux. Cela avait été intuitivement noté au moment du prélèvement, et vite confirmé en laboratoire, à la fois en microscopie optique et en DRX. Ces raccords ont été effectués avec du plâtre (fig.i4).

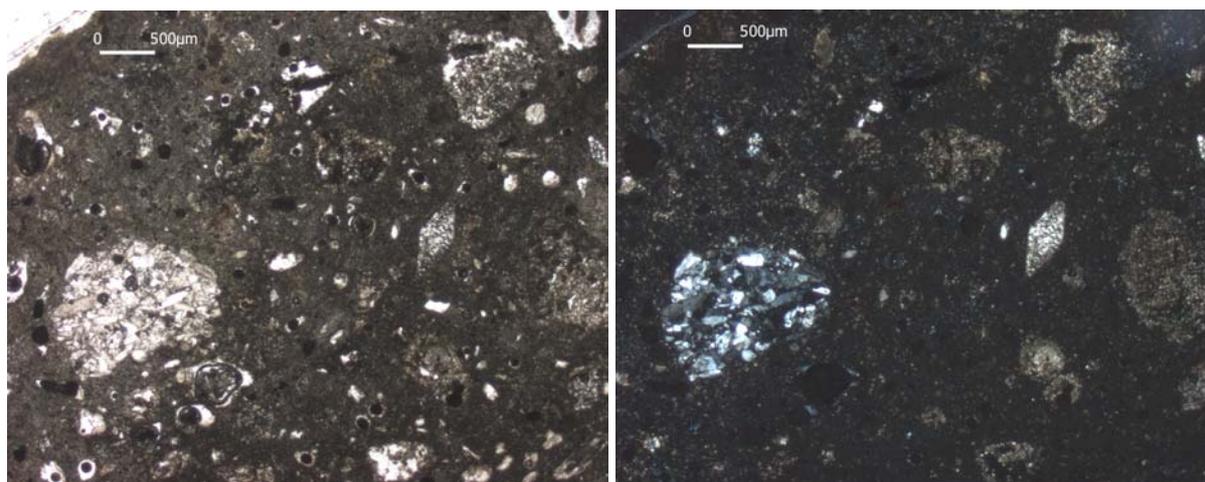


Fig.i4. Plâtre, avec fragments de gypse saccharoïde (nodule à gauche). Echantillon TZJ 27, LPNA (à gauche) et LPA (à droite), x40.

Il s'agit d'un plâtre de couleur gris pâle, présentant une porosité importante (teneur de 20 % environ) et caractéristique avec ses pores arrondis et polyconcaves. On retrouve une teneur relativement importante de « granulat » (teneur de 20 % environ) caractéristique de la plupart des plâtres anciens. Cette charge est en fait un résidu de la préparation du plâtre, elle provient vraisemblablement de la formation exploitée pour fournir le gypse. Les éléments

¹⁶ Si l'on considère que notre échantillonnage est parfaitement représentatif et exhaustif.

observables sont des fragments non ou mal cuit de gypse, quelques éléments d'anhydrite et de rares quartz de la dimension des limons. La DRX nous informe de plus sur la présence de corrensite, un mica dérivé de la chlorite, formé dans des environnements évaporitiques, et de inyoite, un borate de calcium qui peut coexister avec le gypse dans un environnement évaporitique, lorsqu'il y a une alimentation en bore (Ortí & Alonso 2000).

Les éléments du granulat sont de petites dimensions, de diamètre inférieur à 1 mm, témoignant d'un battage (ou broyage) assez rigoureux du plâtre après sa cuisson, ou bien d'un tri granulométrique afin d'expulser les gros fragments dont la présence aurait considérablement gênée la mise en œuvre et la mise en forme du « pansement ». Aucun fragment de charbon de bois n'a été observé, ce qui témoigne là aussi du soin particulier appliqué à la préparation du matériau.

2.2. Les enduits peints du temple hellénistique

Les échantillons se répartissent en deux groupes, suivant leur provenance : les éléments du *naos* et ceux de l'autel.

- *Les enduits peints du naos hellénistique* (fig.i5)

Les échantillons correspondant à cet ensemble sont : TZJ 13 à 16 et TZJ 26 pour le décor peint interne du *naos*, et TZJ 17 pour le décor peint externe du *naos*.

L'étude des échantillons TZJ 13 à 16 et TZJ 26 a montré que tous ces fragments de décor intérieur, qu'ils proviennent de la partie basse du mur (plinthes et orthostates) ou moyenne (faux marbres et *gamma*), présentent le même assemblage stratigraphique, que nous nommerons « A ».

Ce support, une fois identifié, a été comparé à celui de l'échantillon TZJ 17, le seul à représenter de façon certaine le décor extérieur. L'assemblage stratigraphique est pour ainsi dire identique aux précédents, à cela près qu'il nous apparaît plus épais et pourrait avoir bénéficié de la pose d'une couche préparatoire de plus¹⁷.

¹⁷ Ce n'est pas assuré en lame mince, mais à l'œil nu on devine une couche (d) en plus de composition proche des suivantes : (c) et (b).

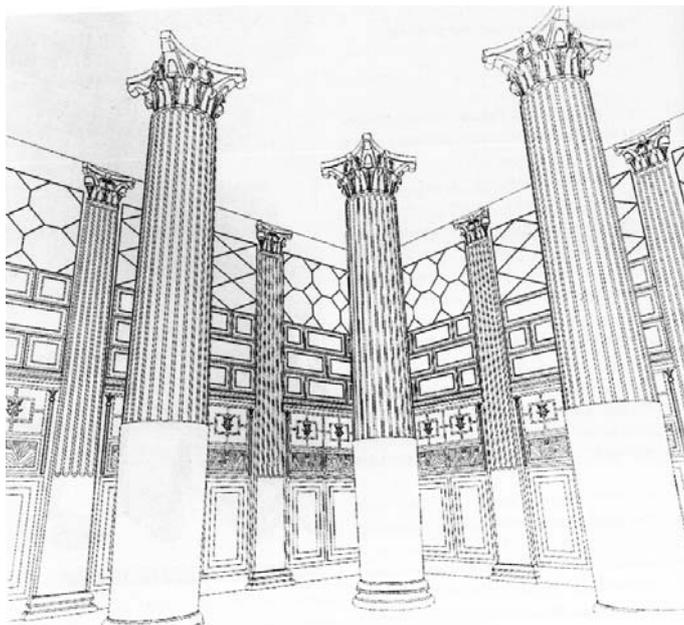


Fig.i5. Restitution de l'intérieur du naos (In Eristov et Seigne 2002).

Nous sommes donc en présence d'un support A constitué de trois couches de mortier. Les compositions des couches (b) et (c) sont liées par l'utilisation des mêmes familles de granulat en proportions différentes : les couches de préparation et de transition sont constituées des mêmes matériaux, seule la granulométrie variant, s'affinant à l'approche de l'épiderme. Cet assemblage stratigraphique correspond donc à une phase unique de décoration, il ne s'agit pas de l'application d'un support sur les vestiges d'un précédent (sans couche picturale conservée).

La blancheur des couches montre le soin apporté à l'utilisation d'un granulat qui ne soit pas pollué par trop de limons, d'argiles ou d'oxydes, ce qui est pourtant le cas le plus courant. L'identification de la formation exploitée pour fournir le granulat devrait nous permettre de dire si ce soin s'est traduit par le choix de points d'extraction précis ou par l'application d'un traitement particulier sur le sable extrait (lavage surtout). Mais nous n'avons pas effectué de recherche de terrain sur les types de formations meubles présentes dans l'environnement géologique proche, et la carte géologique de la région que nous avons consulté semble les oublier au profit du substrat (Ghassan 1995). Nous ne pouvons donc actuellement statuer sur l'origine du sable.

La première couche, la couche (a) (ou encore couche d'épiderme), est à cristaux anguleux de calcite (fig.i6). L'aspect de ces grains nous ferait pencher pour une origine liée au broyage d'un marbre blanc, puisque plusieurs cristaux montrent une extinction onduleuse

et/ou des macles polysynthétiques parfois courbes. Toutefois, sur l'ensemble des cristaux, on ne peut exclure une exploitation de veinules de calcite, indiquées dans les notices des cartes géologiques pour plusieurs formations calcaires locales, telles que la *Shuayb Formation*, les *Wadi As Sir Limestone* et la *Wadi Umm Ghudran Formation*. Quoiqu'il en soit, cette pratique d'emploi de marbre broyé (ou d'un substitut) dans la couche d'épiderme est bien connue, c'est la recommandation la plus célèbre de Vitruve pour la préparation des couches de support des peintures (*De Architectura*, VII, 3). La granulométrie de cette « poudre » de marbre est en fait celle des sables en général (entre environ 100 μm et 2 mm).

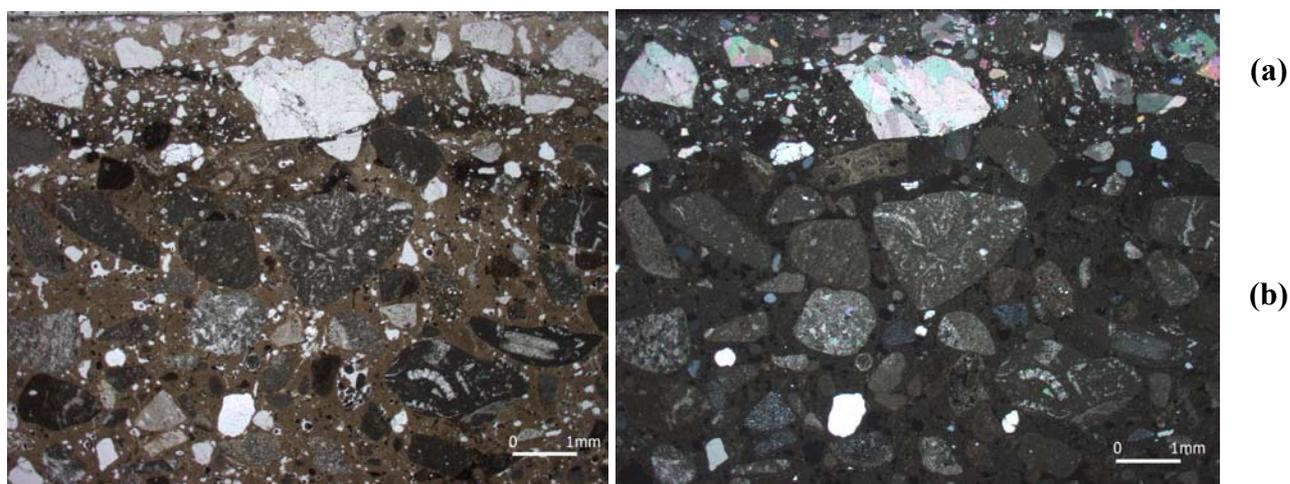


Fig.i6. Couches (a) et (b) de l'assemblage A. Echantillon TZJ 16, LPNA (à gauche) et LPA (à droite), x15.

- *Les enduits peints de l'autel hellénistique*

Les échantillons TZJ 8, 9, 11 et 25 ont été prélevés sur l'autel (enduit encore en place, assises intermédiaires et supérieures ; fig.i7). De ces quatre fragments, seul TZJ 9 nous a permis d'observer en lame mince une stratigraphie complète, avec sa couche d'épiderme. L'assemblage stratigraphique de TZJ 9 (nommé « B ») correspond pour partie à l'assemblage stratigraphique précédemment défini : les couches (b) et (c) de A se retrouvent ici respectivement en (a) et (b) ; il ne manque que la couche d'épiderme précédente (chargée en cristaux de calcite). Bien que les autres échantillons ne nous permettent d'observer que leur couche (b) en lame mince, il semble que TZJ 8 et 25 se rattachent à l'assemblage B.



Fig.i7. Vues de l'autel du temple, depuis le nord (à gauche) et l'est (à droite ; face où l'on observe les vestiges de l'enduit).

Le décor extérieur du *naos* possède une couche d'épiderme à cristaux de calcite (marbre broyé). Mais celle-ci disparaît pour l'enduit de l'autel. La décoration du *naos*, intérieure et extérieure, est à un autre niveau d'élaboration que la décoration de l'autel (enduit blanc). Le souci de la mise en valeur du *naos* pourrait donc s'affirmer en partie dans le choix du support de sa décoration murale, plus complet et plus riche que celui de l'autel.

Il faut signaler que TZJ 25 possède encore sur son revers des restes de mortier gris qui ne semblent pas faire partie à proprement parler du support du décor de l'autel (serait-ce un premier enduit de protection ?)¹⁸.

Le mortier de l'échantillon TZJ 11 ne s'apparente pas tout à fait aux types présents dans les assemblages A et B. Le mortier présente une composition sensiblement identique aux précédents types, mais la granulométrie du sable est beaucoup plus fine, et l'enduit est chargé en plus de gros cailloux de roches calcaires. Cela s'apparente donc plus à un « béton » à proprement parler qu'à un mortier de support de décor mural. La phase « mortier » serait

¹⁸ Cette pratique de pose d'un premier mortier gris (à charbons de bois, entre autres) avant le support de la peinture, ou avant l'application d'un mortier de tuileau, a été observée en plusieurs points dans divers édifices de l'antique *Gerasa*. Peut-être ce matériau était-il réputé pour une meilleure adhérence avec les blocs calcaires de grand appareil ?

vraisemblablement à rapprocher du mortier de la couche de préparation des « stucs à stratigraphie » (cf. *infra*).

2.3. Les stucs du temple hellénistique

Les échantillons de stuc sont TZJ 19, 20, 21/22 (fig.i8), 23 et 33. Seuls TZJ 19 et 20 représentent le décor extérieur. Les analyses divisent le groupe en deux.

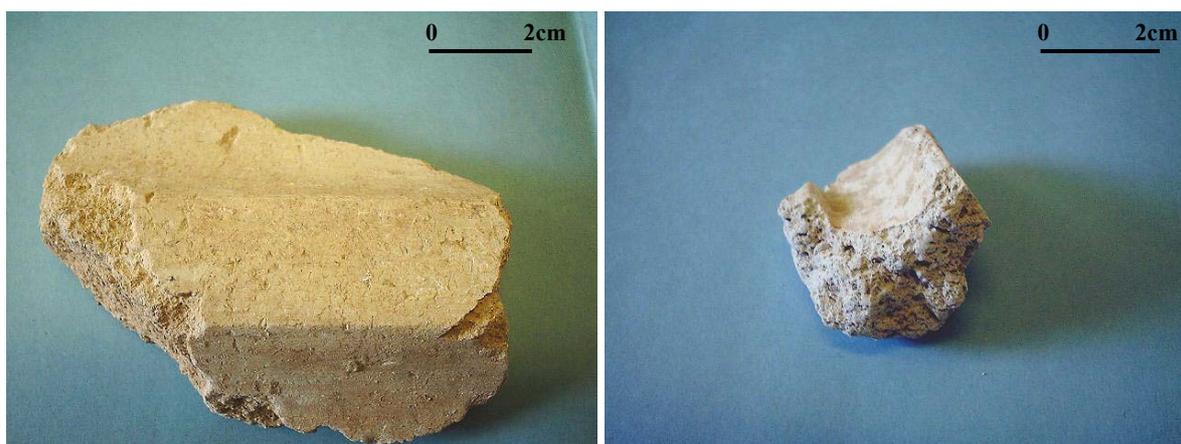


Fig.i8. Echantillons de stuc : TZJ 20 à gauche et TZJ 22 à droite.

- *Les stucs « à stratigraphie »*

Ils sont appelés ainsi car ils présentent une stratigraphie proche de celles que l'on trouve dans les enduits peints précédemment décrits. TZJ 19, 20 et 23 sont ceux-là. Le relief que l'on note à l'extérieur n'est pas seulement imprimé dans la dernière couche, c'est toute la stratigraphie qui le prépare (fig.i9).

Deux couches au minimum sont observées. Celle de préparation est encore une fois constituée de gravillons calcaires et de sable siliceux, mais sa particularité par rapport aux mortiers des enduits peints vient à la fois de la finesse de la granulométrie et de la teneur importante en quartz et silex. La couche de finition est à cristaux anguleux de calcite (mêmes caractéristiques que pour le support A : présence donc de marbre broyé), par moment associés à des sablons de roches calcaires (de mêmes natures que ceux de la couche de préparation).

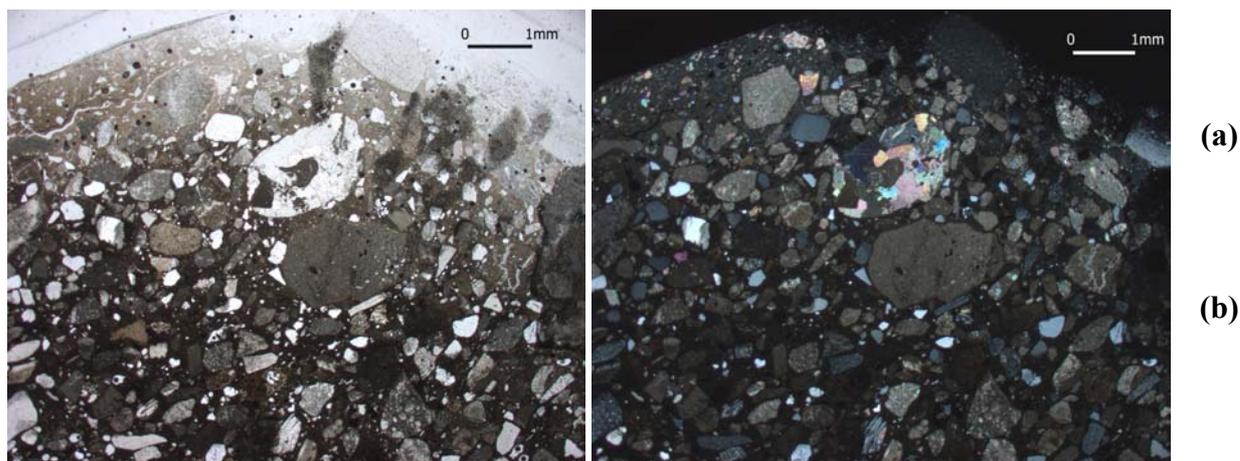


Fig.i9. Stuc à stratigraphie, la courbure du relief étant imprimée dans la couche de préparation (b) et celle de finition (a). Echantillon TZJ 20, LPNA (à gauche) et LPA (à droite), x15.

L'échantillon TZJ 23 (octogones, décor intérieur) laisse deviner une double stratigraphie. Elle est particulièrement attrayante puisqu'il semble que ce soit un repentir. En effet, le premier ensemble mêlant couches de préparation et de finition est identique au deuxième le recouvrant. Le doublement pourrait avoir eu deux causes. Tout d'abord, l'épaisseur atteinte à la fin du premier support aurait pu ne pas convenir, d'où une recharge que la couche d'épiderme seule n'aurait pu absorber sans risque et sans surcoût (l'épaisseur rajoutée est de 1 cm environ). Ensuite, le décor lui-même pourrait ne pas avoir été jugé satisfaisant, puisque le relief imprimé dans la première stratigraphie n'est pas exactement à « l'aplomb » du suivant.

- *Moulurations et « X »*

Les moulurations du *naos* au-dessus des *gamma* (TZJ 21/22) et le stuc peint en forme de X (TZJ 33) ont été préparés avec un mortier particulier, « léger », de couleur blanc grisâtre, d'un toucher assez « cendré ». Si l'on retrouve de nouveau un granulat caractéristique constitué de sable siliceux (à quartz et silex surtout) et de gravillons calcaires (en fait plutôt du sable grossier ici), d'autres éléments sont présents en nombre, jamais observés dans les autres mélanges : ce sont des roches (?) tendres, gris sombre, carbonatées ; il est pour l'instant impossible de définir exactement la nature de ces éléments.

TZJ 33 est recouvert de surcroît par une couche d'épiderme blanche chargée de cristaux de calcite anguleux (là aussi marbre broyé identifié). TZJ 22 est recouvert d'un lait de chaux, d'une épaisseur relativement importante : 500 µm.

La composition de ces reliefs ne correspond donc pas à celle des opus de stuc. L'emploi de ce matériau est limité à des éléments de décoration de peu de volume, venant se plaquer sur le décor déjà appliqué. Cette composition particulière a donc été employée sciemment, afin d'obtenir un mortier léger, compatible avec son usage.

2.4. Les blocs de provenance « inconnue »

Plusieurs échantillons ont été prélevés sur des blocs dont nous ignorons l'origine, à savoir s'ils proviennent de la décoration du *naos* ou de celle de l'autel. Ce sont TZJ 1, 18, 28, 29, 32 et 34.

Pour ce qui est de TZJ 1, 29 et 34, les observations nous ont montré la concordance entre leur support et l'assemblage stratigraphique A. Nous les rattacherons donc à la phase de décoration du *naos*. Les trois échantillons TZJ 18, 28 et 32, chacun à sa façon, posent problème.

Pour commencer, TZJ 32 s'individualise par un assemblage stratigraphique qui ne se retrouve pas ailleurs : le support est constitué de deux couches ; la couche (b) correspond aux couches (b) de l'assemblage A, dans leur pôle le plus fin ; la couche (a) est insolite pour ce lot de mortiers car elle est riche en sable fin quartzeux, enrichie de quelques sablons émoussés de roches calcaires, mais sans aucun cristal anguleux de calcite.

TZJ 28 apparaissait comme un enduit peint blanc. Les observations ont au contraire montré un support connu comme étant celui employé pour les stucs « à stratigraphie ». Puisque aucun relief n'est à noter, il est probable que l'échantillon provienne d'une zone sans modelé, d'un des opus par exemple (?).

TZJ 18 ne nous permet pas d'observer de couche de finition ni de couche picturale. Aucune surface lisse ou plane n'est conservée. Il n'y a pas de stratigraphie préservée. C'est donc le cœur d'une couche de mortier qui est observé. Après analyses, ce mortier serait à rapprocher de celui qui constitue les couches de préparation des stucs « à stratigraphie » du décor interne et externe du *naos*.

3. Conclusions

Nous avons mis en évidence plusieurs ensembles de matériaux correspondant à des provenances et utilisations précises. Nous pouvons résumer ces associations comme suit :

- (1) La réparation des blocs endommagés s'est effectué avec du plâtre (un seul type a été identifié).
- (2) L'enduit de l'autel est constitué de l'assemblage de deux couches de mortier de chaux, à granulats de gravillons calcaires et secondairement de sable siliceux (assemblage stratigraphique B).
- (3) Au support du décor peint du *naos* (intérieur et extérieur) correspond l'assemblage stratigraphique A qui se définit comme une extension de B, avec ajout d'une couche de finition chargée en cristaux de calcite (marbre broyé). Cette couche d'épiderme témoigne de la différence de statut entre l'enduit de l'autel et celui du *naos*.
- (4) La décoration en stuc du *naos* emploie des stucs à stratigraphie proche de l'assemblage A (mortier de chaux et sables calcaire et siliceux, recouvert par un mortier à marbre broyé), aussi bien pour l'intérieur que pour l'extérieur.
- (5) Des stucs à mortier de préparation léger, grisâtre, au contact « cendreuse », ont été utilisés spécifiquement pour des objets de faible extension spatiale (au contraire des opus d'octogones par exemple) tels que les moulurations et les X.

Aucune distinction particulière ne peut être effectuée entre les matériaux de l'intérieur et ceux de l'extérieur du *naos*. De même, pour le décor intérieur du *naos*, nous n'avons observé aucune variation dans le support entre la partie peinte basse et la partie supérieure (*gamma*).

Du point de vue de la chronologie des procédés de décoration, il est fortement probable que l'ensemble des parties décrites plus haut appartienne à un seul programme décoratif.

Références

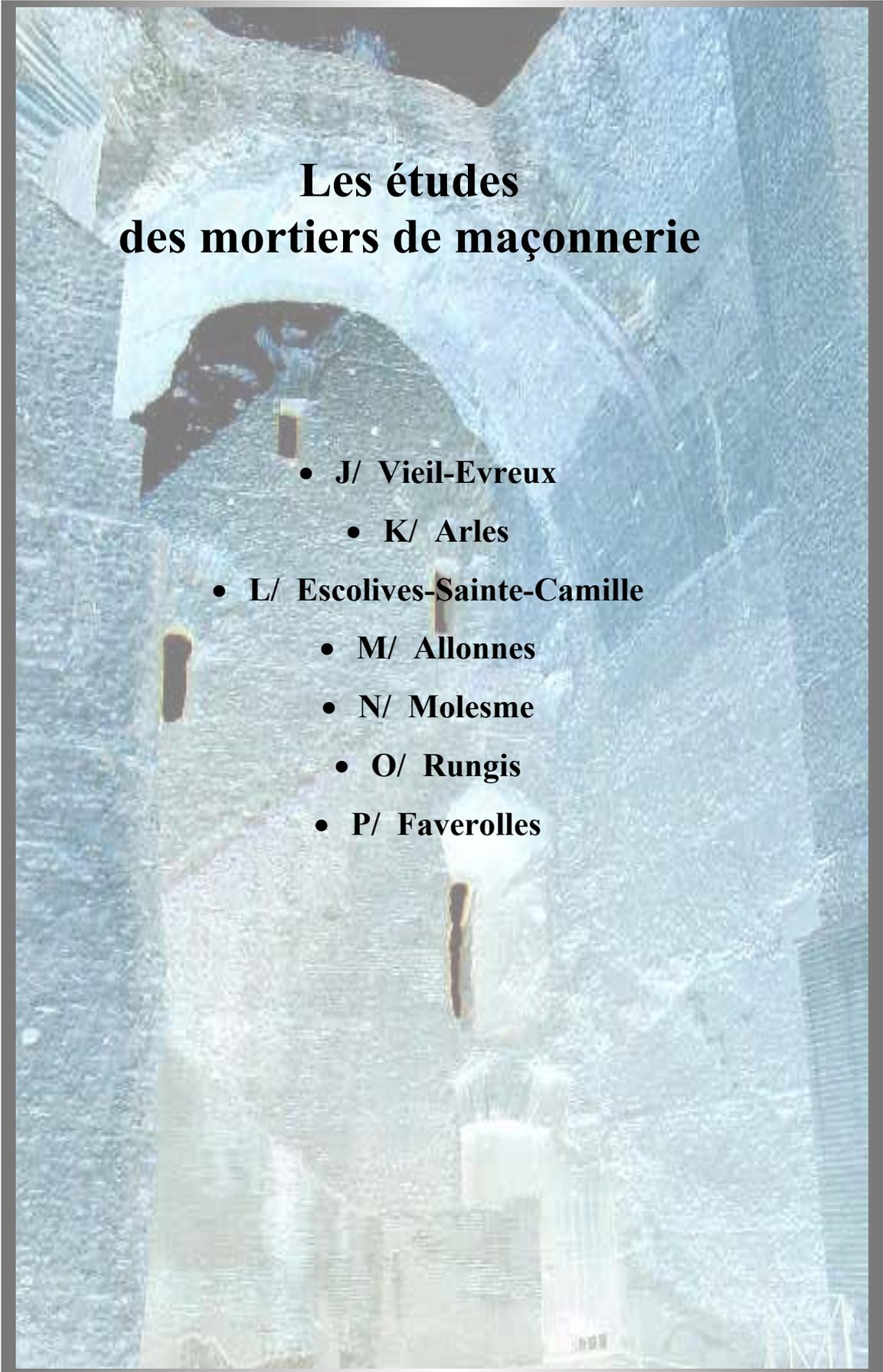
ERISTOV H., SEIGNE J. *et al.* (2002) – Le *naos* de Théon. *Archéologia*, **385**, 26-38.

GHASSAN A. (1995) – The geology of Jarash area. Map sheet (3154 – I). The Hashemite Kingdom of Jordan. Geological mapping division, Bulletin 30, Amman.

ORTÍ F. and ALONSO R.N. (2000) – Gypsum-hydroboracite association in the Sijes Formation (Miocene, NW Argentina): implications for the genesis of Mg-bearing borates. *Journal of Sedimentary Research*, **70** (3), 664-681.

Annexes : Liste des échantillons de peintures et stucs du sanctuaire de Zeus (Jerash)

- TZJ 1 : Enduit peint blanc sur bloc 8011.
- TZJ 8 : Enduit de l'autel (assises intermédiaires).
- TZJ 9 : idem, autel, au-dessus de TZJ 8, deux assises sous le ressaut.
- TZJ 11 : Enduit de l'autel hellénistique (dernière assise supérieure ; face est).
- TZJ 13 : Enduit peint orthostate, *naos* hellénistique, intérieur.
- TZJ 14 : idem, limite verticale dans orthostate.
- TZJ 15 : idem, faux marbre.
- TZJ 16 : idem, « *gamma* ».
- TZJ 17 : Enduit peint demi-colonne engagée, *naos* hellénistique, extérieur.
- TZJ 18 : Enduit peint blanc sur bloc 8118.
- TZJ 19 : Stuc à ciselure bleue, pilastre extérieure.
- TZJ 20 : Stuc, extérieur.
- TZJ 21 : « Mortier léger », corniche (mouluration au-dessus « *gamma* »), sur bloc 77, intérieur.
- TZJ 22 : idem.
- TZJ 23 : Stuc opus d'octogones, intérieur.
- TZJ 24 : Mortier de « réparation » de bloc intérieur (voir fiche 170).
- TZJ 25 : Enduit peint blanc de l'autel hellénistique, élévation est, angle sud-est, ressaut ????
- TZJ 26 : Enduit peint plinthe, *naos* hellénistique.
- TZJ 27 : Mortier de « réparation » de bloc intérieur, sous cannelures, bloc 8987.
- TZJ 28 : Enduit sur bloc 7262.
- TZJ 29 : Enduit sur bloc 7571.
- TZJ 32 : Enduit sur bloc de l'escalier du temple de Théon (bloc en position secondaire).
- TZJ 33 : Stuc peint formant un X, *naos* hellénistique, bloc 7731, intérieur.
- TZJ 34 : Enduit peint blanc avec inscription, *naos* ou autel (?), bloc 7729.



Les études des mortiers de maçonnerie

- **J/ Vieil-Evreux**
 - **K/ Arles**
- **L/ Escolives-Sainte-Camille**
 - **M/ Allonnes**
 - **N/ Molesme**
 - **O/ Rungis**
 - **P/ Faverolles**

J/ Les thermes gallo-romains du Vieil-Evreux (Eure)



Carte d'identité

Premières fouilles programmées entreprises en 1801 (par F. Rever). Les dernières se sont déroulées de 1996 à 2000.

Coordinateur : Laurent Guyard (chargé de mission au Conseil Général de l'Eure).

Edifice public : Thermes.

Datation : du milieu du II^e s. ap. J.-C. au milieu du III^e s. ap. J.-C.

Nombre d'échantillons : 180 échantillons environ, toutes fonctions comprises (hormis les enduits peints).

Prélèvements effectués au cours de la fouille par l'analyste, échelonnés sur trois années.

1. Introduction

L'étude des mortiers de construction des thermes du Vieil-Evreux s'est effectuée en deux temps. Une première phase d'analyse a porté en 1998-1999 sur près de 130 échantillons (Coutelas 1999). Les résultats ont été publiés l'année suivante (Coutelas *et al.* 2000). Une deuxième campagne d'échantillonnage a été réalisée en septembre 2000 afin de compléter le diagramme typo-chronologique des mortiers de construction, un certain nombre de structures et d'utilisations de ces liants de chaux ayant été mises de côté lors de la première étude. Nous présenterons ici une synthèse de l'ensemble de ces travaux.

1.1. Le site

L'antique ville d'Evreux, *Mediolanum Aulercorum*, implantée au fond de la vallée de l'Iton, un affluent de l'Eure, est le chef lieu du territoire (*civitas*) de la tribu celte des *Aulerques Eburovices*, un rameau de la tribu des *Aulerques* qui rassemble les *Aulerques Diablintes* (*civitas* de Jublains) et les *Aulerques Cénomans* (*civitas* du Mans).

Le complexe gallo-romain du Vieil-Evreux, *Gisacum* (?), se situe à sept kilomètres environ à l'est d'Evreux. Il s'agit d'une vaste agglomération secondaire de 230 hectares, développée à l'intersection de trois voies : Cravent/Condé-sur-Iton, Evreux/Ivry-la-Bataille et

Caudebec-lès-Elbeuf/Dreux (Cliquet et *al.* 1996). Elle occupe une surface relativement « plane » - l'altitude varie de 126 à 136 mètres - sur le plateau crétacé recouvert de formations superficielles, comportant des limons des plateaux de faible épaisseur et de l'argile résiduelle à silex.

L'agglomération du Vieil-Evreux a une fonction religieuse évidente. Ce grand sanctuaire rural (fig.J1) renferme dans un polygone de près de six kilomètres de périmètre un temple gigantesque (au centre du village actuel), un théâtre, un forum, d'autres temples secondaires, un aqueduc en provenance de l'Iton, ainsi que des thermes (Guyard 1997, Guyard et Lepert 1999).

Bien avant les premières fouilles, l'importance et l'étendue du site ne passaient pas inaperçues, les ruines des constructions antiques s'inscrivaient encore dans le paysage. Les premières recherches archéologiques remontent à 1801, dirigées par François Rever. De nombreuses autres investigations suivirent, de façon discontinue, jusqu'à une campagne de 1973 à 1978, dirigée par Pierre Roussel. En parallèle, des prospections au sol et aériennes ont permis d'affiner la vision globale du site (Cliquet et *al.* 1996).

Les thermes, propriété du Conseil Général de l'Eure, constituent l'un des vestiges les mieux conservés du complexe cultuel. Dans le cadre d'un projet de mise en valeur de cet édifice, le Conseil Général de l'Eure a engagé en 1996 une nouvelle campagne de fouille. L'objectif de ces opérations était d'une part de parvenir à l'évaluation de « l'état de santé » des thermes en vue de sa mise en valeur (jardin archéologique), et d'autre part de comprendre scientifiquement l'évolution de cet édifice dans son environnement proche, tout en dégagant peu de vestiges afin de préserver cet ensemble monumental sous la forme d'une réserve archéologique (Guyard 1998).



Fig.J1. Plan du sanctuaire rural du Vieil-Evreux (document SRA Haute-Normandie).

1.2. L'édifice

L'édifice thermal du Vieil-Evreux est tripartite (fig.J2). Une cour de service, au sud, dessert un grand bâtiment central compartimenté, auquel une palestres, c'est à dire un terrain d'exercices, est accolée au nord.

L'édifice est symétrique selon un axe nord-sud. La cour sud possède deux tours d'entrée dans les angles (A), qui permettaient de se rendre dans les latrines (B) ou d'aller directement dans le bloc thermal par deux couloirs (C). En entrant dans le balnéaire on trouvait un vestibule ou vestiaire (H), transformé ultérieurement en salle froide avec deux piscines au nord et au sud. De là, on pouvait se diriger dans la palestres ou dans les autres salles. On traversait tout d'abord la salle froide ou *frigidarium* (G), transformée ultérieurement en salle chaude, puis l'on passait dans la salle tiède ou *tepidarium* (F), carrée, sur hypocauste, avant d'atteindre la salle chaude ou *caldarium* (E), sur hypocauste, au plan en croix avec sans doute deux piscines au nord et au sud. La pièce centrale, la chaufferie (D), comporte deux foyers ou *praefurnia* dont la sole est formée de briques posées de chant. Chacun de ces foyers assurait le chauffage de l'air et de l'eau d'une des deux ailes thermales.

Une série de pièces a été accolée à ce plan d'origine. Il s'agit des salles rondes (J), vraisemblablement des vestibules chauffés, ayant leur chaufferie propre (N). Les autres pièces rajoutées aux thermes sont S, T, U et V. Il devait s'agir de vestiaires, de salles de massage, de jeu...

Les thermes possèdent un double réseau d'égouts. Les pièces sur hypocauste et la chaufferie centrale sont entourées d'un égout périphérique (réseau supérieur) qui recueillait les eaux des piscines froides et chaudes, mais aussi sans doute en partie les eaux de la palestres. Il se vidait dans une canalisation voûtée au niveau de la cour sud, qui se répartissait en deux branches non voûtées dans le corps de bâtiment sud, servant de collecteur aux latrines. Ces deux canalisations se réunissaient au niveau de la tour sud-est, avant de sortir dans le vallon. Le réseau inférieur, moins bien appréhendé, passerait sous la chaufferie avant de longer le sud de la partie orientale du bloc central. Il pourrait être alimenté par un drain placé sur l'axe de symétrie de la palestres (Guyard 1998).

Les piles d'un aqueduc sont visibles dans la cour sud (Fig.J3). Cet aqueduc est orienté le long des thermes suivant un axe est-ouest. Il alimentait l'édifice en eau, *via* un parcours complexe dont l'origine semble se trouver 20 km plus au sud.

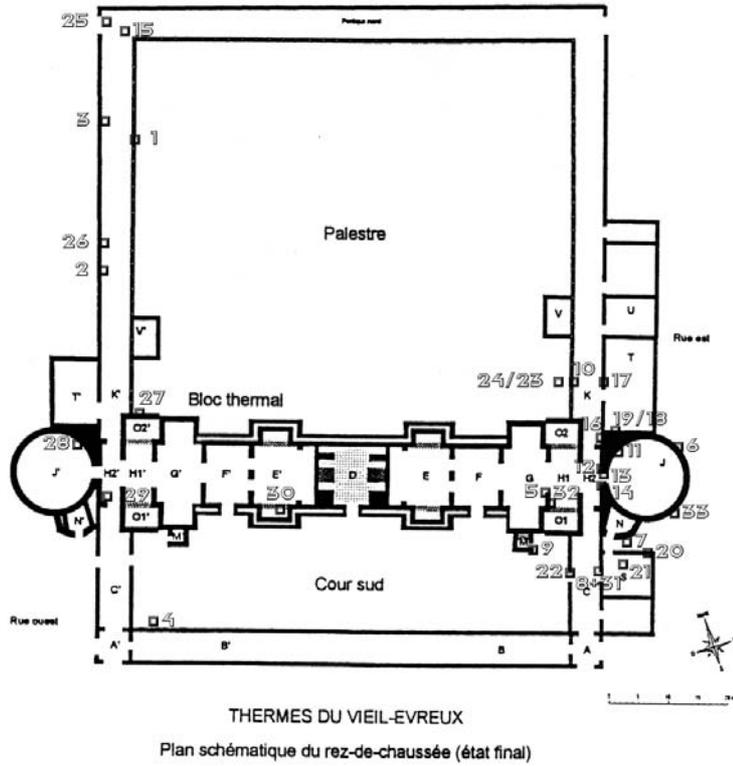


Fig.J2. Plan des thermes et points de prélèvements de la campagne d'échantillonnage de septembre 2000 (TVE 1 à TVE 33).



Fig.J3. Vue, depuis l'est, de la tour d'entrée A', des égouts des latrines B' et, au premier plan, des piles de l'aqueduc de la cour sud.

2. Résultats : la typologie

Le nombre important de prélèvements (environ 180, dont une vingtaine seulement en démolition) et la diversité des mortiers nous obligent à un effort de synthèse. Les caractéristiques principales des types de mortier sont reprises dans les tableaux J4a et J4b. Nous présenterons toutefois les différentes familles de mortier et les types isolés.

La famille des **mortiers grossiers beige rosé (BR)** est caractérisée, comme son nom l'indique, par la texture grossière et la couleur claire des mortiers qui la composent. L'essentiel du granulat est constitué de grains de quartz et de silex. Le type BR 1 montre une richesse plus importante en silex que BR 2 tandis que les mortiers du type BR 2 se marquent par leur teneur notable, mais secondaire, en tuileau. Ce sont les silex et le tuileau qui donnent aux mortiers de cette famille leur texture grossière. Des éléments (ou « traits ») argileux rubéfiés sont présents, mais peu fréquents.

La famille des **mortiers rose orangé (RO)** est caractérisée par une texture plus fine et par une coloration orangée : la couleur des mortiers de cette famille varie du rose pâle orangé (RO 3), à l'orange foncé (RO 2), en passant par le rose orangé (RO 1). L'essentiel du granulat est constitué de grains de quartz. La teneur en silex est variable, toujours assez faible, plus importante pour le type RO 3. La présence des tuileaux est toujours anecdotique. Les traits argileux rubéfiés sont au contraire abondants ; la proportion d'argiles d'illuviation sur le pourtour des grains de quartz est la plus importante pour le type RO 2 (voir fig.I.6), et la moins importante pour le type RO 3 où l'on observe plutôt quelques nodules argilo-sableux. La kaolinite a été identifiée par diffraction des rayons X, sur plusieurs échantillons de RO 1. L'analyse en fluorescence X, au MEB, a révélé dans ces mortiers la présence de composés pouzzolaniques (cf. chap. I.3.2d).

La famille des **mortiers jaunes (JB)** est caractérisée par une texture fine (spécialement JB 3) et par une coloration jaunâtre : les mortiers de cette famille montrent une couleur variant du jaune beige (JB 1 et 3) au jaune brun (JB 2). Le granulat est essentiellement constitué de quartz. On trouve peu de silex et de tuileau dans le type JB 1 et aucun dans le JB 2. L'aspect le plus caractéristique est la présence d'éléments argileux parfois rubéfiés (JB 2), mais surtout de couleur jaune.

Types	Couleur du liant	Proportion chaux/granulat	Quartz	Silex	Argile d'illuviation	Tuileau	Utilisations	Remarques
BR 1	Blanc terne rosé	1:2	25-30 %	25 %	< 5 %	< 5 %	MM	
BR 2	Beige rosé	1:2	30-35 %	20 %	5 %	5 %	MM et enduit	
RO 3	Rose pâle orangé	1:2	25-30 %	5-10 %	10 % (nodules)	5 %	MM	
RO 1	Rose orangé	1:2	40 %	5 %	5-10 %	< 5 %	MM	
RO 2	Orange foncé	1:2	40 %	5 %	10-15 %	< 5 %	MM	
JB 2	Jaune brun	1:2	40 %	5 %	10 %	< 5 %	MM	
JB 1	Jaune beige	1:2	45 %	5 %	10 %	5 %	MM	
JB 3	Jaune beige	1:2	45 %	5 %	10 %	5 %	Sols et seuils	Quartz très fins (autour de 250 µm)
MS 1	Beige brun	1:2	5-10 %	45 %	< 5 %	5 %	Liant de claveaux et enduit (?)	
ARC 44	Beige	1:2	35-40 %	10 %	5 %	5 %	Huisseries de fenêtre ?	Orientation du granulat. Nombreux grumeaux

Tabl.J4a. Types de mortier de chaux et de sable des thermes du Vieil-Evreux.

MM : Mortier de maçonnerie

Type	Couleur du liant	Proportion chaux/granulat	Quartz	Silex	Argile d'illuviation	Tuileau	Calcaire	Utilisations	Remarques
MT 1	Rose saumoné	1:2,5	10 %	< 5%	-	50 %	-	Enduit et sol	
MT 2	Blanc rosé	1:2	< 5 %	-	-	40-45 %	-	Enduit	Des grumeaux
MT 3	Blanc	1:2	< 5 %	-	-	40-45 %	-	Enduit	Tuileaux millimétriques
MT 4	Beige saumoné	1:2	5-10 %	-	-	50 %	-	Sol et <i>suspensura</i>	Tuileaux micrométriques et millimétriques
MT 5	Blanc cassé	1:2	-	-	-	55 %	-	<i>Suspensura</i>	Tuileaux variés, millimétriques à centimétriques
MTS 1	Rose beigeâtre	1:2	35 %	5 %	5 %	20 %	< 5 %	MM	Présence de fragments de mortier RO 1
MTS 2	Rose beige clair	1:2	15-20 %	< 5%	< 5 %	15 %	15 %	Seuil	
BG	Blanc	1:3	< 5 %	-	-	< 5 %	> 50 %	Sol	

Tabl.J4b. Types de mortier et béton de chaux des thermes du Vieil-Evreux.

Les **mortiers de tuileau (MT)** ont été regroupés en cinq types principalement caractérisés par leur couleur et par la proportion et la dimension des tuileaux. La teneur en quartz est toujours faible. La couleur est généralement proche du blanc ou du rose. La gamme des tuileaux se caractérise par sa diversité (visible par exemple en macroscopie par la variation de leur coloration, du vert au brun foncé). Celle-ci est moins marquée pour le type MT 5 pour lequel la coloration des fragments de terre cuite reste proche du brun.

Les **mortiers de tuileau et de sable (MTS)** se divisent en deux types bien distincts. L'un des deux, MTS 2, se caractérise par une teneur en sable et gravillons de calcaire qui est originale pour le site. Ils présentent cependant une même caractéristique, la teneur en tuileau étant inférieur à celle du sable naturel.

Le mortier de type **MS 1** est particulier, puisqu'il est le seul présentant un mélange de chaux et de fragments anguleux de silex, de la dimension des sables. Sa coloration est beigeâtre, proche du brun.

Le mortier défini par l'échantillon **ARC 44**, de couleur beige, est de composition proche des familles RO ou JB, mais la teneur en argile d'illuviation est moins importante et la granulométrie du sable est légèrement plus grossière.

Les **bétons grumeleux blancs (BG)** sont caractérisés par une très faible teneur en granulats fins, composé de quelques tuileaux et quartz. La charge est constituée d'un cailloutis de calcaire lutétien (cf. *infra*).

3. Discussions

3.1. Compositions et utilisations

Nous avons reporté dans les tableaux J4 les différentes utilisations reconnues pour chaque type de mortier. Nous avons repéré quatre types de mortier dévolus à la fonction d'enduit (non peint). Le type BR 2 tout d'abord, qui a été employé durant la construction, sur les maçonneries utilisant ce même type de mortier, nous montrant la faculté et la liberté des maçons de l'époque d'employer si besoin le même mortier en enduit qu'en maçonnerie, pour protéger le mur non encore terminé.

Les autres exemples correspondent à des mortiers de tuileau, employés pour des structures « hydrauliques » (égouts principalement). Le support des enduits de protection est

constitué, suivant sa position, de une à trois couches de mortier de tuileau. Les assemblages stratigraphiques repérés sont, du revers à l'avant (la surface) :

- EN 01 (égout sup. nord, salle E) → MT 1 et MT 2
- EN 02 (salle G sur élévations) → MT 1
- EN 03 (salle G sur fondations) → MT 1
- ARC 18 (latrines ouest) → MT 3
- ARC 19 (latrines ouest) → MT 1 et MT 3
- ARC 24 (égout sup. sud, en limite salles E et F) → MT 1 et MT 3
- ARC 25 (égout sup sud, salle D) → MT 1 et MT 3
- ARC 28 (égout sup. nord, salle E) → MT 1 et MT 3
- ARC 29 (égout sup. nord, salle E) → MT 1, MT 2 et MT 3
- ARC 40 (latrines ouest) → MT 1

La stratigraphie est assez complexe pour les égouts, avec un minimum de deux couches. Elle semble plus simple pour les salles du balnéaire (en particulier la salle froide puis chaude G), avec une seule couche de mortier de tuileau (type MT 1).

Le point le plus surprenant est la succession de couches à granulométrie croissante de la paroi vers l'extérieur. Si l'on veut mettre en parallèle les enduits de protection et les enduits peints, signalons que les prescriptions ou pratiques relatées par Vitruve (*De Architectura*, VII, 3) pour le support des peintures murales indiquent une succession de couches à granulométrie décroissante (l'inverse donc) ; ces prescriptions se vérifient d'ailleurs fréquemment. La décroissance semble aussi être la règle pour nombre de sols antiques, notamment pour ceux recouvert d'un dallage. Mais ici aucun recouvrement n'est à signaler.

C'est au total quatre mortiers et bétons qui ont été identifiés dans la catégorie des « sols ». Chacun répond à une utilisation sensiblement spécifique, pour une période donnée dans l'ensemble des phases de construction et transformation des thermes. Tout d'abord nous avons les bétons de graviers calcaires (BG), sur radier de rognons de silex liés à la chaux, mis en œuvre une fois l'édification des thermes effective. On les retrouve dans les portiques, couloirs et latrines, ainsi que dans le premier état des salles H et H', les seules du balnéaire ne possédant pas de *suspensura*. La composition de ce béton blanc s'explique à la fois par sa fonction (niveau de circulation) et par la géologie locale qui fournit le cailloutis de calcaire lutétien, appelé « cron » dans la région (cf. *infra*). Lorsque la fonction change, avec la transformation des vestibules H et H' en salles froides (avec des bains), la composition du sol change en un mortier de tuileau, ayant fait ses preuves puisque l'on retrouve le type MT 1 qui est employé en enduit dès la première phase de construction. Mais ce mortier, assez fin, n'est

pas directement en contact avec les clients (peut-être n'aurait-il pas résisté d'ailleurs), il supporte et fixe un ensemble de dalles de calcaire fin. L'emploi au sol de ce type se retrouve dans une marche d'accès au bassin O2', là aussi recouvert d'un dallage. Un autre mortier, d'une très grande finesse, apparaît lors de la deuxième phase d'adjonction, celle des salles collées aux portiques. Il s'agit du type JB 3. Le tuileau ne rentre pas dans sa composition, ce qui nous conforte dans l'idée d'une utilisation annexe de ces salles ou, inversement, ce qui peut s'expliquer par l'activité non balnéaire de ces salles (d'après les interprétations archéologiques). Le tuileau ne semble avoir été utilisé, pour les enduits et les sols des thermes, que dans le cadre de structures hydrauliques ou appartenant aux salles du balnéaire (les vestibules exclus). Il faut toutefois signaler son emploi pour le sol de la chaufferie N', avec le type MT 4.

Le type MT 5 est le seul type de mortier (ou béton) assuré d'appartenir à une chape de *suspensura*. Il s'agit du matériau présentant la texture la plus grossière observé sur le site. Ce type semble caractériser les premiers ouvrages maçonnés une fois la partie centrale bâtie. Le type MT 4 a été identifié dans un morceau supposé de *suspensura* découvert en démolition. Nous subodorions que ce type se plaçait chronologiquement dans la première phase de transformation, puisqu'il fut repéré dans le sol de la chaufferie N'. C'est dorénavant assuré puisque nous l'avons retrouvé dans les maçonneries des salles O' et, en partie, J. Les niveaux maçonnés de *suspensura* au type MT 4 doivent donc appartenir aux salles J ou J', ou bien G ou G', les seules présentant un hypocauste de deuxième génération.

Deux mortiers recouvrent la fonction de seuil, pour deux périodes distinctes. Le type MTS 2 n'est manifestement mis en œuvre qu'au niveau des seuils (au moins à l'est) permettant la communication entre les nouvelles salles rondes et les salles H et H' transformées. La composition est surprenante avec à la fois du tuileau, des éléments calcaires et d'autres siliceux, à croire que l'emplacement du seuil entre une salle du balnéaire (ancien vestibule, nouvellement salle froide) et un vestibule chauffé, en plein dans une trouée d'un mur périphérique maçonné avec un mortier de sable siliceux, pourrait avoir incité les maçons à préparer un mortier à la composition à la parfaite jonction de ces trois structures (de leur fonction et de leurs mortiers associés) ! Le deuxième mortier de seuil est de type JB 3. Ce mortier, au sable très fin, nous semble peu convenir pour un mortier de seuil, et de sol (cf. *supra*), du fait de sa fragilité. Peut-être ce mortier supportait-il un dallage.

Le domaine des mortiers de maçonnerie pose un double problème : l'hétérogénéité de la formation source du granulats couplée à la persistance d'une recette simple de mortier de

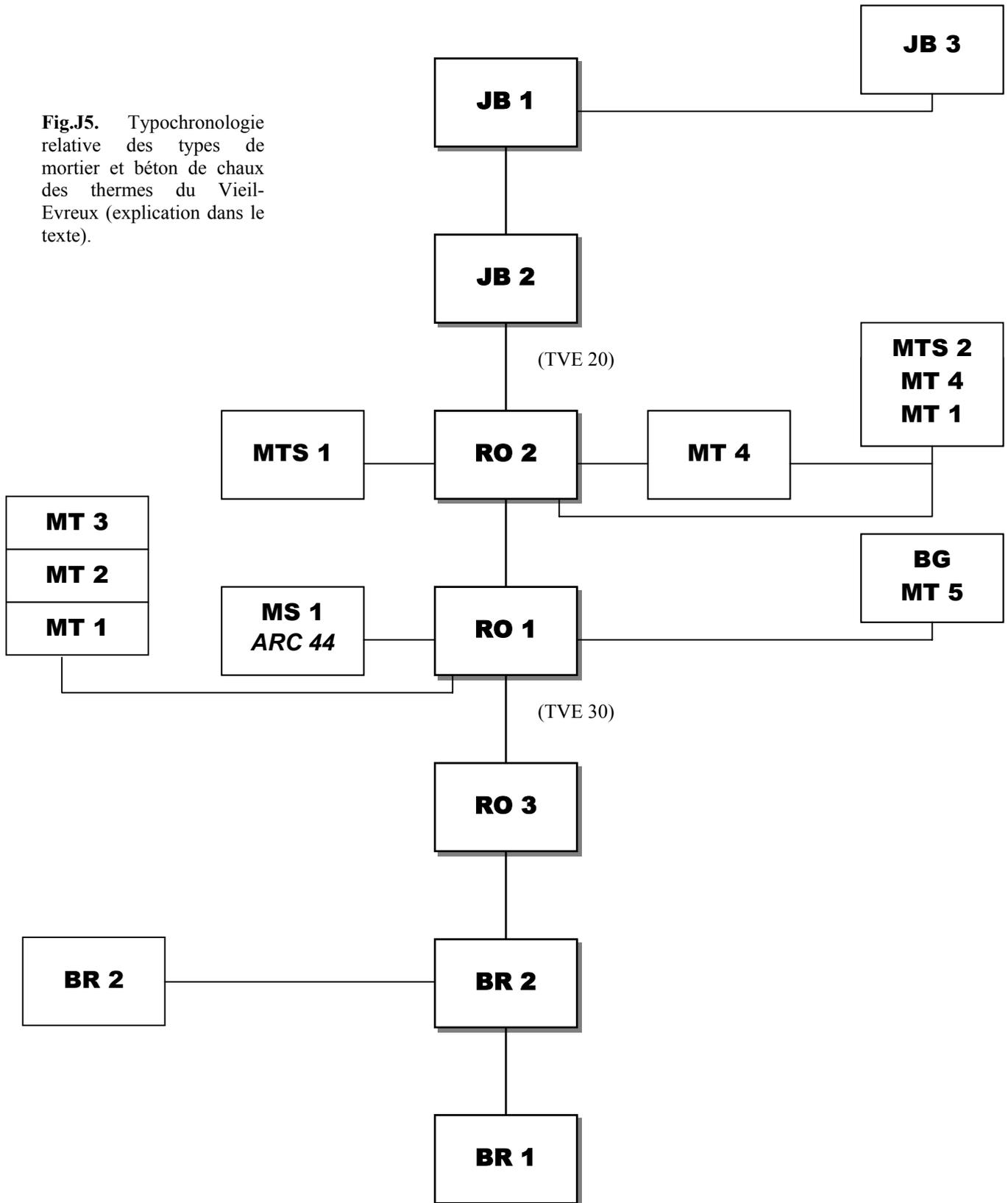
construction, et la spécialisation de types particuliers de mortier en relation avec une destination architecturale précise. Nous aborderons le domaine des mortiers sableux des murs plus précisément dans le chapitre suivant, toutefois nous pouvons affirmer que la recette de ces mortiers n'évolue pas dans toute la continuité de la construction des thermes et des phases d'adjonctions. Il n'en est pas de même pour les autres fonctions primaires liées à l'érection des murs. En effet, nous observons plusieurs types de mortier pour les fonctions spéciales, telles que liants des briques d'une voûte ou mortiers d'huissierie de vitrage. On comprend assez mal que les voûtes, au liant de type MS 1, et les huisseries, au mortier de type « ARC 44 », n'aient pas été préparées avec le même mortier que les murs avoisinants et porteurs, assurément de type RO 1. Une deuxième équipe de maçons était peut-être spécialisée dans ce type d'ouvrage, mais il nous semble plutôt que ces structures particulières ont bénéficié d'un soin tout spécifique lié sans doute à leur statut de vitrine de la maîtrise d'art des bâtisseurs romains.

3.2. La construction et les transformations de l'édifice : typochronologie

Un diagramme stratigraphique a été établi. La colonne centrale de la figure J5 correspond à l'enchaînement chronostratigraphique des types de mortier de construction des murs. La fouille a permis de montrer que la construction des thermes s'est effectuée par étapes. L'édifice a ensuite subi plusieurs phases de transformation.

La construction s'est étalée sur une période relativement importante et a nécessité un grand volume de matières premières. L'hétérogénéité de la formation sableuse exploitée permet de suivre ces étapes de la construction, malgré l'emploi continu d'une même recette, fort simple puisqu'il s'agit simplement de mélanger un volume de chaux avec deux volumes de sable. En effet, l'observation en microscopie optique nous a montré que la nature du granulat employé dans les mortiers de maçonnerie ne changeait pas. La teneur, la composition et la granulométrie du sable siliceux sont relativement égales dans toute la continuité des phases de construction établies par l'archéologue, du premier type de beige rosé (correspondant aux fondations du balnéaire) jusqu'au dernier type de jaune (maçonneries des salles annexes accolées à la palestres). Les changements dans la texture des mortiers sont principalement dus aux variations de la teneur en silex, et secondairement en tuileau. Les variations de coloration se corrélaient avec la proportion, la finesse et la rubéfaction des traits argileux (nodules, papules et revêtements).

Fig.J5. Typochronologie relative des types de mortier et béton de chaux des thermes du Vieil-Evreux (explication dans le texte).



Enduits

« Maçonneries » : murs, voûtes, huisseries...
(échantillon marquant la transition de deux types)

Sols, *suspensurae*
et seuils

L'analyse microscopique nous permet donc de faire ressortir la filiation des mortiers. Les variations observées semblent pouvoir s'insérer dans un continuum, avec diminution graduelle de la teneur en fragments de silex et l'augmentation de la proportion d'argile, peu à peu moins intensément colorée. L'évolution des mortiers de maçonnerie apparaît comme continue et progressive. Cette progression cohérente, corrélée avec l'évolution du site lui-même (avec la chronologie relative des maçonneries), nous incite à penser que l'extraction du granulats s'est effectuée en un même et unique lieu ; les différences perceptibles dans les fractions grossières et fines pourraient correspondre à un approfondissement par paliers successifs, ou bien à des variations latérales de faciès, dans la formation géologique source du granulats (les « sables de Lozère », cf. *infra*). Ainsi, les différences notées dans la nature des mortiers ne sont pas liées à une évolution technologique, mais à une hétérogénéité du gisement d'origine.

La figure J5 nous montre les relations chronologiques (chronologie relative) des différents types de mortier des thermes. Elle a été obtenue principalement par observation de la stratigraphie des types et de l'accrochage des maçonneries. Elle se divise suivant les trois grandes fonctions des liants : mortier d'enduit, de « maçonnerie » (murs) et de sol. La mise en place des enduits et des sols est supposée intervenir après la fin de l'élévation des murs des salles (contemporains donc, mais techniquement postérieurs aux murs). Les mortiers dévolus à des fonctions particulières, telles que la construction d'une voûte (MS 1) ou d'une fenêtre (ARC 44), sont considérés comme techniquement contemporains de l'élévation des murs. Ce diagramme nous permet de restituer l'histoire de la construction des thermes (voir fig.J6).

La construction des thermes commence avec un mortier de type BR 1, que l'on retrouve uniquement dans les maçonneries de la partie centrale des thermes, le balnéaire au sens strict. Ce mortier laisse sa place au type BR 2 à un niveau architectural bien précis, celui des *suspensurae*. Ce nouveau type semble peu employé pour le balnéaire, puisqu'on ne le retrouve que pour une faible élévation dans le mur de séparation de G et H. Il est par contre le mortier mis en œuvre pour le début de la construction des portiques latéraux de la palestine. On l'y retrouve en fondations et, localement, en enduit (ce qui fait penser à un arrêt de l'édification, peut-être saisonnier). L'élévation des murs du balnéaire se poursuit avec le type RO 3. A ce moment, le système d'égout inférieur de la cour sud est déjà escompté, car une partie (bizarrement la partie sud) est elle aussi maçonnerie avec le type RO 3.

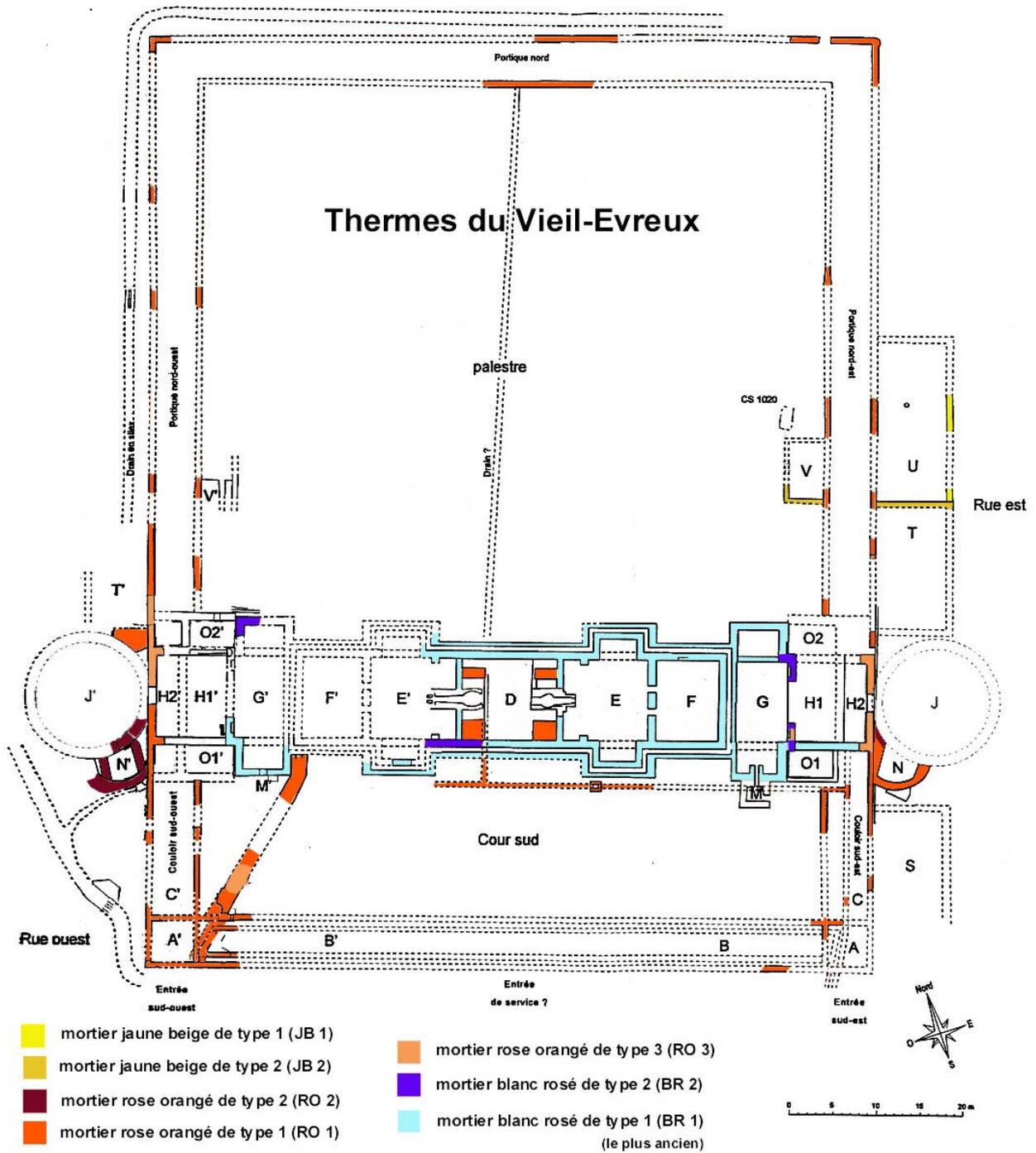


Fig.J6. Cartographie de « surface » des types de mortier sableux des thermes du Vieil-Evreux pour les structures dégagées à la fin de la campagne de fouilles de 1999.

Le type RO 3 évolue vers le type RO 1. La transition se produit lors de l'élévation du balnéaire, ce dont témoigne l'échantillon TVE 30, et ce que confirme l'étude des portiques de la palestres et de la cour sud qui sont maçonnés avec un mortier de type RO 1 « standard » (déjà bien coloré). On ne se lance dans la construction de la palestres et de la cour sud (avec le réseau des égouts) que lorsque la partie centrale voit sa terminaison proche des cieux (des fragments de RO 1 ont été retrouvés en démolition dans le balnéaire). La mise en œuvre des mortiers d'enduit (n'oublions pas non plus les enduits peints), de *suspensura* (MT 5) et de sol intervient lorsque les thermes sont intégralement construits (partie centrale, palestres et cour sud, ainsi que les différents égouts). On retrouve les bétons blancs de circulation dans chaque partie des thermes (BG), et les mortiers d'enduit MT 1 et/ou MT 2 et/ou MT 3, sur les parois des égouts inférieurs et supérieurs. Les structures particulières telles que voûtes, fenêtres et toitures ont été posées lors de l'érection des murs les supportant (avec MS 1 et le mortier correspondant à ARC 44).

Les thermes sont terminés et fonctionnels. Mais très vite ils paraissent trop petits, pas assez développés, manquant de salles chaudes...? Quelle que soit la raison, qu'elle soit liée à un développement naturel du bâtiment ou à des problèmes de fonctionnement, elle semble avoir été rapidement perçue puisque les phases de transformations et adjonctions de salles font appel pour partie à des mortiers (ou des recettes) déjà employés.

Les salles G et G' se transforment de salles froides à salles chaudes, avec construction des chaufferies M et M'. Les vestibules H et H' deviennent des salles froides avec de petites piscines latérales (notées O). La fonction de vestibule est alors reprise par de nouvelles pièces (J et J'), rondes, chauffées par les salles de chauffe N et N'. Cette description indique les transformations partantes du cœur vers la périphérie. Mais dans l'absolu, il est difficile d'affirmer s'il y a réellement eu une succession de transformations ou si elles sont intervenues en une seule et même phase, ou même, hypothèse plus hasardeuse, si les bouleversements d'un côté des thermes n'ont pas répondu aux bouleversements de l'autre. Nous penchons pour notre part pour la deuxième hypothèse évoquant une phase unique de transformations et adjonctions, car nous avons retrouvé le type MT 4 à la fois dans O2', J et N, et le type MT 1 dans H2 et O2' (pour la marche d'accès au bassin).

Toutefois, nous pouvons formuler une remarque concernant les salles rondes et leurs massifs de maçonnerie au nord ou au sud (limite de la salle N) : la construction de ces structures extérieures a débuté avec le type RO 1 (dernier mortier de la phase initiale de construction des thermes). Ce type disparaît ensuite au profit du type RO 2, spécifique à ces

pièces. L'emploi du type RO 1 nous fait penser que cette phase de transformations et adjonctions est intervenue très rapidement après la fin du premier programme architectural. Ceci expliquerait alors l'emploi du type MT 1 caractérisé lui aussi par cette double appartenance. Le changement RO 1 – RO 2 interviendrait alors suite à un arrêt du travail de maçonnerie, peut-être lié à la période de l'année (arrêt pour la saison hivernale) ou à des problèmes de financement (tout évergétisme a ses limites, même celui des autorités), la formation géologique pouvant encore être exploitée durant cette période pour la construction d'autres bâtiments, éventuellement considérés comme prioritaires (la priorité étant peut-être donnée à la construction, plutôt qu'aux rénovations).

La construction des salles rondes J et J' se fait donc avec le type RO 2. Localement, nous avons retrouvé le type MT 4 dans la maçonnerie, semblant correspondre à un lit de pose (?), à un niveau particulier (fig.J7).

Un des seuils avérés est celui que l'on retrouve entre H2 et J, maçonné avec le type MTS 2. C'est le seul endroit, avec les murs de M et M' (cf. *infra*), où l'on retrouve un mortier présentant un tel mélange, rare pour le site bien qu'assez courant dans les cortèges de mortiers gallo-romains.

Les salles H sont divisées en deux, avec mise en place d'un nouveau sol en mortier de type MT 1, et se voient complétées au nord et au sud par de petits baigns maçonnés avec le type MT 4, aux marches d'accès préparées avec le type MT 1.

L'évolution se traduit pour les salles G et G' par l'adjonction de bassins au nord et au sud, chauffés par les salles M et M' accolées au sud. Ces chaufferies sont maçonnées avec le type MTS 1. Nous y avons trouvé des fragments plus ou moins grossiers de mortier de type RO 1. Ces éléments doivent probablement provenir des murs détruits à l'occasion de la transformation de ces salles.

La dernière phase d'agrandissement des thermes se traduit par l'adjonction de salles en bordure des portiques latéraux de la palestine (à l'intérieur et à l'extérieur de celle-ci) et des couloirs latéraux de la cour sud (à l'extérieur de celle-ci). Les maçonneries des pièces S, T, U et V sont caractérisées par l'emploi de mortiers de la famille des Jaune Beige. La composition de ces mortiers témoigne d'une évolution naturelle de la formation meuble exploitée pour fournir le granulat, les éléments argileux perdant de leur rubéfaction, ce qui peut être interprété comme un approfondissement de l'excavation. Si l'on se fonde sur l'hypothèse d'évolution continue et univoque des types de mortiers de maçonnerie, la chronologie relative

de mise en place de ces nouvelles structures peut être esquissée¹. La première salle à être bâtie serait la pièce S, tout contre le couloir sud-est, à l'extérieur du périmètre de la cour, avec un mortier faisant la transition entre RO 2 et JB 2 (l'échantillon TVE 20 témoignerait d'un passage progressif entre ces deux types). Viennent alors les salles T et V avec le mortier de type JB 2, certainement très vite suivies par la salle U, au mortier de type JB 1. On reconstitue donc une progression sud – nord pour la mise en place des salles annexes.

L'édification de ces salles se termine par la préparation des sols, et nécessite la construction d'accès aux structures antérieures. Les sols et les seuils sont maçonnés avec le type JB 3, à la composition liée à une possible évolution de la formation et, peut-être, recherchée pour répondre à sa fonction s'il supportait un recouvrement.



Fig.J7a. Echantillon TVE 33 montrant le contact entre les types RO 2 (base) et MT 4 (partie supérieure).

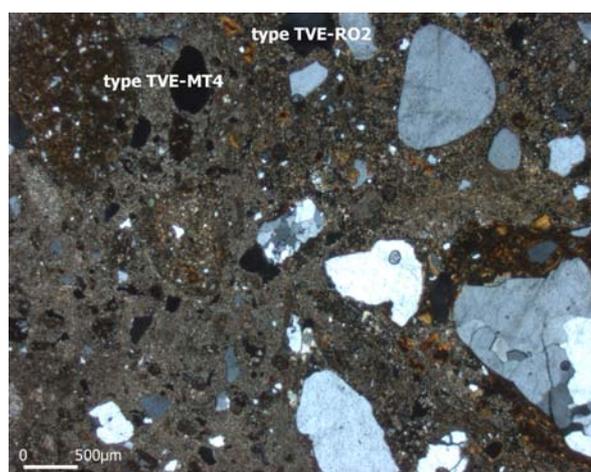
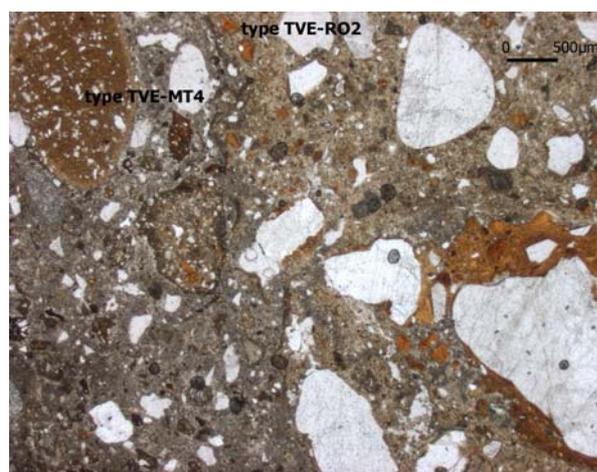


Fig.J7b. Contact en microscopie optique entre les types de mortier RO 2 et MT 4. Un nodule argilo-sableux est visible dans RO 2. Plusieurs natures de tuileau s'observent dans MT 4. LPNA (à gauche) et LPA (à droite).

¹ Du moins pour celles échantillonnées, présentes à l'est.

3.3. L'origine des matières premières

Le Vieil-Evreux se situe sur un plateau crayeux recouvert de formations superficielles argileuses et limoneuses, sur lequel on peut observer à l'est et au nord-est les limites actuelles d'érosion de formations tertiaires calcaires et sableuses. Ce plateau est délimité par deux rivières, l'Eure à l'est et l'Iton à l'ouest.

La craie, si elle n'est point trop marneuse, est communément utilisée pour la fabrication de la chaux (Vicat 1853). En ce qui concerne l'exploitation de la pierre à chaux lors de la construction des thermes, on ne peut donc exclure l'idée de l'extraction de la craie blanche du Campanien, présente à proximité du site (l'affleurement le plus proche est à moins d'un kilomètre du site). Mais face à la proportion importante de moellons de calcaire lutétien utilisés pour la construction des thermes, et suite à la découverte dans les lames minces de fragments frais (cailloutis) et altérés (incuits ou mal-cuits) de ce même calcaire, nous nous sommes plus amplement intéressés à la formation lutétienne (fig.J8). Le Lutétien supérieur présent dans cette région y est connu sous la forme d'un ensemble soit de tablettes, soit de petits blocs (découpage par l'altération). Ce dernier ensemble nous est apparu plusieurs fois sous l'aspect d'un niveau de petits cailloux calcaires au-dessus de la formation lutétienne compacte, appelé localement le « cron » (fig.J9). Ce sont ces petits blocs calcaires, de 1 à 5 cm de diamètre en général, que l'on retrouve aussi bien en éléments de blocage à l'intérieur des maçonneries que dans les bétons de sol. De toute évidence, ce calcaire lutétien assez blanc et dur présentait aux yeux des constructeurs des thermes de nombreux avantages et de nombreuses facilités. Son utilisation antique comme « pierre à chaux » est parfaitement envisageable, son emploi pour la fabrication de la chaux lors de la construction des thermes l'est tout autant. Cette utilisation est au demeurant fort logique, si l'on se place à la fois dans une perspective économique et technique, les ouvriers faisant ainsi « d'une pierre deux coups ».

Parmi les formations sableuses tertiaires se retrouvant sur le plateau, les sédiments naturels ont livré les sables de Lozère datant de la base du Pliocène (Pliocène inférieur). Ces sables correspondent à un faciès d'épandage continental, à mettre en relation avec les divagations fluviales de la Seine (pré-Loire – pré-Seine ; Doré *et al.* 1987). Ils sont constitués de grains de quartz millimétriques non usés (quartz gros sel) mélangés à une argile ferrugineuse à kaolinite et montmorillonite (Pomerol *et al.* 1977). On y trouve les éléments de décomposition des granites, d'où leur comparaison avec une arène granitique et leur appellation de « sables granitiques ». On y trouve aussi des débris de silex de la craie.

Les sables de Lozère présentent plusieurs faciès de remaniement : sables fins mimétiques des sables de Fontainebleau, sables verts, sables argileux et argile bariolée. Nous avons maintes fois retrouvé ces deux derniers types sur le plateau, notamment au sud du Coudray (à trois kilomètres à l'ouest des thermes). Nous avons observé en ce point, au lieu-dit « les Cailloux », la formation de Lozère argilo-sableuse rubéfiée se trouvant en position stratigraphique sur l'argile résiduelle à silex et la craie, à 2 m de profondeur sous les limons des plateaux (fig.J10). Les échantillons ont révélé grâce aux lames minces la présence de quartz (nombreux millimétriques, arrondis et polycristallins) et quelques fragments de silex dans une matrice d'argiles kaoliniques rubéfiées (en revêtements des grains et remplissage de vides ; fig.J11).

Nous avons donc retrouvé, aux environs des thermes, les mêmes éléments de granulat que ceux présents dans les mortiers sableux. Une partie de la communauté des grains de sable contenus dans les mortiers fait pourtant référence aux formations des sables de Fontainebleau (sables quartzeux blancs, micacés, fins et anguleux du Stampien moyen) et de Cuise (sables quartzeux, blanc jaunâtre, à galets de silex, micacés et fins du Cuisien). Ceci s'explique par la reprise en épandage de ces formations plus anciennes par les sables de Lozère. Nous pouvons de surcroît écarter les formations stampienne et cuisienne, comme source du granulat, puisque nous n'y retrouvons pas les éléments caractéristiques des mortiers présents dans la formation des sables du Lozère (fig.J12), c'est à dire les quartz millimétriques de décomposition de roches métamorphiques et tectoniques, et les argiles dites « bariolées », à kaolinite surtout.

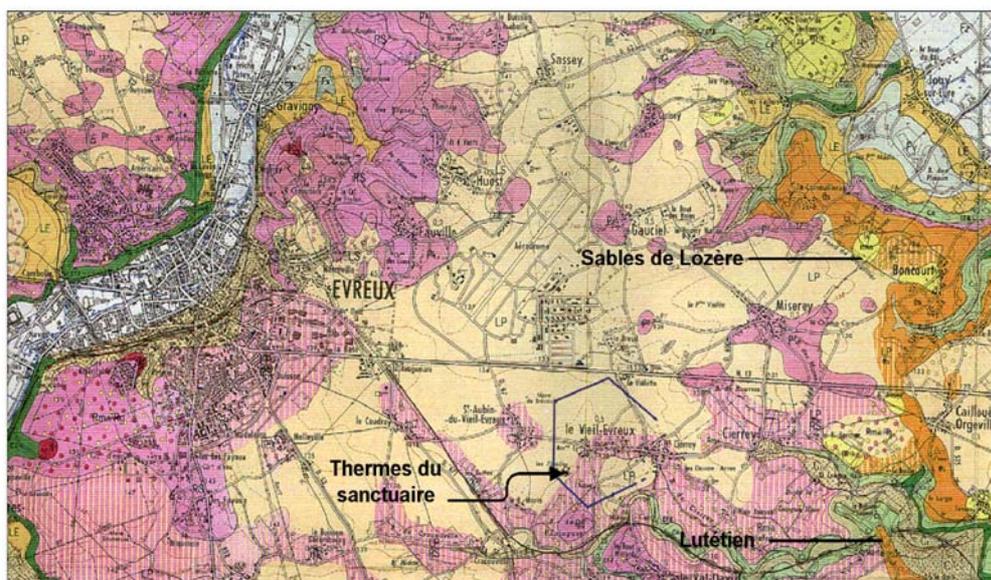


Fig.J8. Environnement géologique de la région d'Evreux (d'après la carte au 1/50 000).

Ainsi, pour la construction des thermes du Vieil-Evreux, les ouvriers se sont tournés vers l'est et le nord-est pour se fournir en moellons de calcaire lutétien (l'affleurement le plus proche est à quatre kilomètres du site), sans doute aussi utilisé pour la fabrication de la chaux. Le granulat naturel semble avoir été prélevé encore plus près du site, bien que tout le plateau puisse être considéré comme un lieu potentiel d'extraction.



Fig.J9. Niveau d'altération sus-jacent à la formation saine du calcaire du Lutétien : cailloutis centimétriques (le « cron »).

Fig.J10. Coupe dans les formations superficielles du plateau, au sud du Coudray, « les Cailloux ».



- Terre arable

- Cailloutis et limons argileux

- Limons organiques gris

- Limons argileux bruns

- Formation sablo-argileuse à argilo-sableuse (argiles bariolées) des « Sables de Lozère »

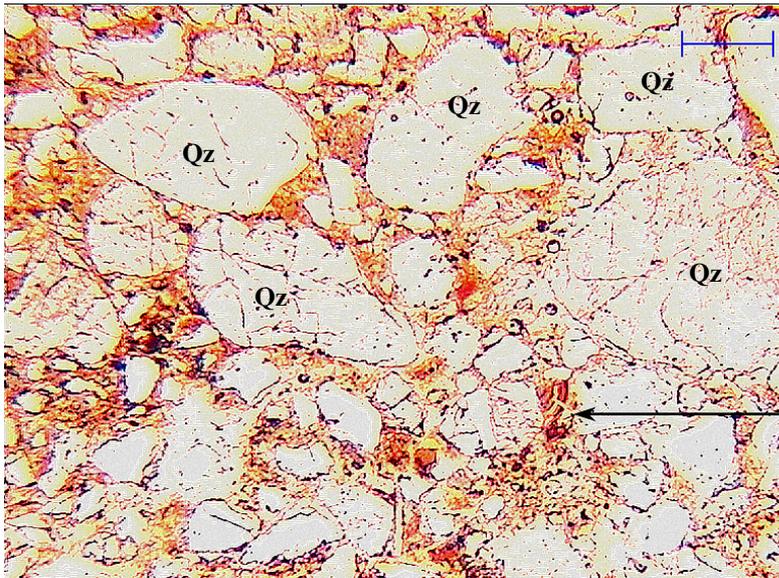


Fig.J11a. Formation des Sables de Lozère au lieu-dit « les Cailloux », montrant les grains de quartz englobés dans une matrice argileuse rubéfiée (à kaolinite). LPNA, (l'échelle mesure 500µm).

Revêtements
argileux

Fig.J11b. Idem. LNA.

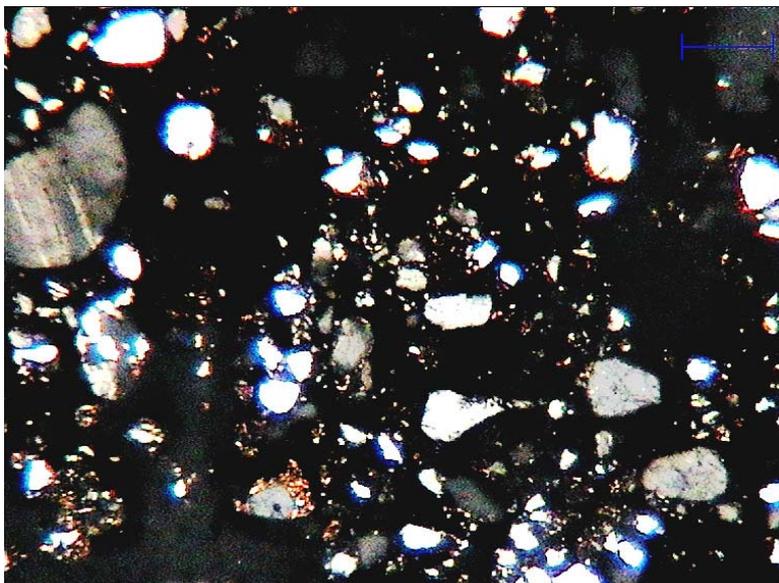
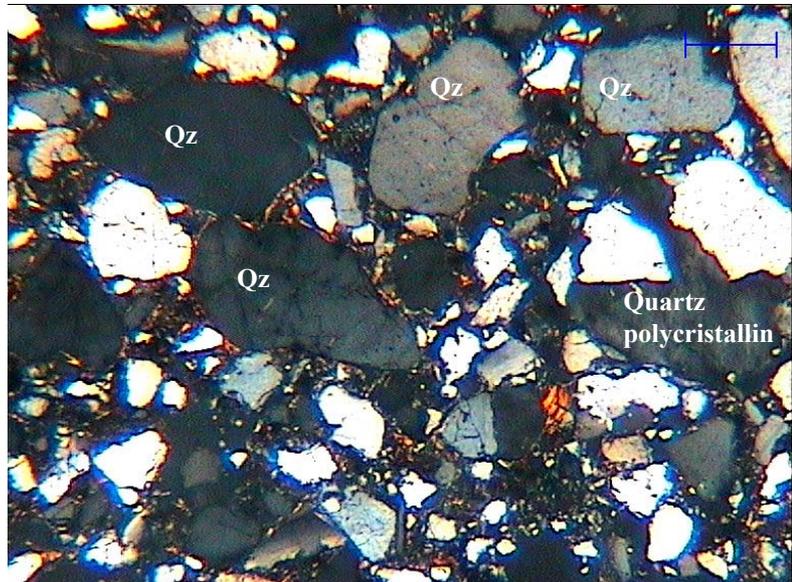


Fig.J12. « Frottis » de la formation des Sables de Fontainebleau (Stampien) prélevés à Arnières-sur-Iton (au sud d'Evreux), montrant les grains de quartz infra-millimétriques. LPA, (l'échelle mesure 500µm).

4. Conclusions

L'étude pétroarchéologique des mortiers de chaux des thermes gallo-romains du Vieil-Evreux a permis non seulement de définir avec précision l'enchaînement des phases de construction, vu au travers des mortiers du site, mais aussi de déterminer les procédés de maçonneries. Les thermes du Vieil-Evreux sont l'un des sites les plus représentatifs d'une évolution progressive des mortiers de maçonnerie et d'une diversification technologique des matériaux en fonction de leur emploi. Ils sont l'une des références, de par leur étude quasi exhaustive, pour une comparaison des procédés de maçonnerie gallo-romains.

Références

CLIQUET D., EUDIER P., ETIENNE A. (1996) – *Le Vieil-Evreux, un vaste site gallo-romain*. Edité sous la direction de l'association ARCHEO 27, conseil général de l'Eure, 79 p.

COUDELAS A. (1999) – *Mortiers gallo-romains des thermes du Vieil-Evreux. Archéologie analytique, origine des matériaux dans l'environnement géologique*. Mém. de DEA, Université de Nanterre (Paris X), 102 p.

COUDELAS A., GUYARD L. et DAVID C. (2000) – Pétroarchéologie de mortiers gallo-romains. Application de méthodes analytiques à l'étude des thermes du Vieil-Evreux (Eure). *Les nouvelles de l'archéologie*, **81**, 31-36.

DORE F. *et al.* (1987) – Normandie Maine. *Guides géologiques régionaux*. 2^{ème} édition. Masson, Paris. 181-187.

GUYARD L. (1997) – Le Vieil-Evreux (Eure), « les terres noires », Thermes gallo-romains (27 684 001 – AH). *Document Final de Synthèse de fouille d'évaluation*. Conseil Général de l'Eure, Evreux. 134 p.

GUYARD L. (1998) – Le Vieil-Evreux, « les terres noires », Thermes gallo-romains (27 684 001 – AH). *Document Final de Synthèse de fouille programmée*. Conseil Général de l'Eure, Evreux. 113 p.

GUYARD L., LEPERT T. (1999) – Le Vieil-Evreux, ville-sanctuaire gallo-romaine. *Archéologia*, **359**, 20-29.

POMEROL B., POMEROL C., RENARD M., WYNS R., DEWOLF Y. (1977) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Evreux.

VICAT M. (1853) – *Recherches statistiques sur les substances calcaires à chaux hydraulique et à ciment naturel*. CARILIAN-GOEURY et V. DALMONT éditeurs, Paris, 661 p.

K/ La ville d'Arles (Bouches-du-Rhône), ou l'emprise des autorités



Carte d'identité

Etude menée grâce au concours du service du patrimoine de la ville d'Arles (en la personne de Monsieur Bouzid Sabeg), du service d'archéologie du Musée de l'Arles antique (Monsieur Marc Heijmans) et, pour l'amphithéâtre, du Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux (LERM) et de son directeur (Monsieur Gilles Martinet).

Cinq édifices :

- Cryptoportiques : augustéen (I^{er} s. av. J.-C.), 16 échantillons.
- Théâtre : augustéen (I^{er} s. av. J.-C.), 9 échantillons.
- Amphithéâtre : vers 80 ap. J.-C., 9 échantillons.
- Thermes de L'esplanade : fréquentation les IIe et IIIe s. ap. J.-C., une centaine d'échantillons.
- Cirque : 150 ap. J.-C., 2 échantillons.

Prélèvements effectués par l'analyste.

Introduction générale

La ville d'Arles (Bouches-du-Rhône), l'antique *Arelate*, est située à l'entrée du delta du Rhône, le débouché sur la mer d'une grande voie fluviale. Cette ville de Narbonnaise, d'abord comptoir massaliote, est devenue colonie romaine sous César, en 46 av. J.-C., fondée par l'installation des vétérans de la VI^e légion. Les urbanistes ont tiré parti de la position stratégique offerte par la colline de l'Hauture, un monticule de calcaire hauterivien (L'Homer *et al.* 1987) bordé par le fleuve et cerné à l'époque par des étangs.

Le programme d'urbanisme reprend les éléments majeurs d'une ville romaine traditionnelle. Il a nécessité d'énormes travaux pour rattraper les différences de niveaux dues à la topographie du site. Les cryptoportiques témoignent de ces efforts, cette formidable structure enterrée n'a apparemment, d'un point de vue fonctionnel, qu'une utilité : soutenir les colonnes du *forum* (Roman et Roman 1997).

La prospérité de la ville est rapide, liée à une activité économique intense, favorisée par son port et sa position à la jonction des voies Domitienne et d'Agrippa. La ville est déjà dotée à la fin du I^{er} s. ap. J.-C. de tous les attributs d'une grande agglomération romaine :

forum, théâtre, amphithéâtre et thermes. Cette richesse monumentale est encore parfaitement visible dans la ville actuelle. Les principaux monuments sont accessibles au public ou à son regard (fig.K1).

Plusieurs édifices ont appartenu à une même phase globale de construction de la ville (sous Auguste), d'autres sont apparus par la suite. Différents états de construction étaient aussi connus et datés pour plusieurs de ces monuments. Cette agglomération présentait les circonstances favorables pour l'étude de l'évolution d'un matériau précis, le mortier de maçonnerie, à une échelle micro-régionale et pour une durée importante.

Bien que la plupart des édifices furent restaurés au cours des siècles, il est apparu qu'un grand nombre d'entre eux pouvait nous livrer leurs liants architecturaux d'origine. Notre étude a débuté en septembre 2000, lors de la fouille de sauvetage de thermes de l'Esplanade dirigée par Marc Heijmans. Notre intervention en cours de fouilles et la condamnation du site expliquent le nombre important de prélèvements (autour de 100). Ce travail s'est posé comme une référence pour le reste de l'étude de la ville antique.

Un an plus tard, la restauration de plusieurs travées de l'amphithéâtre, sous l'égide des Monuments Historiques, a nécessité la caractérisation des matériaux mis en œuvre (pierres et mortiers). Notre travail a porté sur l'étude des mortiers d'origine, en partenariat avec le Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux (LERM). Les prélèvements sur les autres édifices présentés dans ce chapitre ont été échelonnés entre septembre 2000 et novembre 2001.

Le patrimoine romain et roman de la ville d'Arles est inscrit au Patrimoine Mondial de l'UNESCO depuis 1981.



Fig.K1. Plan de la ville antique d'Arles (*In Delarue 2000*).

1. Les thermes de l'Esplanade²

1.1. Présentation de l'étude

Le site de l'Esplanade a été découvert en 1976, à la suite d'un projet de parking souterrain (voir Congès *et al.* 1992). La fouille rapide a permis de mettre en évidence un quartier suburbain, comportant des *villae* avec pavements mosaïqués, une voie dallée et des thermes publics, ayant fonctionné durant les II^e et III^e siècles (fig.K2). Bien que le complexe ne soit que partiellement connu, on peut identifier aisément la succession de salles froides et chaudes, avec les salles de chauffe associées. A la fin de l'Antiquité, de nouvelles maisons sont construites sur les ruines des *villae* incendiées, tandis que les thermes servent de carrière de pierre.

L'importance des vestiges reconnus a incité le Ministère de la Culture et la municipalité d'Arles à les sauvegarder, en partie sous une nouvelle construction, en partie à l'air libre. En 2000, cette dernière partie, où se trouvaient les thermes, a également été remblayée. Ces travaux ont été précédés d'une campagne de fouille de plusieurs mois, réalisée durant l'été 2000 par le service archéologique du Musée de l'Arles Antique, dont le but était de compléter la connaissance sur les thermes avant son remblaiement définitif (Heijmans 2000).

La campagne d'échantillonnage s'est déroulée sur trois jours pleins. C'est au total plus d'une centaine de prélèvements qui ont été effectués, mais les résultats présentés ici ne porteront que sur les mortiers sableux de maçonnerie (43 fragments ; fig.K2). La quasi-totalité des murs a été échantillonnée. Quelques structures ont fait l'objet de prélèvements multiples, pour vérifier leur homogénéité (surtout verticale).

² Les résultats de cette étude ont été présentés lors du 126^e congrès national des sociétés historiques et scientifiques.

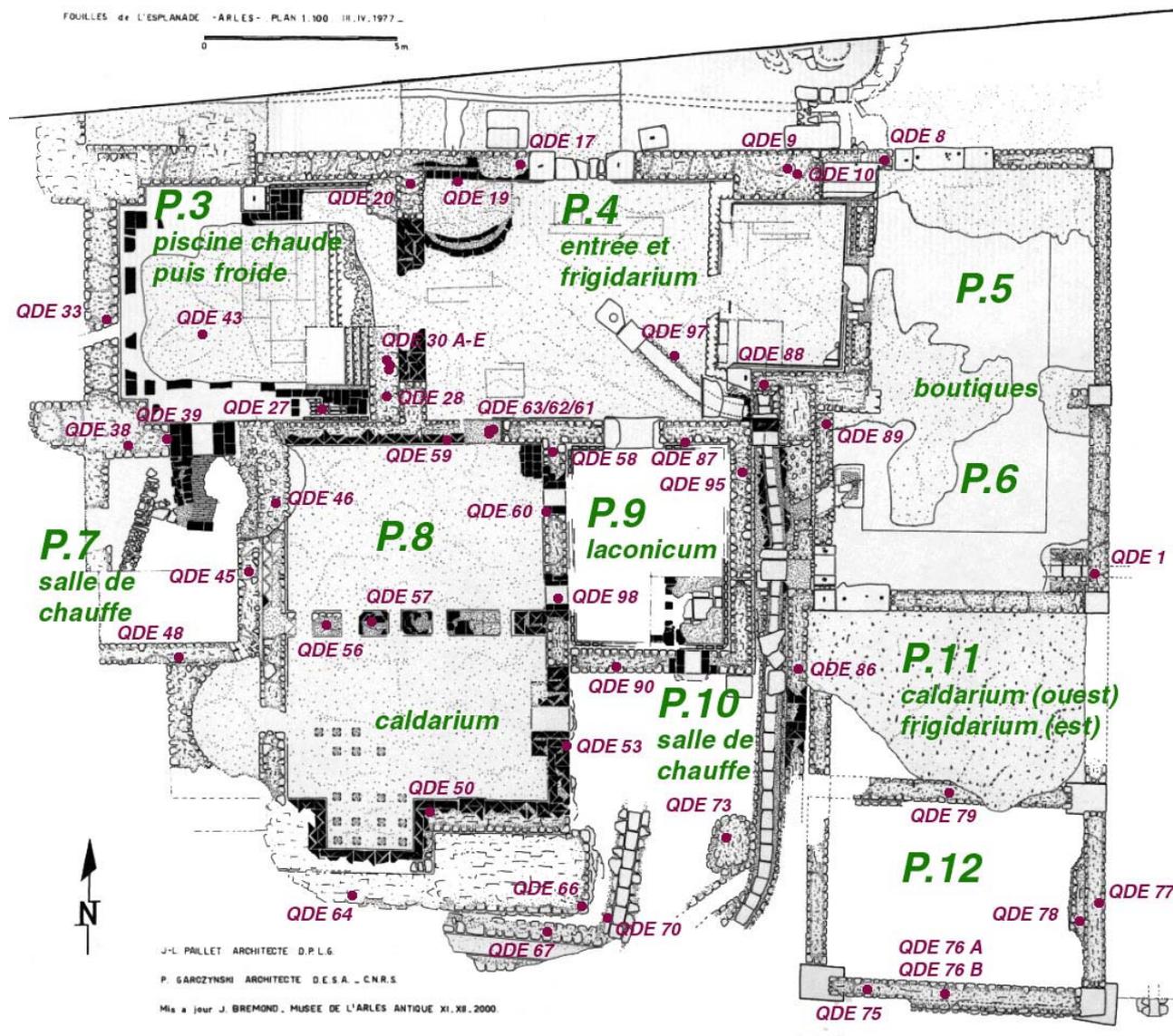


Fig.K2. Thermes de l'Esplanade ; salles et points de prélèvement des mortiers et bétons.

1.2. Résultats

1.2.1. Le granulat

Dès le début de l'étude nous avons remarqué la grande ressemblance des différents mortiers des thermes. Cela ne pouvait se comprendre que par l'utilisation continue d'un même granulat. C'est ce que nous avons vérifié lors de l'étude pétrographique, en microscopie optique.

Le granulat montre peu de variations. On retrouve toujours le même cortège de minéraux et de fragments de roches (à quelques variations près) : essentiellement quartz monocristallins et polycristallins ; des micas blancs et noirs, de la chlorite, des plagioclases et feldspaths (souvent anguleux et automorphes*) ; on trouve aussi des éléments de quartzite et de silex ; des lithoclastes de granite, de microgranite et de gneiss ; des scories magmatiques et des lithoclastes de basalte alcalin (à plagioclases et pyroxènes) ; ainsi que des fragments de diverses roches calcaires.

Les grains sont anguleux, de granulométrie peu variable (la médiane se situe quasiment toujours dans l'intervalle des sables fins). Ce cortège de minéraux et de roches renvoie aux alluvions anciennes du Rhône, plus précisément aux limons, silts et sables constitutifs des levées des cours actuels ou anciens (voir en priorité L'Homer *et al.* 1987).

1.2.2. La typologie

Sept types de mortier sableux de maçonnerie ont été définis (tableau K3 et liste des échantillons en annexe). Le type MS 1 est le type principal, le mortier le plus abondamment représenté (27 spécimens), employé pour la première phase de construction des thermes (cf. *infra*). Il s'agit d'un mortier sableux contenant 60 % environ de sable, celui décrit précédemment, mais sans la présence de fragments de basalte. Sa couleur est grisâtre, avec des teintes variant légèrement entre le « bleuté », le beigeâtre, voire le rosé lorsque le matériau se trouvait dans une maçonnerie de briques.

Le type MS 2 (4 échantillons) se caractérise par une teneur légèrement moins importante en granulat, une granulométrie plus grossière, ainsi que par la présence de basalte. Le type MS 5 (1 échantillon : QDE 90) semble très proche de MS 1, mais il se caractérise par sa teneur en éléments oxydés et la présence dans la charge de fragments de mortier de type MS 1.

Les types MS 3 (1 échantillon : QDE 70), MS 4 (3 échantillons : QDE 46, 76B et 79) et MS 6 (1 échantillon : QDE 87) se distinguent en premier lieu par l'ajout de granulat singulier, à savoir des monocristaux de calcite et des fragments de mortier pour MS 3, de la paille pour MS 4 et du charbon de bois pour MS 6.

Le mortier grossier de type MSG 1 diffère particulièrement des autres mortiers de maçonnerie par son importante teneur en graviers calcaires et la présence associée de tuileau.

Type	Nombre d'échantillons	Couleur	Proportion chaux/granulat	Sable	Tuileau	Paille	Charbons	Cristaux de calcite	Fragments de mortier	Éléments oxydés
MS 1	27	Gris blanc +/- bleuté	1:2	60 % d ≤ 1 mm sans basalte						
MS 2	4	Blanc légèrement rosé	1:2	50-55 % d ≤ 1,5 mm						
MS 3	1 QDE 70	Blanc cassé	1:2	50 % d ≤ 1 mm				5 %	< 5%	
MS 4	3	Beige grisâtre	1:2	50-55 % d ≤ 750 µm		< 5%				
MS 5	3	Beige rosé	1:2	60 % d ≤ 1 mm sans basalte					< 5%	< 5%
MS 6	1 QDE 87	Gris	1:2	55 % d ≤ 1 mm sans basalte			< 5%			
MSG 1	1 QDE 43	Grisâtre	1:3	60-65 % <i>dont 50 % de graviers calcaires</i>	5 %					

Tabl.K3. Types de mortier de maçonnerie des thermes de l'Esplanade avec leurs caractéristiques principales.

1.3. Discussions

1.3.1. Les variations de composition

Les différences repérées entre MS 1, MS 2 et MS 5 apparaissent comme le résultat de variations au sein de la formation géologique source. L'oxydation des grains de sable peut se comprendre comme une évolution pédologique du dépôt, tandis que le changement de granulométrie trouverait son origine dans les alternances « sables fluviatiles » – « sables et limons fluviatiles », connues au sein des levées du fleuve. De toutes évidences, la formation exploitée présentaient de légères variations de faciès parfaitement logiques pour un tel système de mise en place fluviatile, et qui ne pouvaient qu'être recoupées par les anciens lors de l'extraction de leur sable.

Les autres types se démarquent par des ajouts. Reste à savoir s'ils sont volontaires ou non. Pour la paille, on pourrait le supposer, car la présence de paille semble chose fréquente dans les mortiers gallo-romains. Pour le charbon de bois, sa présence pourrait s'expliquer par une contamination de la chaux lors du curage du four, plutôt que par un ajout délibéré, car les fragments sont peu nombreux et de dimensions très faibles. Mais leur présence suffit à colorer la chaux. C'est cette hypothèse qui est retenue, non un changement de recette, car les échantillons prélevés dans les murs de la même salle, en continuité d'accrochage et égalité de niveau, sont en type MS 1.

Il semble qu'il faille rechercher l'origine du « mortier broyé », employé comme granulats dans le type MS 3 (échantillon QDE 70 ; voir fig.I.15a), dans des ensembles d'enduits peints car nous y avons repéré à l'œil nu des fragments de couche picturale verte. Il est probable que ces enduits peints proviennent du site lui-même, puisque l'on peut observer dans bon nombre de pièces plusieurs états de décoration. Sachant cela, nous avons plus particulièrement observé les cristaux de calcite, afin de statuer sur leur présence, à savoir s'ils proviennent ou non de la désagrégation de l'enduit peint (la présence de marbre broyé ou d'un substitut n'étant pas chose exceptionnelle dans les couches d'épiderme des fresques gallo-romaines). Mais aucun des cristaux ne montre de gangue de chaux (voir fig.I.7), on peut donc difficilement les comprendre comme apportés avec les fragments de mortiers. Ils résulteraient donc d'un apport indépendant, sans doute après broyage de déchets de taille de marbre puisque les cristaux montrent des macles polysynthétiques, une extinction onduleuse, et que l'on retrouve des fragments polycristallins avec des cristaux de faible dimension aux limites polygonales.

1.3.2. *Le cadre typochronologique*

L'étude de la chronologie relative des maçonneries, lors de la fouille, a conduit à définir trois grands ensembles architecturaux. Le premier, la partie centrale de l'édifice, comprend les pièces 3, 4, 8, 9 et 10. Le deuxième correspond à la partie est du bâtiment, avec des anciennes boutiques, devenues les pièces 5, 6, 11 et 12. Le troisième grand ensemble est défini par l'agrandissement de la pièce 3 vers l'ouest, la construction associée de la salle de chauffe 7 et la construction de la pièce 15.

Nous pensions mettre en évidence des différences de mortier entre ces trois grands ensembles architecturaux. Or, c'est une quasi-parfaite homogénéité qui a été démontrée, avec l'emploi du type MS 1 pour les trois ensembles. On retrouve d'ailleurs ce type de mortier dans différents types de structures : dans les murs bien sûr, en joint de parement ou pour le blocage, mais aussi en liant des briques des voûtes de chauffe (par exemple QDE 39, pièce 7) et pour les canalisations (par exemple QDE 97 dans la pièce 4).

Dès lors, plusieurs remarques s'imposent. Tout d'abord, l'ensemble à l'est, bien qu'il soit postérieur techniquement, pourrait être considéré comme contemporain du bloc central, lui aussi maçonné avec le type MS 1. Ensuite, l'agrandissement vers l'ouest de la pièce 3 et la construction d'un hypocauste lié à sa fonction de piscine chauffée semblent intervenus peu de temps après la fin du programme architectural d'origine.

Le type de mortier MS 6, riche en charbon, n'a aucune valeur pour la chronologie relative, il est simplement lié à « accident » de fabrication du type MS 1.

Les structures particulières présentes au sud ne semblent pas liées aux constructions maçonnées avec le type MS 1 (fig.K2). En effet la canalisation ouest est construite avec le type MS 3 (riche en marbre, échantillon QDE 70). Le choix des maçons d'ajouter dans un mélange des matières premières telles que le marbre et des fragments d'enduit peint, peut paraître incongru. Néanmoins, nous sommes dans une structure particulière, une canalisation, et le mortier dont il est question déborde du blocage des murs pour enduire leur face interne. De fait, à emploi spécifique, les bâtisseurs ont pu répondre par mortier spécifique, en négligeant pour une fois les liants hydrauliques. Les autres structures sont en mortier de type MS 2 (au sable légèrement plus grossier, échantillons QDE 67 et 73). La composition de ce type est très proche de celle de MS 1. La recette du mortier est quasi-identique de celle du type MS 1, et l'on peut se demander si les différences ne sont pas dues simplement à l'hétérogénéité de la formation géologique source.

Le type MS 4 serait employé surtout pour la réfection de la pièce 12. Le contact avec le type MS 1 a pu être échantillonné (fig.K4). Le type MS 5 (aux éléments oxydés et fragments de mortier) marque quant à lui l'agrandissement vers le sud de la pièce 9.

Malgré toutes ces données, il n'est malheureusement pas possible actuellement de dresser une chronologie relative de ces différents types ; nous savons seulement que MS 4 et MS 5 sont techniquement postérieurs au type MS 1.

Enfin, le mortier de type MSG 1 ne se retrouve que dans un bout de mur isolé dans la pièce 3. Il révèle par sa composition un net contraste avec les autres maçonneries. Il se rattache à une construction indépendante du programme architectural d'origine des thermes, et même des phases de transformation/rénovation de cet édifice : il s'agit sans doute d'une construction médiévale.

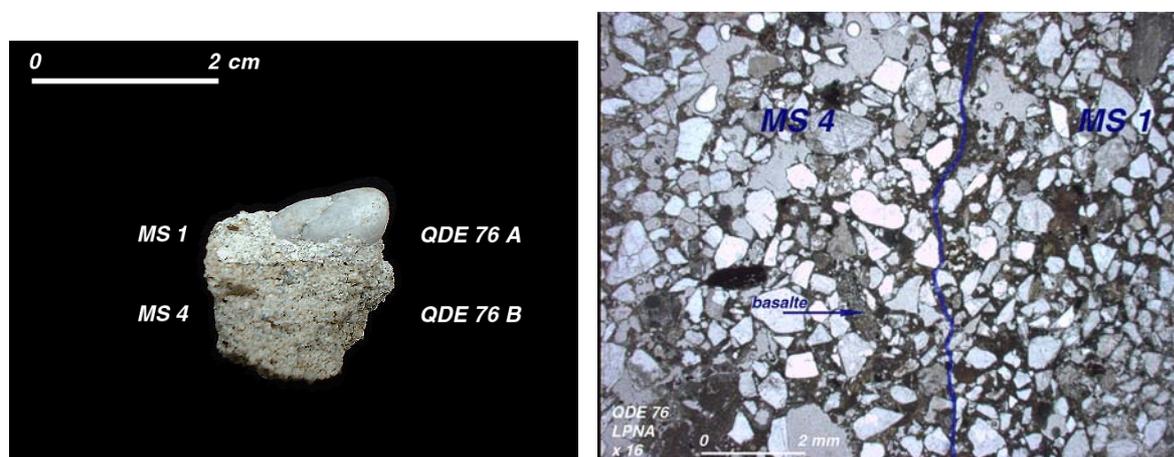


Fig.K4. Contacts macroscopique et microscopique (LPNA) entre les types MS 1 et MS 4.

1.4. Conclusions

L'étude des mortiers est intervenue en parallèle de la fouille, afin d'apporter une nouvelle vision des maçonneries. Cette approche est venue conforter les hypothèses archéologiques, tout en permettant de rapprocher entre eux plusieurs ensembles architecturaux, *a priori* techniquement diachroniques.

L'étude du granulat, de ses caractéristiques, a révélé la formation géologique source. Le sable présente toutes les caractéristiques des alluvions anciennes du Rhône (d'après les notices des cartes géologiques de la région). Les grains étant très anguleux, la question d'un broyage préalable à l'utilisation du sable nous a été posée. Nous pensons que ce ne peut être

le cas, pour plusieurs raisons. Tout d'abord la quantité de matériau à traiter serait considérable. Ensuite, certains grains plus fragiles apparaissent subarrondis (c'est le cas des fragments de calcaire). De même, des gravillons parfois centimétriques et arrondis sont associés au sable (il n'y a donc pas eu, de plus, de tri granulométrique). Enfin, les caractéristiques du sable se retrouvent dans tous les types de mortier, employés tant pour la construction que pour la transformation/rénovation de l'édifice.

Nous avons pu déterminer et expliquer la composition de chaque type. Ainsi MS 6, aux charbons de bois, n'est que le témoin d'une erreur de fabrication du type MS 1. Le type MS 3, aux éléments de marbre et d'enduit peint, montre une composition particulière peut-être liée à son emploi. Les autres types, aux compositions proches du mortier MS 1, témoignent de l'évolution de la formation géologique en cours d'exploitation, ainsi que de l'ajout *a priori* délibéré d'éléments naturels (la paille, type MS 4), de pratiques de récupération ou de pollution (mortier de construction, type MS 5).

Le résultat primordial de cette étude reste la mise en évidence, grâce à l'analyse pétrographique, de la présence de matériaux tels que le marbre, les enduits peints et les mortiers de construction, incorporés dans le granulat lors de la fabrication de nouveaux liants architecturaux de maçonnerie. Seule l'utilisation de marbre, mais dans les enduits peints, est une pratique parfaitement connue, attestée par les textes de Vitruve notamment et vérifiée depuis par nos soins pour Aix-en-Provence (cf. chap. II.1/B).

2. L'amphithéâtre

L'amphithéâtre d'Arles fut érigé dans les années 80 ap. J.-C., durant une période largement tournée vers la construction en Gaule de ces édifices, fin I^{er} – début II^e s ap. J.-C. (Roman et Roman 1997). Ces monuments sont révélateurs du grand succès des combats de gladiateurs. Ils sont dérivés des théâtres, avec une subdivision régulière de la *cavea*, mais la forme générale du bâtiment est elliptique afin d'offrir en tout point une bonne visibilité. La bonne circulation des spectateurs est aussi mise en avant avec des systèmes de galeries circulaires inscrites dans les murs rayonnants (Delarue 2000). Ces murs délimitent des travées (fig.K5). Plusieurs d'entre elles ont fait l'objet d'une caractérisation des matériaux en œuvre afin de préparer leur consolidation.

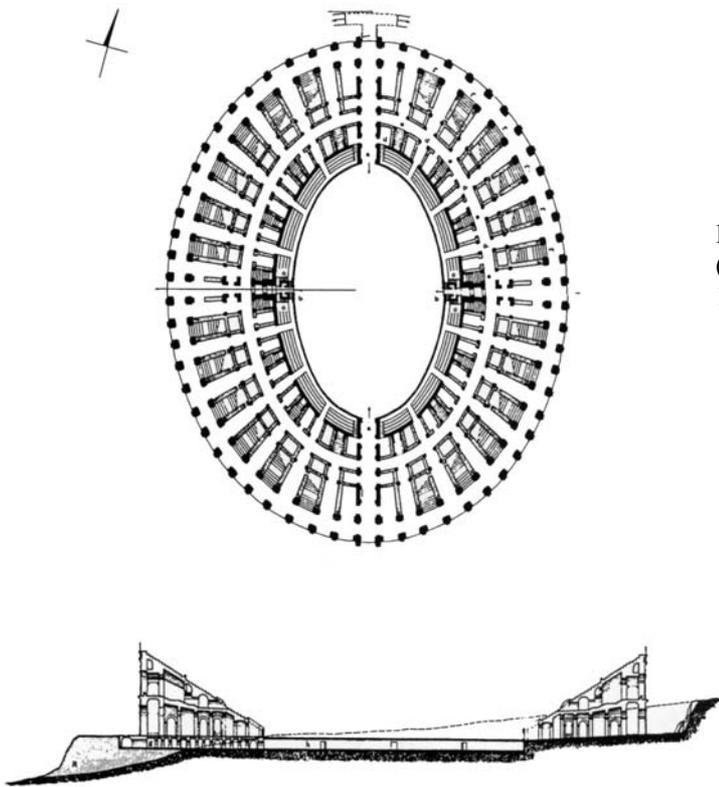


Fig.K5. Amphithéâtre d'Arles (d'après J.-C. Golvin, *In Gros* 1996).

2.1. Echantillonnage

L'étude a été réalisée conjointement avec le LERM. Les prélèvements ont été effectués pour l'essentiel par carottage (fig.K6), afin d'accéder au mortier d'origine. Quelques échantillons ont pu être récupérés plus aisément grâce à la présence d'écorchés au sein de la maçonnerie (5569-1.5 et 1.6). La numérotation est double, en « 5569 » lorsque les prélèvements ont été effectués par le LERM, en « AMA » pour les échantillons de complément (tabl. K7).

Echantillon	Origine	Méthode de prélèvement	Analyses
5569-1.1	Travée 50 zone humide	Carottage	MOT, CL et MEB
5569-1.2	Travée 50 zone sèche	Carottage	MEB
5569-1.3	Travée 47 voûte	Carottage	MOT et MEB
5569-1.4 (AMA 1a)	Travée 47 mur sud sous la voûte	Carottage	MOT, CL, MEB, DRX et dosage en liant
5569-1.5 (AMA 3)	Travée 47 escalier RDC, 1 ^{er} replat	Dans écorché	MOT, CL, MEB, DRX et dosage en liant
5569-1.6	Travée 47 mur nord 1 ^{er} étage	Dans écorché	MOT et MEB
AMA 1b	Travée 47 mur sud sous la voûte	Dans écorché	MOT, CL et DRX
AMA 2	Galerie sous-sol	Joint de parement	MOT
AMA 4	Travée 47 escalier RDC, 1 ^{er} replat	Dans écorché	MOT

Tabl.K7. Les échantillons de mortier de chaux de l'amphithéâtre d'Arles.

L'échantillonnage des arènes s'est voulu exhaustif, avec prélèvement dans les maçonneries du rez-de-chaussée (RDC) et du premier étage, d'une voûte du premier étage, d'un escalier du RDC, ainsi que d'un mur en sous-sol (pour comparaison). Les observations sur l'édifice ont montré que le mortier de joint de parement était chaque fois le même en blocage, à l'intérieur de la maçonnerie. Les blocs de grand appareil sont en revanche à joints vifs (sans mortier de liaison).

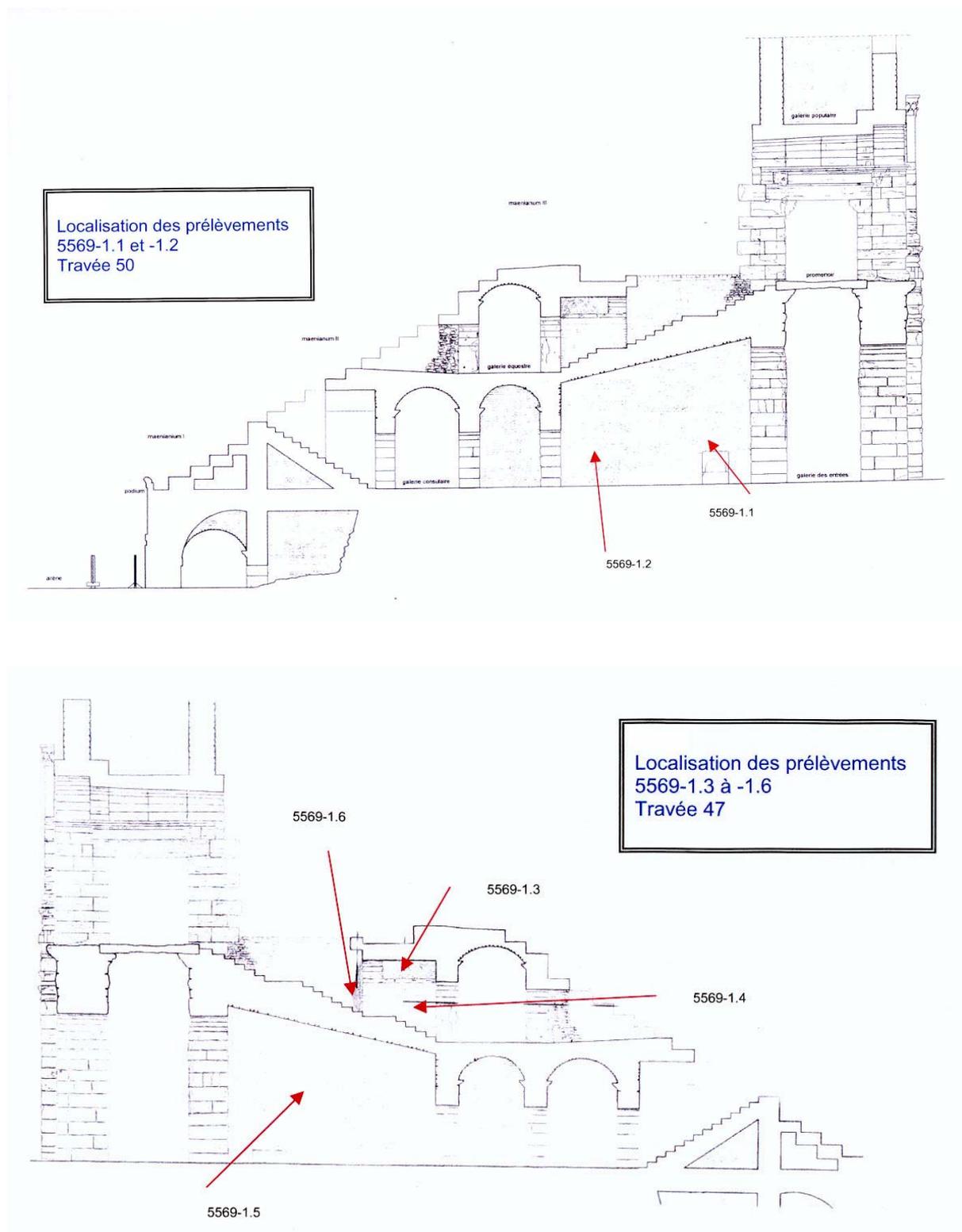


Fig.K6. Points de prélèvement des mortiers de l'amphithéâtre d'Arles.

L'analyse des matériaux au MEB a grandement bénéficié de l'expérience et de la technologie du LERM. Les examens en microscopie optique ont été réalisés au LERM et au LGBS. La DRX a été effectuée au LERM pour les échantillons 5569-1.4 et 1.5, à l'IRD de Bondy pour les échantillons QDE 1 et AMA 1b. Les analyses en cathodoluminescence ont été réalisées au LGBS, et le calcul minéralogique s'est intégralement déroulé au LERM³.

2.2. Résultats

2.2.1. La nature du sable établie par MOT

La nature du sable varie peu dans ces mortiers. Comme lors de l'étude des thermes de l'Esplanade, nous retrouvons essentiellement des quartz monocristallins et polycristallins, des micas blancs et noirs, de la chlorite, des plagioclases et feldspaths (souvent anguleux et automorphes) ; on trouve aussi des éléments de quartzite et de silex, des lithoclastes de granite, de microgranite et de gneiss, des lithoclastes de (micro)basalte alcalin, ainsi que des fragments de diverses roches calcaires.

Les grains sont anguleux, exceptés les gravillons millimétriques. La granulométrie est peu variable (la médiane se situe quasiment toujours dans l'intervalle des sables moyens et fins). Ce cortège de minéraux et de roches renvoie une fois de plus aux formations géologiques des alluvions anciennes du Rhône (alluvions et dunes fluviales plus ou moins éolisées). Le sable est donc le même dans les mortiers de l'amphithéâtre et dans ceux des thermes.

2.2.2. Analyses complémentaires

L'analyse minéralogique qualitative par diffraction des rayons X a été réalisée au LERM sur les échantillons 5569-1.4 et 1.5. Les phases minérales détectées ainsi que leurs teneurs relatives sont reportées dans le tableau ci-après (tabl.K8).

³ La présentation et la discussion de cette dernière méthode sont reportées en annexe.

Minéraux détectés	AMA 1		5569-1.5	Composition chimique
	AMA 1a (5569-1.4)	AMA 1b		
Calcite	+++	+++	+++	CaCO ₃
Quartz	+++	++	+	SiO ₂
Ettringite	+	-	-	Ca ₆ Al ₂ (SO ₄) ₃ (OH) ₁₂ .26H ₂ O
Gypse	-	-	t	CaSO ₄ .2H ₂ O
Phyllosilicates	t	+	t	
Feldspaths	t	t	t	

Tabl.K8. Analyse minéralogique qualitative par diffractométrie de rayons X des échantillons 5569-1.4 et 1.5.
+++ : très abondant, ++ : abondant, + : peu abondant, t : trace, - : absent

Aucune espèce argileuse n'a été détectée dans les échantillons analysés. L'analyse en DRX de l'échantillon AMA 1b a confirmé la présence non négligeable de phyllosilicates (on suppose de la muscovite et de la chlorite après observations microscopiques ; fig.K9).

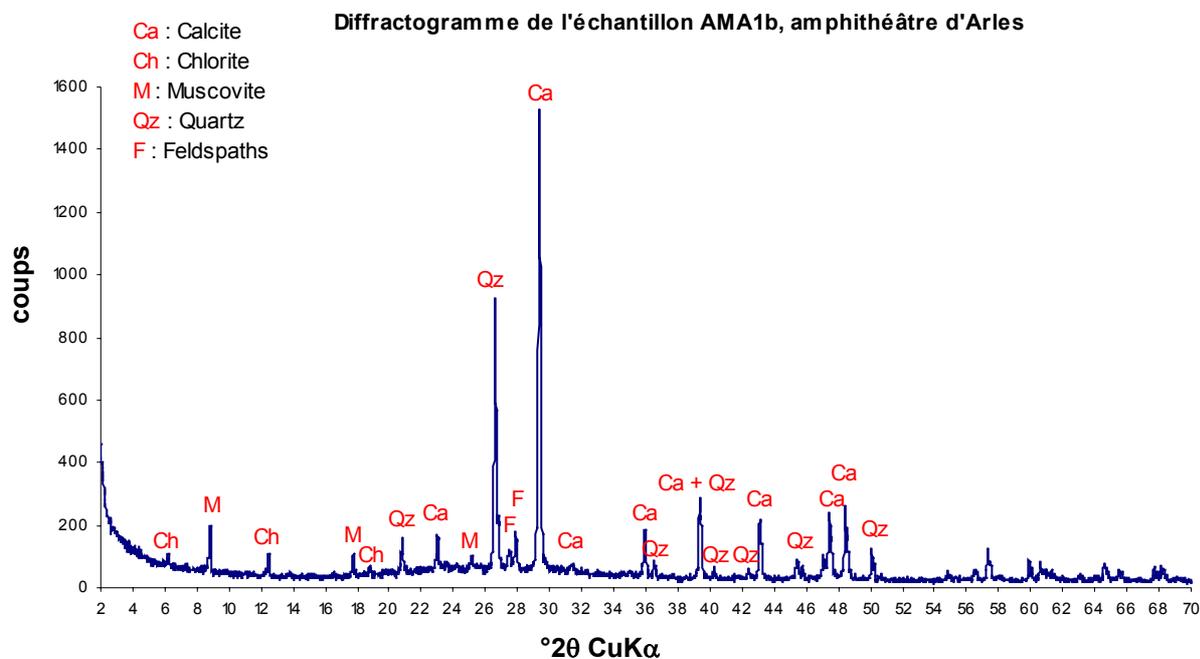


Fig.K9. Diagramme de diffraction des rayons X de l'échantillon AMA 1b.

La composition minéralogique du mortier a été estimée à partir d'une série d'analyses de laboratoire effectuées au LERM (analyse chimique «complète» de la fraction soluble, analyse thermogravimétrique, mesure des masses volumiques de la porosité, et identification du liant par microscopie optique ; Martinet et Quénée 1999). Les résultats obtenus ont permis d'alimenter un logiciel de calcul informatique itératif (Calcul Minéraux LCPC), afin de recalculer la composition de ce mortier. Ces essais ont été réalisés sur les échantillons 5569-1.4 (AMA 1a) et 1.5.

A partir des données des analyses chimiques et thermogravimétriques, ainsi que celles des observations microscopiques, le calcul informatique (Calcul Minéraux LCPC) a permis de déterminer la composition minéralogique initiale du mortier. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau K10.

Oxydes analysés	Teneur (% massique) dans 5569-1.4 (AMA 1a)		Teneur (% massique) dans l'échantillon 5569-1.5	
SiO ₂	4,15		4,85	
Al ₂ O ₃	5,70		5,65	
TiO ₂	0,10		0,10	
Fe ₂ O ₃	1,50		1,20	
CaO	77,35		82,25	
MgO	7,65		0,10	
Na ₂ O	0,35		0,40	
K ₂ O	2,10		2,65	
SO ₃	0,60		1,30	
Cl ⁻	0		0,06	
TOTAL	99,50		98,56	
Formulation en % et en kg/m ³	%	*kg/m ³	%	*kg/m ³
Liant hydraulique	12,05	200	11,55	175
Granulats siliceux et silicatés	78,95	1300	63,95	965
Granulats calcaires	-	-	14,25	215
Granulats dolomitiques	-	-	-	-

Tabl.K10. Composition minéralogique initiale des mortiers 5569-1.4 et 1.5 et formulation théorique (dosages en liant et en granulats).

Au vu de ces résultats, il apparaît que les liants de ces deux mortiers présentent des compositions relativement proches et semblent correspondre à une chaux faiblement hydraulique, riche en produits alumineux (rapports $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ inférieurs à 1). L'échantillon 5569-1.5 est un peu plus riche en SO_3 que le 5569-1.4 et se caractérise par la présence d'un sable calcaire.

Il ne faut pas restituer une proportion chaux/granulat de 1:9. Il s'agit en fait de pourcentages massiques, et non de volumes.

L'examen de fractures fraîches au MEB couplé à l'analyse élémentaire par spectrométrie X à dispersion d'énergie (EDS) a montré que les échantillons AMA 1b, 5569-1.4 et 1.5 sont en partie constitués d'hydrates présentant le faciès de silicates de calcium hydratés (les CSH). Si l'essentiel de ces éléments présente un signal majoritaire en silicium (fig.K11), on observe localement des inversions du rapport C/S (calcium alors dominant). La matrice de ces mortiers présente aussi des plages formées par des carbonates de calcium néoformés (microcristaux de calcite formés par carbonatation de la chaux).

L'utilisation de la cathodoluminescence optique (CL-optique) a confirmé la présence des feldspaths (fig.K12). Nous l'avons aussi employée pour l'étude de la matrice, vérifiant ainsi son homogénéité dans les différents échantillons (fig.K13) et mettant en lumière l'aspect secondaire de la cristallisation de calcite sur les parois des vides (fig.K14).

2.2.3. La typologie (voir tabl.K15)

Les huit échantillons (5569-1.2 ayant été écarté) ont été regroupés en trois types de mortier sur la base des observations macroscopiques et microscopiques, seules techniques ayant été appliquées sur l'ensemble des matériaux. Un type de mortier est nouveau, AMA-MS1, les deux autres correspondent à des types déjà définis lors de l'étude des thermes de l'Esplanade (QDE-MS1 et QDE-MS4).

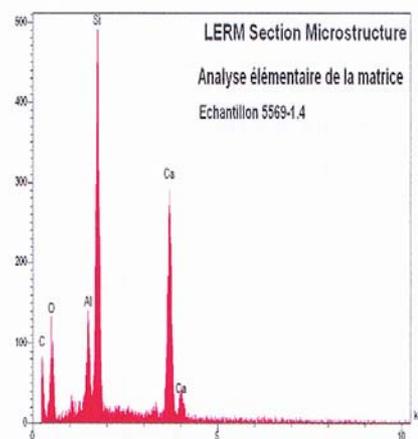
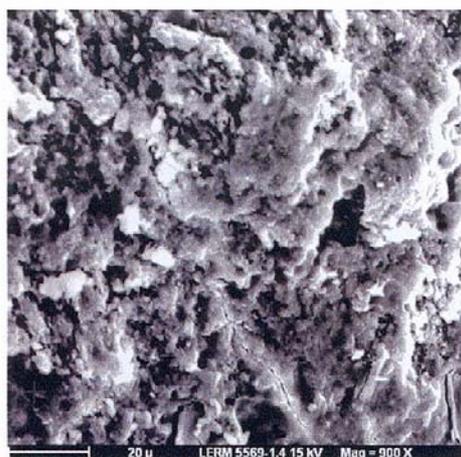


Fig.K11. Image en électrons secondaires et spectre de fluorescence X de la matrice du mortier 5569-1.4.

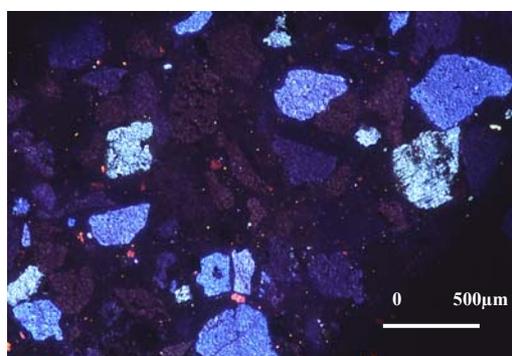


Fig.K12. Echantillon AMA 1b, CL-optique : les feldspaths apparaissent en bleu, les quartz en mauve sombre.

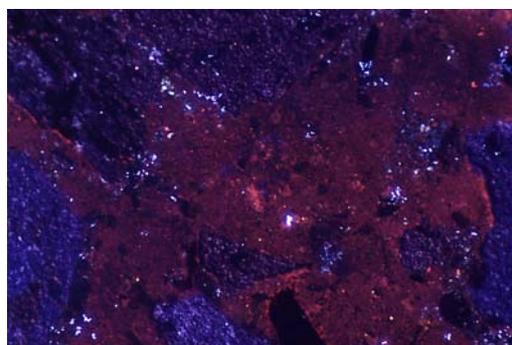


Fig.K13. Echantillon 5569-1.1, CL-optique : la matrice carbonatée est homogène, de teinte rouge.

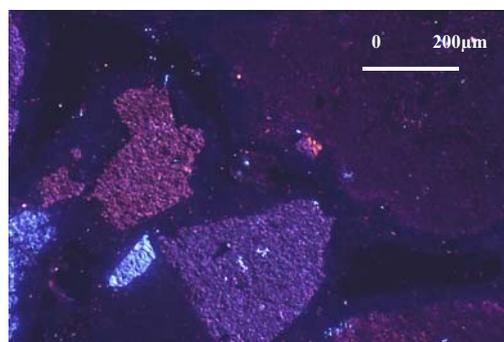
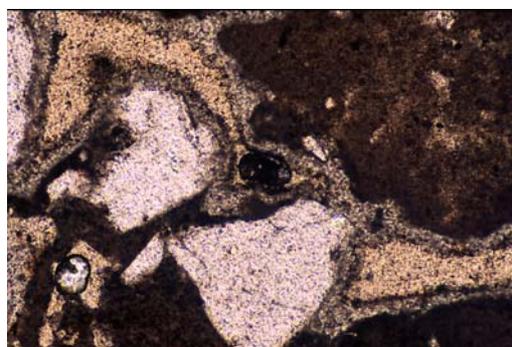


Fig.K14. Cristallisations de calcite sur les parois (hyporevêtements) non luminescentes en CL-optique alors que la matrice (en haut et bas à droite sur l'image) est luminescente (teinte rouge). Echantillon 5569-1.4.

Echantillon	Couleur macro	Liant:Granulat:Macroporosité	Remarques	Type
5569-1.1	Blanc gris	3:5:2		AMA-MS1
5569-1.3	Gris blanc	3:5:2		AMA-MS1
5569-1.4 (AMA 1a)	Blanc gris	1:2:1		AMA-MS1
AMA 1b	Gris beige clair	1:2:1		QDE-MS1
5569-1.5 (AMA 3)	Blanc gris	1:2:1	Nombreux gravillons. Nombreux silex	QDE-MS1
AMA 4	Gris beige clair	1:2:1		QDE-MS1
5569-1.6	Blanc gris	1:2:1		AMA-MS1
AMA 2	Beige	3:5:2	Basalte	QDE-MS4

Tabl.K15. Echantillons et types de mortier de chaux de l'amphithéâtre antique d'Arles.

Type AMA-MS1 :

Il correspond aux échantillons **5569-1.1**, **1.3**, **1.4** et **1.6**. Il s'agit d'un mortier blanc cassé (légèrement grisâtre, fig.K16), riche en sable fin gris à beige, contenant quelques graviers. Il ne contient pas de microbasalte. Il est riche en grumeaux de chaux.

Type QDE-MS1 :

Ce type a été défini lors de l'étude des thermes du quartier de l'Esplanade. Plusieurs échantillons y correspondent : **5569-1.5 (AMA 3)**, **AMA 1b** et **AMA 4**. Ce mortier possède les mêmes caractéristiques en microscopie optique que le type AMA-MS1, mais il s'en éloigne par la coloration de la matrice qui est bien plus beige (fig.K16) et un teneur un peu plus importante en granulat. La différence de couleur s'explique difficilement, on est tenté d'y voir la manifestation de la présence d'argile en faible quantité⁴. Il ne contient que rarement des éléments de basalte.

⁴ La DRX effectuée sur les échantillons 1.4 et 1.5, respectivement type AMA-MS1 et QDE-MS1, n'a pas révélé de minéraux argileux.

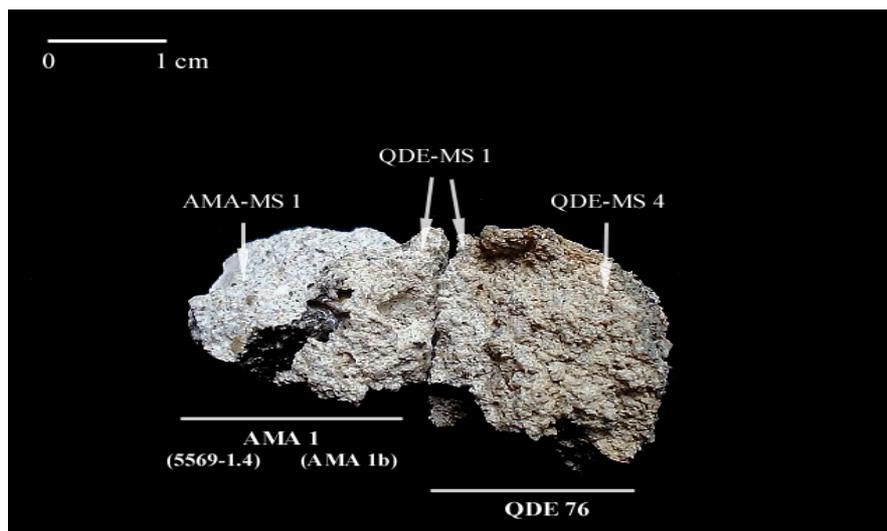


Fig.K16. Echantillons AMA 1 (amphithéâtre) et QDE 76 (thermes)
On peut observer la connexion entre les sites via le type QDE-MS 1, et les contacts entre les types
AMA-MS1 / QDE-MS1 et QDE-MS4 / QDE-MS1.

Type QDE-MS4 :

L'échantillon **AMA 2** est de ce type. Il s'agit d'un mortier beigeâtre riche en sable fin, avec quelques graviers. Le sable contient de nombreux éléments colorés. On note en microscopie de fréquents éléments de microbasalte. La coloration plus prononcée de la matrice le démarque des autres mortiers. Tout comme QDE-MS1, la présence d'un peu d'argile est supposée. Dans les thermes, ce type se caractérisait par quelques restes de paille. Nous n'en avons pas observé dans AMA 2, mais le volume de matériau prélevé est faible.

2.3. Discussions

La faible hydraulicité de la matrice des mortiers 5569-1.4 et 1.5 a été démontrée. La chaux était elle-même faiblement hydraulique. Il n'y a aucun signe évident de la présence de pouzzolanes dans ces mortiers, mais on ne peut exclure l'existence de réactions au niveau des zones de contact entre la chaux et certains éléments du granulat, tels que les silex, quartz, quartzites, feldspaths et les phyllosilicates (Bérubé *et al.* 1990).

L'hydraulicité du mortier n'était apparemment pas la préoccupation lors de l'édification de l'amphithéâtre. La recette est simple, mêlant une part de chaux pour deux parts de sable. Les différents mortiers sableux observés correspondaient à des mortiers de maçonnerie. Pour cet ensemble, aucun changement dans la composition ne peut être rattaché à la « fonction

secondaire »⁵ du mélange. Les observations n'ont mis en évidence aucun traitement du granulat, que ce soit lavage, tamisage ou encore meulage des grains. La qualité du travail de la chaux ne semble pas optimale, vue la fréquence et la grosseur des grumeaux (problèmes d'extinction et de malaxage, plutôt que de cuisson, d'après l'aspect des nodules de chaux résiduels). Ces nodules, souvent évidés, participent à la porosité. Celle-ci est d'ailleurs fort importante, même si certains vides montrent des signes de « colmatage », les parois étant tapissées de cristaux de calcite.

La typologie des mortiers fait ressortir deux types principaux mis en œuvre pour la construction des travées 47 et 50 de l'édifice : les types AMA-MS1 et QDE-MS1. Le premier est retrouvé pour les murs du RDC, pour ceux du premier étage et pour la voûte du passage menant des galeries équestres aux promenoirs. Le deuxième a été identifié dans le massif de maçonnerie servant de blocage à l'escalier menant de la galerie des entrées à la galerie équestre, et dans les murs du premier étage. L'échantillon AMA 1, prélevé par carottage au premier étage, se divise en deux éléments correspondant chacun à l'un de ces deux types (AMA-MS1 pour AMA 1a et QDE-MS1 pour AMA 1b).

La répartition des échantillons de ces deux types de mortier tendrait à démontrer un emploi plus régulier du type AMA-MS1, que l'on pourrait donc considérer comme le liant principal et originel de l'édifice. Le type QDE-MS1 serait compris dans cette hypothèse comme un mortier de réfection ou de transformation du bâtiment à l'époque antique. Il peut aussi s'agir, autre hypothèse, de deux mortiers de maçonnerie contemporains employés « indifféremment », suivant les équipes, mais leur contact dans le mur sud sous la voûte du premier étage de la travée 47 (AMA 1) se comprendrait mal ; on ne peut que difficilement concevoir deux équipes travaillant à l'élévation du même mur.

Si l'on se fonde sur une réelle connexion entre l'amphithéâtre et les thermes de l'Esplanade via l'emploi du type QDE-MS1, témoignant éventuellement du passage de la même équipe de *structores*, alors on doit pouvoir considérer ce mortier comme la marque des « finitions » de l'édifice, de la fin de sa construction, puisque l'édification de l'amphithéâtre est datée de la fin du I^{er} s. ap. J.-C., tandis que celle des thermes de l'Esplanade du début du II^e s. ap. J.-C., ce qui correspond à un intervalle de temps relativement court.

⁵ Joint de parement ou blocage, fondation ou élévation, mur s.s. ou voûte, etc.

3. Les cryptoportiques

Il s'agit de trois galeries souterraines en U, de 90 m environ pour les deux longueurs et de 60 m pour celle perpendiculaire. Chaque branche est large de 8,50 m et haute de 4,40 m. Elles sont recouvertes de deux voûtes en berceau jumelées, retombant chacune d'une part sur les murs latéraux en petit appareil et d'autre part sur une série de piliers carrés, trapus, en grand appareil, échelonnés dans l'axe de la galerie (Picard 1964). Les voûtes en plein cintre sont montées en blocage de gros moellons enduits.

Leur construction est datée de 30 à 20 av. J.-C. (augustéenne). Toutefois, plusieurs phases d'adjonctions et de transformations ont été découvertes. La première est datée de la fin du I^{er} s. ap. J.-C. (flavienne).

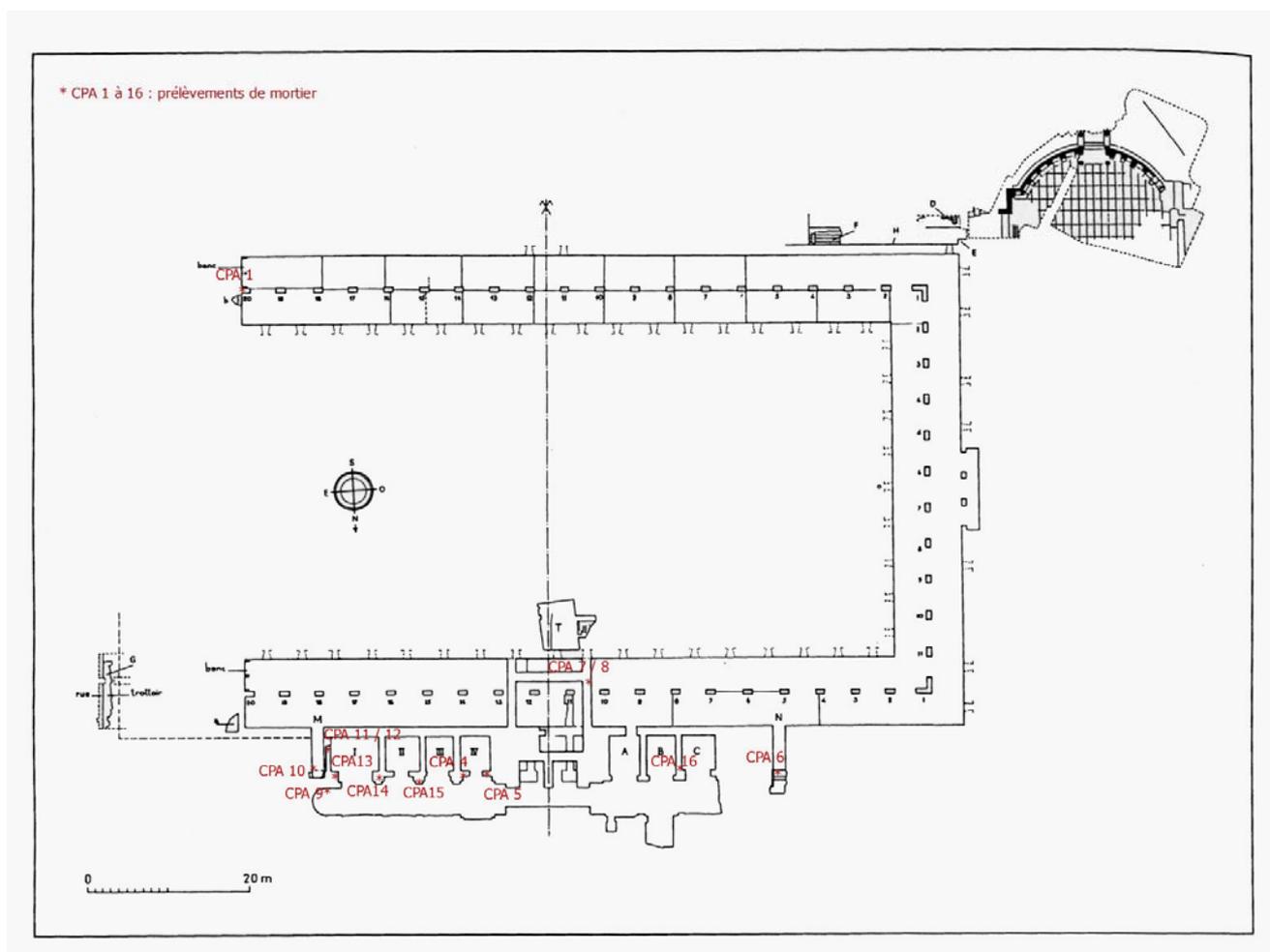


Fig.K17. Plan des cryptoportiques (d'après Gros 1996) et points de prélèvements.

3.1. Echantillonnage

Ce sont seize prélèvements qui ont été effectués dans les maçonneries des cryptoportiques (fig.K17), numérotés CPA 1 à CPA 16 (cependant CPA 2 et 3 n'ont pas résisté au transport). Leur étude s'est effectuée par observations macroscopiques et microscopiques, complétée par diffraction des rayons X (DRX) pour les échantillons CPA 13, 14 et 15. La liste des prélèvements (tabl.K18) comprend différents états de construction et plusieurs fonctions architecturales (murs, piliers, voûtes).

Echantillon	Origine	Datation présumée	Type de mortier
CPA 1	Blocage du mur de fermeture E de la galerie S	Augustéen	QDE-MS2
CPA 4	Entre 3 ^e et 4 ^e boutique à partir de l'E, joint dans voûte	Flavien	QDE-MS1
CPA 5	Idem, entre 4 ^e et 5 ^e boutique	Flavien	QDE-MS1
CPA 6	Doublage mur N galerie N ?	?	QDE-MS2
CPA 7	Galerie N, accès W	2 ^e état (flavien)	CPA-MS1
CPA 8	Galerie N, accès W	1 ^{er} état (augustéen)	QDE-MS2
CPA 9	Galerie N, « temple »	Post-augustéen (flavien ?)	AMA-MS1
CPA 10	Galerie N, accès E	2 ^e état (flavien)	QDE-MS1
CPA 11	Galerie N, accès E, mur W, partie sup.	Post-augustéen (flavien ?)	AMA-MS1
CPA 12	Galerie N, accès E, mur W, partie inf.	Augustéen	QDE-MS2
CPA 13	1 ^{ère} boutique E, arrivée voûte	« 1 ^{er} cintre »	CPA-MS1
CPA 14	2 ^e boutique	« 2 ^e cintre »	QDE-MS1
CPA 15	3 ^e boutique	« 3 ^e cintre »	-
CPA 16	Dernière boutique, mur E, début de la voûte	Flavien	QDE-MS1

Tabl.K18. Echantillons de mortier de chaux des cryptoportiques d'Arles.

3.2. Résultats

Le tableau K18 indique les types de mortier établis ou reconnus. Il est apparu que l'ensemble des échantillons analysés était composé des mêmes matières premières que celles identifiées dans les matériaux des thermes de l'Esplanade et de l'amphithéâtre (fig.K19). Les compositions et caractéristiques des liants architecturaux de ces trois édifices se sont révélées bien plus proches les unes des autres que ce qui était attendu, puisque seuls trois échantillons ont paru tout à fait originaux, les autres se raccordant pleinement aux deux typologies précédemment discutées.

Le type QDE-MS2, défini pour le mortier de plusieurs structures des thermes de l'Esplanade, se retrouve dans le cryptoportique via les échantillons CPA 1, 6, 8 et 12. Il s'avère que tous ces éléments peuvent être datés de la première phase de construction du monument, de la période augustéenne.

Le type QDE-MS1 correspond aux échantillons CPA 4, 5, 10, 14 et 16. Ces échantillons sont tous représentatifs de la phase d'adjonction flavienne des boutiques nord.

Le type AMA-MS1 est lui aussi identifié dans les cryptoportiques, en deux points : l'hémicycle à l'extrême est de la 2^e galerie nord, postérieure à la phase augustéenne, et en partie supérieure de la maçonnerie de l'accès est de la galerie nord (CPA 9 et 11).

Le type CPA-MS1 est nouveau, il correspond à deux échantillons : CPA 7 et 13 (2^e état de l'accès W et 1^{ère} boutique). Il s'agit d'un mortier gris relativement sombre à tendance beigeâtre (proche de N8, *very light gray*, et 5YR8/1, *pinkish gray*). Le cortège de minéraux est sans surprise, avec les mêmes matières premières. Le granulat est anguleux, d'une grande finesse, l'essentiel des grains (surtout des quartz) étant de diamètre inférieur à 500 µm. Ce qui avant tout le démarque des autres, c'est sa légèreté. Les observations ne permettent pas de définir ce qui serait à l'origine d'une telle propriété physique. La teneur en chaux ne semble pas plus importante que celle des autres types de mortier (environ 45 % de sable sur la lame, pour une teneur chaux/granulat restituée à 1:2). La matrice apparaît extrêmement sombre en lumière polarisée et analysée, ce qui dénoterait la présence de composés pouzzolaniques. Le diffractogramme de l'échantillon CPA 13 (fig.K20) ne nous a pas permis de mettre en évidence leur présence⁶, mais il a montré la très faible représentation de la calcite, ce qui démontrerait la transformation du carbonate de calcium d'origine.

⁶ L'analyse par EDS au MEB n'a pu avoir lieu.



Fig.K19a. Vue générale du mortier CPA 13, type CPA-MS1. LPNA.

Fig.K19b. Idem. LPA.

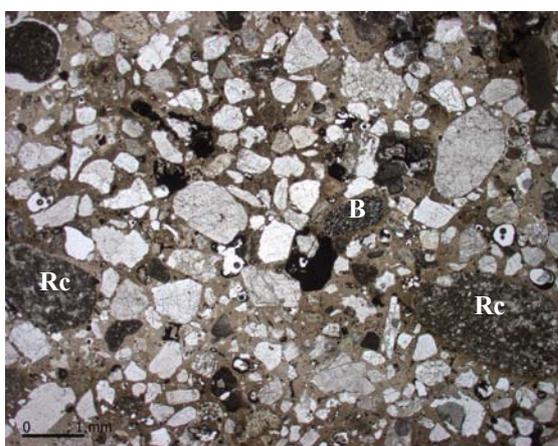
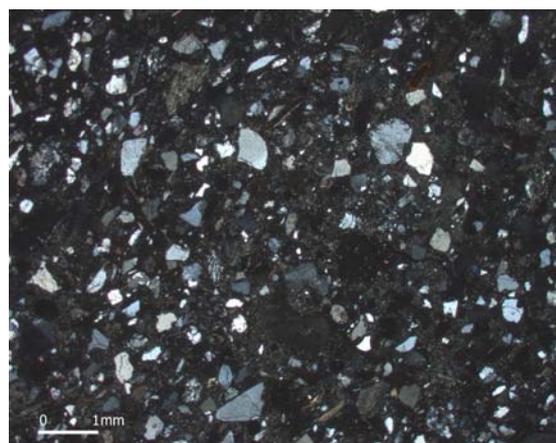
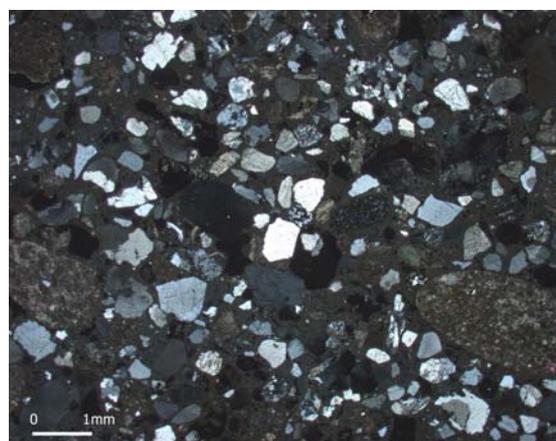


Fig.K19c. Vue générale du mortier CPA 8, type QDE-MS2. Notez la présence de basalte (B) et de roches calcaires (Rc). LPNA.

Fig.K19d. Idem. LPA.



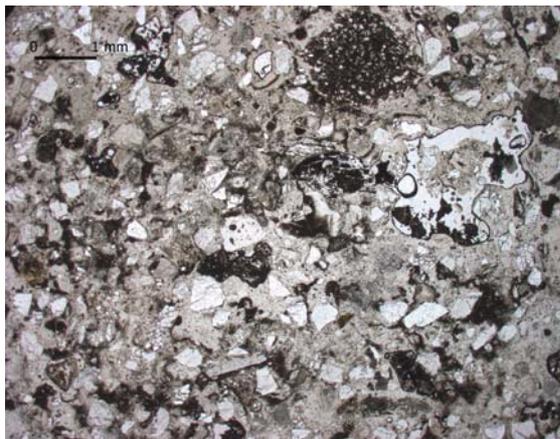


Fig.K19e. Vue générale du mortier CPA 11, type AMA-MS1. LPNA.

Fig.K19f. Idem. LPA.

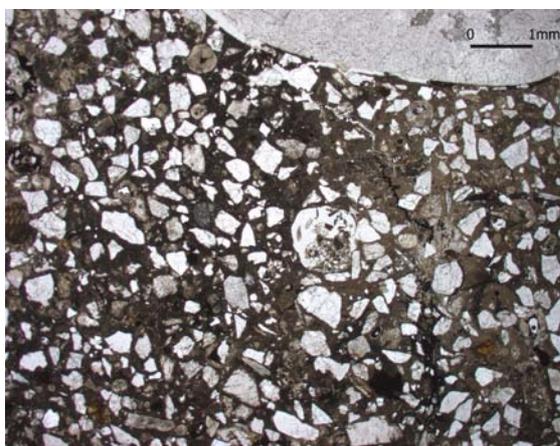
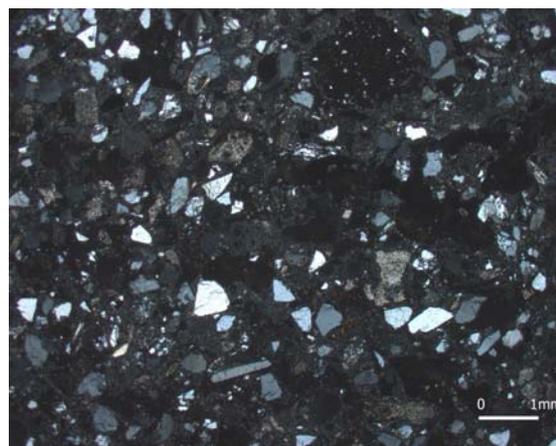
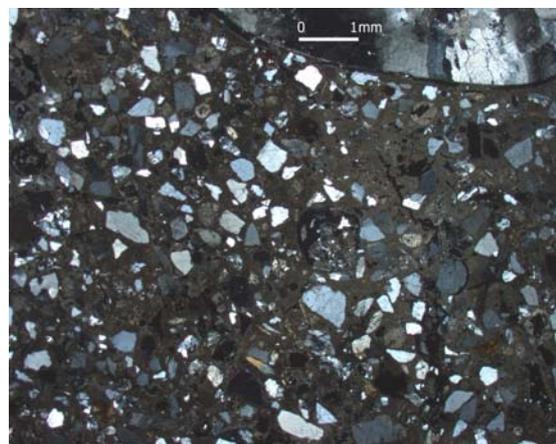


Fig.K19g. Vue générale du mortier CPA 16, type QDE-MS1. LPNA.

Fig.K19h. Idem. LPA.



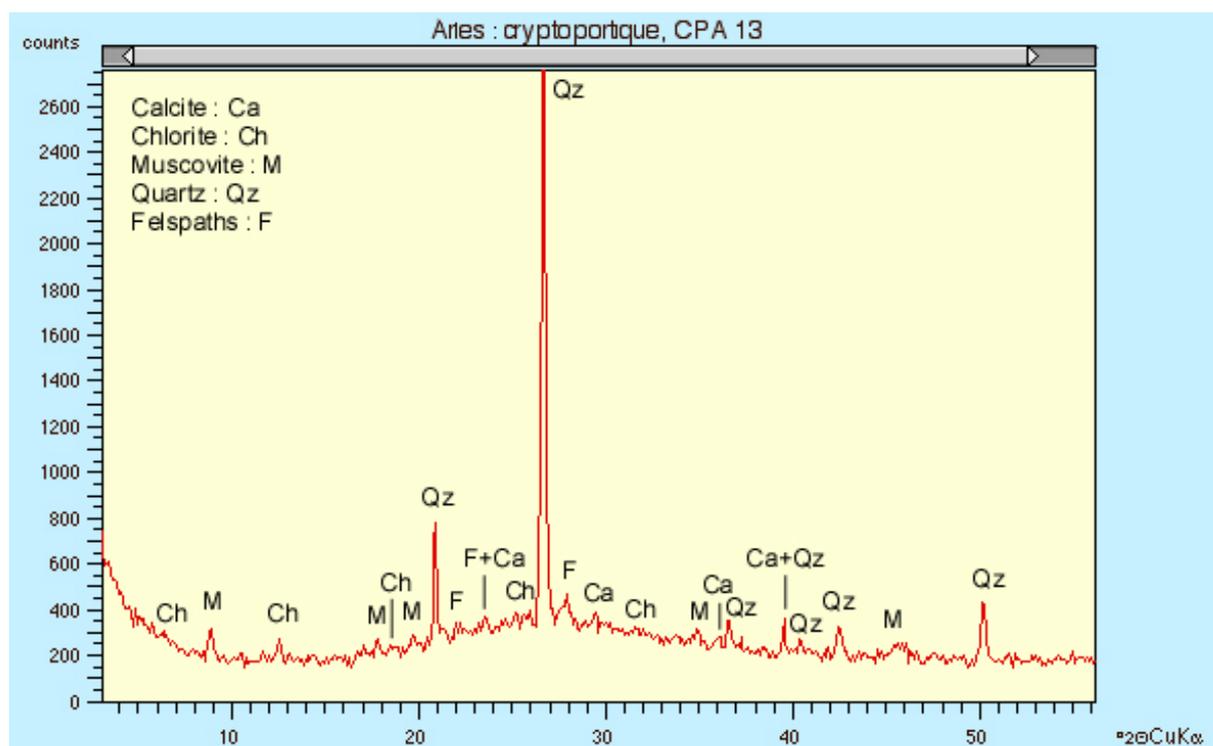


Fig.K20. Diffractogramme de l'échantillon CPA 13 (type CPA-MS1). Notez la faible présence de la calcite.

3.3. Discussions

La typologie des mortiers du site a permis d'individualiser plusieurs ensembles d'échantillons qui se sont révélés correspondre à des ensembles architecturalement et chronologiquement cohérents. Cela, d'une part, valide la typologie et permet, d'autre part, de discuter la résurgence, sur plusieurs sites dont les phases initiales de construction ne coïncident pourtant pas, de types particuliers de mortier.

4. Le théâtre

Le théâtre antique de la ville d'Arles a été érigé sous Auguste (dernier tiers av. J.-C.) sur la colline de l'Hauture. Il est l'un des plus anciens de toutes les provinces romaines, et aussi l'un des rares de Gaule à ne pas asseoir la *cavea* sur une pente naturelle, l'ensemble étant construit sur une base entièrement maçonnée (Burnand 1996). La *cavea* de 102 m de diamètre pouvait contenir 10 000 spectateurs.

4.1. Echantillonnage

Neuf prélèvements ont été effectués (voir tabl.K21 et plan K22). Les échantillons TAA 2A, 2B, 3, 6 et 8 sont les seuls à avoir été étudiés par microscopie optique, les autres ayant bénéficié uniquement d'une analyse macroscopique. Des mortiers supposés modernes (de restauration) ont été prélevés pour comparaison (TAA 2B et 6).

Echantillon	Origine	Antique ou Moderne ?	Type de mortier
TAA 1	Mur transversal sous la scène (<i>logeum</i>)	Antique ?	?
TAA 2A	Alvéole 2-galerie, en fondation	Antique	QDE-MS2
TAA 2B	Alvéole 2-galerie, en fondation	Moderne	-
TAA 3	Alvéole 3-galerie, en fondation	Antique	QDE-MS2
TAA 4	Mur rayonnant sous galerie, entre alvéoles 2 et 3	Antique	QDE-MS2
TAA 5	<i>Vomitorium</i> alvéole 10, mur de fermeture contre l'escalier (plusieurs fragments identiques)	Antique	QDE-MS2
TAA 6	<i>Aditus</i> dans l'axe de l'alvéole 10, rejointoiement du mur sud	Moderne	-
TAA 7	<i>Aditus</i> dans l'axe de l'alvéole 10, mur sud	Antique	QDE-MS2
TAA 8	Entre alvéoles 11 et 12, le long galerie (13° assise)	Antique	QDE-MS2

Tabl.K21. Echantillons de mortier de chaux du théâtre antique d'Arles.

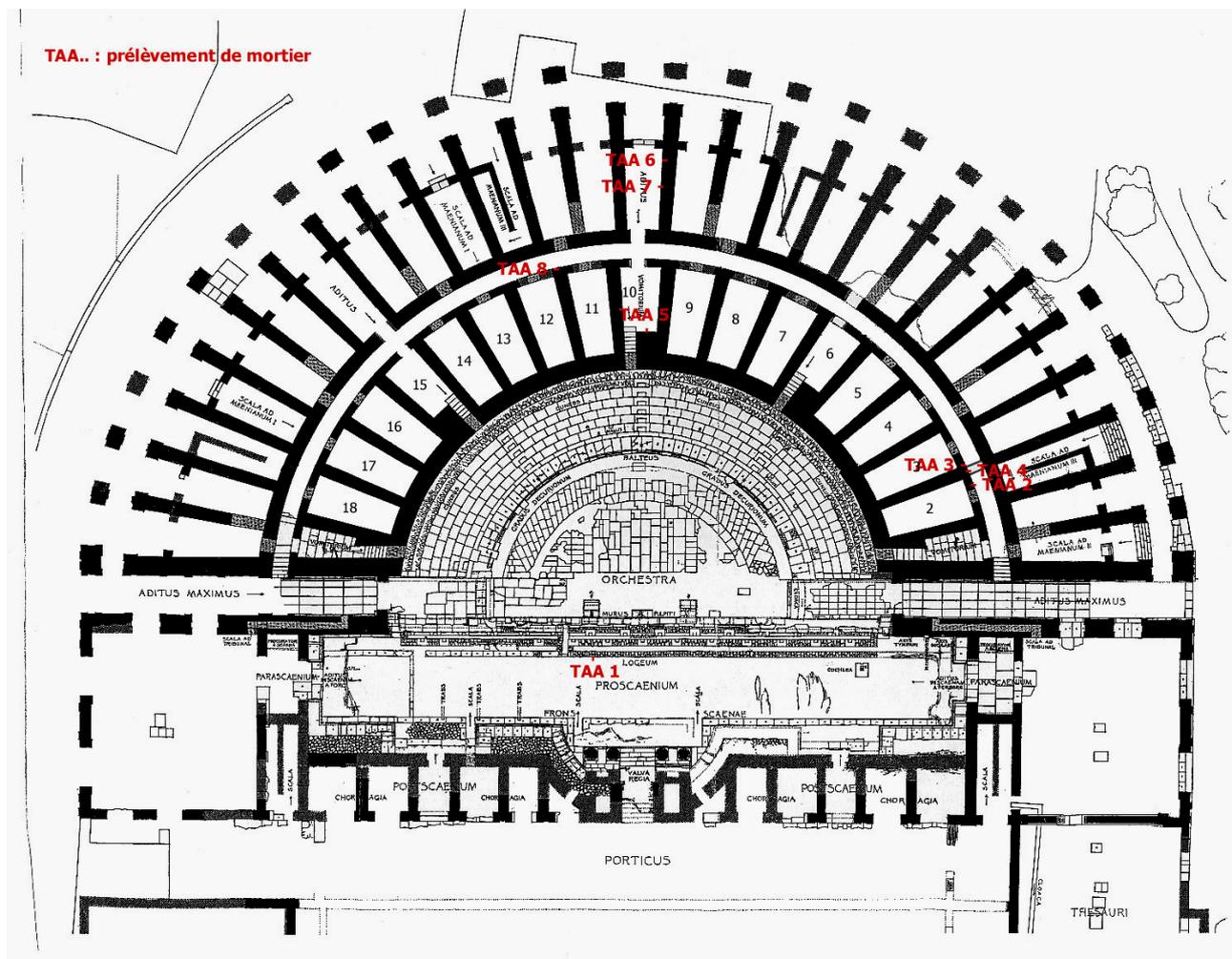


Fig.K22. Points de prélèvement de mortier dans le théâtre antique d'Arles.

4.2. Résultats

Le granulat présent dans les différents échantillons correspond à celui retrouvé dans les liants architecturaux des précédents édifices. Il est aussi visible dans la charge des mortiers de restauration qui se singularisent par le calibrage et la grande finesse du granulat quartzeux, le diamètre moyen des grains étant de 200 μm , le diamètre maximum de 500 μm . Les grains sont anguleux. La couleur et la dureté des deux échantillons les rapprochent des ciments actuels⁷.

Les échantillons prélevés en vue de caractériser le liant architectural d'origine sont tous identiques, excepté TAA 1, et se raccordent à un type de mortier déjà connu, défini lors de l'étude des thermes de l'Esplanade : QDE-MS2. Tous les traits caractéristiques de ce type

ont été identifiés : couleur macroscopique blanc terne (rosé à beigeâtre), teneurs significatives en microbasalte alcalin et fragments de roches calcaires, proportion relativement faible et dimension relativement importante des quartz (fig.K23).

Le spécimen TAA 1 n'a pu être étudié par microscopie du fait de sa trop petite taille (difficultés de prélèvements). Son aspect macroscopique le rapproche des mortiers de chaux antiques de la ville. Sa couleur est blanche, très claire mais plus terne que celle des échantillons de type AMA-MS1. Du fait de la grande ressemblance macroscopique des liants présents dans les différents édifices, il est impossible de rattacher cet échantillon à un type connu, ou même de l'amener à définir un nouveau type de mortier.

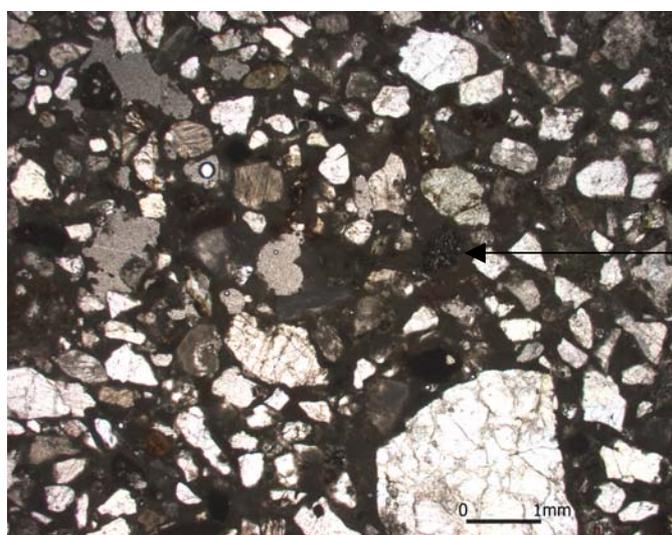


Fig.K23. Echantillon TAA 2A (type QDE-MS2). On peut remarquer quelques éléments ovales sombres : des fragments de basalte alcalin. LPNA.

basalte



4.3. Discussions

La stratégie d'échantillonnage était axée principalement sur l'identification des matériaux antiques, en comparaison du matériau de restauration qui est, actuellement, le plus accessible et le seul visible pour le visiteur. L'homogénéité du liant est démontrée pour l'ensemble de la *cavea*, en fondation ou pour les premières assises de l'élévation. Mais si cette structure est bien comprise, le reste de l'édifice est, dans l'état actuel de l'échantillonnage, peu clair. Une étude ultérieure du bâtiment pourra intégrer la totalité des ensembles architecturaux de l'édifice et, éventuellement, entrevoir l'évolution du monument. Le mortier antique étudié semble être le mortier d'origine, de la période augustéenne.

⁷ Une étude plus approfondie sur leur composition et leur origine n'a pas été effectuée.

5. Le cirque

Le cirque antique de la ville d'Arles est situé à l'extérieur des remparts, à côté de la nécropole, en raison de ses dimensions. Il a été construit afin d'accueillir les courses de char et autres spectacles dérivés. Il était constitué des éléments habituels de ce type d'édifice : une vaste piste (l'*area*) partagée en deux dans la longueur par un mur (la *spina*), et un anneau de gradins séparé de l'*area* par un mur de podium. Long de 450 m pour 101 m de large, il pouvait contenir environ 20 000 spectateurs.

Il n'a été que partiellement fouillé. Une datation par dendrochronologie situe sa construction vers 150 ap. J.-C., date maintenant admise bien que l'abondant matériel céramique tende à vieillir l'édifice (fin I^{er} s. ap. J.-C. ou tout début II^e s. ap. J.-C.). Il s'inscrit, en tout cas, dans le même espace chronologique de construction que l'essentiel des cirques et amphithéâtres de Gaule, du milieu du I^{er} s. ap. J.-C. au milieu du II^e ap. J.-C.

5.1. Echantillonnage

Les prélèvements n'ont été effectués que dans la partie exhumée proche du Musée de l'Arles antique, dans le virage sud-ouest de l'édifice (fig.K24). Les échantillons CRA 2 et CRA 3 correspondent respectivement au mortier de jointoiment d'un mur rayonnant et au mortier de blocage du mur périphérique « extérieur ».



Fig.K24. Virage sud-ouest du cirque antique.

5.2. Résultats

Le mortier des deux échantillons est identique. Il s'agit d'un matériau gris beige, de proportion chaux/granulat comprise entre 1:1 et 1:2. Le sable correspond au cortège « habituellement » visible dans les mortiers antiques des autres édifices de la ville. Les grains de quartz sont dominants. Les grains sont anguleux, parfois en esquilles, de diamètre inférieur à 500µm, excepté quelques gravillons parfaitement émoussés de quartzite. Quelques vestiges de paille sont visibles. Aucun élément de basalte n'a été observé. Une comparaison avec les types de mortier définis sur les bâtiments précédemment étudiés nous amène à attribuer ces deux échantillons au type QDE-MS4.

5.3. Discussions

Le type de mortier QDE-MS4 a été identifié dans les thermes de l'Esplanade ; son emploi y est limité pour l'essentiel à la reprise des murs de la pièce 12. Nous l'avons aussi repéré dans l'amphithéâtre pour une maçonnerie de sous-sol (sans pouvoir définir s'il s'agit ou non d'une partie restaurée de l'édifice).

Les thermes de l'Esplanade semblent avoir été érigés au début du II^e s. ap. J.-C. Le type de mortier principal, caractéristique de cette construction, est QDE-MS1. Il apparaît, semble-t-il, dès la fin du I^{er} s. ap. J.-C. puisque nous l'avons identifié dans les maçonneries de l'amphithéâtre et dans celles des rajouts flaviens des cryptoportiques. Le type QDE-MS4 lui est postérieur, plus tardif. La datation de la réfection ou transformation de la pièce 12 des thermes ne nous est pas encore connue, mais il semble logique de l'attribuer à une phase postérieure au tout début du II^e s. ap. J.-C. Le type de mortier QDE-MS4 apparaîtrait donc, pour le cirque, comme un nouvel indice pour une datation du milieu du II^e s. ap. J.-C. Cet indice reste toutefois faible, et demande confirmation par la datation de la phase de transformation des thermes de l'Esplanade.

Arles : discussions et conclusions générales

Nous avons effectué une étude exhaustive des thermes de l'Esplanade et secondairement de l'amphithéâtre et des cryptoportiques de la ville antique d'Arles. Plusieurs types de mortier ont été définis et calés chronologiquement. La plupart a été de nouveau observée lors de deux études plus ponctuelles : celles du théâtre et du cirque.

Nous pouvons maintenant dresser le bilan, au travers de l'emploi du mortier, des grandes phases de construction à l'échelle de la ville (fig.K25). Les cryptoportiques et le théâtre ont été érigés lors de la période augustéenne (grosso modo le dernier tiers du I^{er} s. av. J.-C.) avec un mortier de chaux et de sable, que nous avons identifié comme étant le type QDE-MS2. Des structures du quartier de l'Esplanade, exhumées lors de la fouille des thermes, ont été maçonnées avec ce mortier, donc, vraisemblablement, à l'époque augustéenne. Une grande phase de construction et « restauration » est intervenue à Arles de la fin du I^{er} s. ap. J.-C. jusqu'au début du II^e s. ap. J.-C. (chevauchant la période flavienne, 69-96 ap. J.-C.). Deux types de mortier sont caractéristiques de ces travaux : AMA-MS1 pour l'amphithéâtre mais retrouvé aussi dans les cryptoportiques, et QDE-MS1 pour les thermes de l'esplanade mais présent aussi dans l'amphithéâtre et les cryptoportiques. Enfin, un nouveau programme est venu compléter l'urbanisme de la ville avec la construction du cirque au milieu du II^e s. ap. J.-C., avec de surcroît des interventions sur l'amphithéâtre et les thermes de l'Esplanade.

Il est réellement surprenant de percevoir pour cette ville, avec une telle netteté, les programmes architecturaux communs à l'ensemble des monuments. Ces programmes ont vraisemblablement été initiés par les autorités, ce qui peut expliquer qu'un même mortier de chaux et de sable, à la recette simple, se retrouve ainsi dans les maçonneries de plusieurs bâtiments. Le respect de la recette, d'un monument à l'autre, nous permet la comparaison entre chacun. Des variations de composition du matériau d'une phase de construction à l'autre, sans doute le résultat d'une relative hétérogénéité de la formation source longtemps exploitée, nous permettent d'attribuer valeur de datation à chaque type de mortier relativement bien circonscrit dans le temps.



Fig.K25. Phases de construction à l'échelle de la ville antique d'Arles, avec le type de mortier caractéristique, les édifices concernés (les principaux en gras) et, entre parenthèses, le nombre d'échantillons correspondant.

Ce travail a porté sur des édifices construits entre la fin du I^{er} s. av. J.-C. et le milieu du II^e s. ap. J.-C. D'autres monuments, tels les remparts, appartiennent à cet intervalle chronologique (Haut-Empire). Leur échantillonnage, déjà commencé, puis leur étude nous permettra peut-être d'affiner ces premiers résultats. Parallèlement, la ville est caractérisée par la présence de nombreuses structures datées du IV^e s. ap. J.-C. (Thermes de Constantin, habitations du quartier de l'Esplanade, restaurations de la *spina* du cirque, etc.) dont l'étude pourrait, éventuellement, nous renseigner sur les programmes architecturaux d'envergure du Bas-Empire.

Il faut de surcroît nous remémorer que plusieurs types de mortier de chaux n'ont pas trouvé place dans le schéma typochronologique général des mortiers de la ville. Cela nous rappelle toute la complexité de chaque édifice, dont l'étude exhaustive reste une nécessité afin de percevoir non pas la « patte » des autorités, mais celle du simple maçon.

Références

BÉRUBÉ M.-A., CHOQUETTE M. and LOCAT J. (1990) – Effects of lime on common soil and rock forming minerals. *Applied Clay Science*, **5**, 145-163.

BURNAND Y. (1996) – Les Gallo-Romains. *Que sais-je?*, Presses Universitaires de France.

CONGÈS G., BRUN J.-P. et ROTH-CONGÈS A. (1992) – L'évolution d'un quartier suburbain d'Arles. L'Esplanade. *Prov.Hist.* XLII, 120-133.

DELARUE S. (2000) – *Conservation et restauration de l'amphithéâtre d'Arles*. Monographie de l'Ecole du Louvre (accessible en ligne : <http://perso.libertysurf.fr/stephdelarue>).

GROS P. (1996) – *L'architecture romaine : Les monuments publics*. Picard, Paris, 503 p.

HEIJMANS M. (2000) – Arles, Esplanade Charles de Gaulle. *BSR - PACA*, 91-92.

L'HOMER A. *et al.* (1987) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Arles, n° 992.

MARTINET G. et QUENEE B. (1999) – Proposal for an useful methodology for ancient mortars study. In RILEM technical Committee – "Characterisation of old mortars, with respect to their repair". *International workshop Historic Mortars : Characteristics and tests at the Advanced Concrete and Masonry Center*, University of Paisley, Scotland, 12-14 mai 1999.

PICARD G. (1964) – Empire romain. Collection *Architecture Universelle*. Office du Livre. 192 p.

ROMAN D. et ROMAN Y. (1997) – Histoire de la Gaule (VI^e s. av. J.-C. – I^{er} s. ap. J.-C.), une confrontation culturelle. Editions Fayard. 791 p.

Annexes

Thermes de l'Esplanade :

Echantillon : point d'échantillonnage et type de mortier

- QDE 1** : mur 201, au niveau parement, côté ouest. MS 1
QDE 8 : mur 145, blocage. MS 1
QDE 9 : mur 144, blocage. MS 2
QDE 10 : mur 144, au niveau parement, côté nord. MS 2
QDE 17 : mur 133, blocage débordant sur le bloc 122. MS 1
QDE 19 : mur 133, joint côté sud, dans l'assise sur laquelle repose la canalisation de plomb, sous la maçonnerie de briques. MS 1
QDE 20 : mur 134, blocage. MS 1
QDE 27 : maçonnerie en terre cuite, côté sud de la pièce P.3, liaison des *tubuli* horizontales. MS 1
QDE 28 : mur nord-sud côté est de P.3, accolé contre le mur 134, blocage. MS 1
QDE 33 : mur 1, blocage. MS 1
QDE 38 : mur 3, joint au fer côté sud. MS 1
QDE 39 : mur 3, liaison des briques du départ de la voûte (partie ouest). MS 1
QDE 43 : mur isolé dans P.3, blocage entre la première et la deuxième assise. MSG 1
QDE 45 : mur 246, blocage. MS 1
QDE 46 : mur 245, blocage, à la même altitude que QDE 45. MS 4
QDE 48 : mur 255, blocage. MS 1
QDE 50 : mur 181, liant des briques, au niveau de la huitième assise. MS 1
QDE 53 : mur 176, liant des briques, côté est, entre le dixième et le onzième rang. MS 1
QDE 56 : mur arasé au milieu de P.8, blocage. MS 1
QDE 57 : "socle" en brique au milieu de P.8, cinquième rang. MS 5
QDE 58 : mur 156, blocage, premier rang de moellons après les douze rangs de briques. MS 1
QDE 59 : mur de séparation de P.4 et P.8, au niveau du parement, côté sud, entre sixième et septième assise à partir du sol de P.8. MS 1
QDE 60 : structure 219, liaison des briques de la voûte. MS 1 (?)
QDE 63 : rang de briques couronnant localement cet ensemble, mortier sableux de liaison. MS 1
QDE 64 : massif 183, blocage, côté sud.
QDE 66 : massif 183, au niveau du parement côté est. MS 1
QDE 67 : structure au sud du massif 183, joint de parement, côté nord. MS 2
QDE 70 : canalisation 167, joint de parement débordant en enduit, côté ouest. MS 3
QDE 73 : dans salle P.10, massif de maçonnerie au sud-est. MS 2
QDE 75 : mur 344, blocage, quatrième assise à partir du toit du bloc 345. MS 1
QDE 76 A : mur 344, joint débordant sur moellon, huitième assise à partir du toit du bloc 345, côté nord. MS 1
QDE 76 B : mur 344, joint débordant sur moellon, huitième assise à partir du toit du bloc 345, côté nord, immédiatement sus-jacent à QDE 76 A. MS 4
QDE 77 : mur 341, blocage. MS 1
QDE 78 : mur 342, blocage. MS 1
QDE 79 : mur 339, blocage. MS 4

QDE 86 : mur 175, blocage. MS 1

QDE 87 : mur 187, au niveau du parement, côté sud, quatrième assise à partir du toit du bloc 157. MS 6

QDE 88 : mur 150, blocage – parement. MS 1

QDE 89 : mur 151, blocage. MS 1

QDE 90 : mur 174, blocage. MS 5

QDE 95 : mur 154, blocage. MS 1

QDE 97 : canal maçonné sous le béton de tuileau de la pièce P.4, au niveau du parement, côté nord. MS 1

QDE 98 : structure 221, niveau de sol après l'arasement de la voûte 218, salle P.9. MS 5

L/ Le complexe thermal de la villa d'Escolives-Sainte-Camille (Yonne)



Carte d'identité

Fouille programmée d'une villa gallo-romaine, débutée en 1955.

Coordinateur actuel : Pascale Laurent.

Bâtiment étudié : thermes de la villa (secteur du « Pré du Creuzot »).

Datation présumée : plusieurs phases entre le I^{er} et le V^e s. ap. J.-C.

Nombre d'échantillons : 84.

Prélèvements effectués par l'analyste.

1. Introduction

Le site d'Escolives-Sainte-Camille se trouve à dix kilomètres au sud d'Auxerre (Yonne), à environ deux cents mètres au sud-ouest de l'antique *via Agrippa*. Le village actuel se situe au sommet du plateau calcaire s'élevant sur le côté ouest de la vallée de l'Yonne (fig.L1). Le site se compose de vestiges gallo-romains et mérovingiens, fouillés depuis 1955. L'occupation mérovingienne correspond à une nécropole installée dans les ruines des habitats gallo-romains. La partie gallo-romaine est constituée de thermes importants et d'habitats, occupés du I^{er} au V^e siècle ap. J.-C. Cet ensemble est interprété depuis peu comme une villa (Laurent 1998). L'établissement est d'une grande superficie, entre quatre et six hectares ; la partie agricole est peu connue. La partie privée, étudiée depuis les premières campagnes de fouilles, s'est révélée luxueuse par ses décors (enduits peints, placages de marbre, mosaïques...) et par l'étendue de sa partie thermale (grands bains doubles), ainsi que par la présence d'hypocaustes dans certaines pièces de l'habitat (fig.L2). Nous renverrons les lecteurs aux écrits de R. Kapps (1974) et P. Laurent (1996 et 1998) pour la description détaillée des vestiges de la villa.

Un travail de synthèse est engagé depuis quelques années sur le site, par l'étude des données des fouilles anciennes, par des études du mobilier archéologique, complétées par des sondages ponctuels.

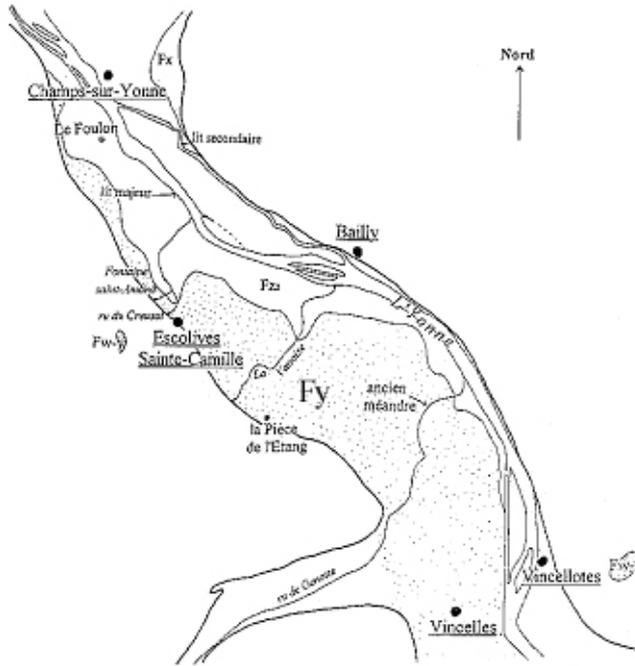
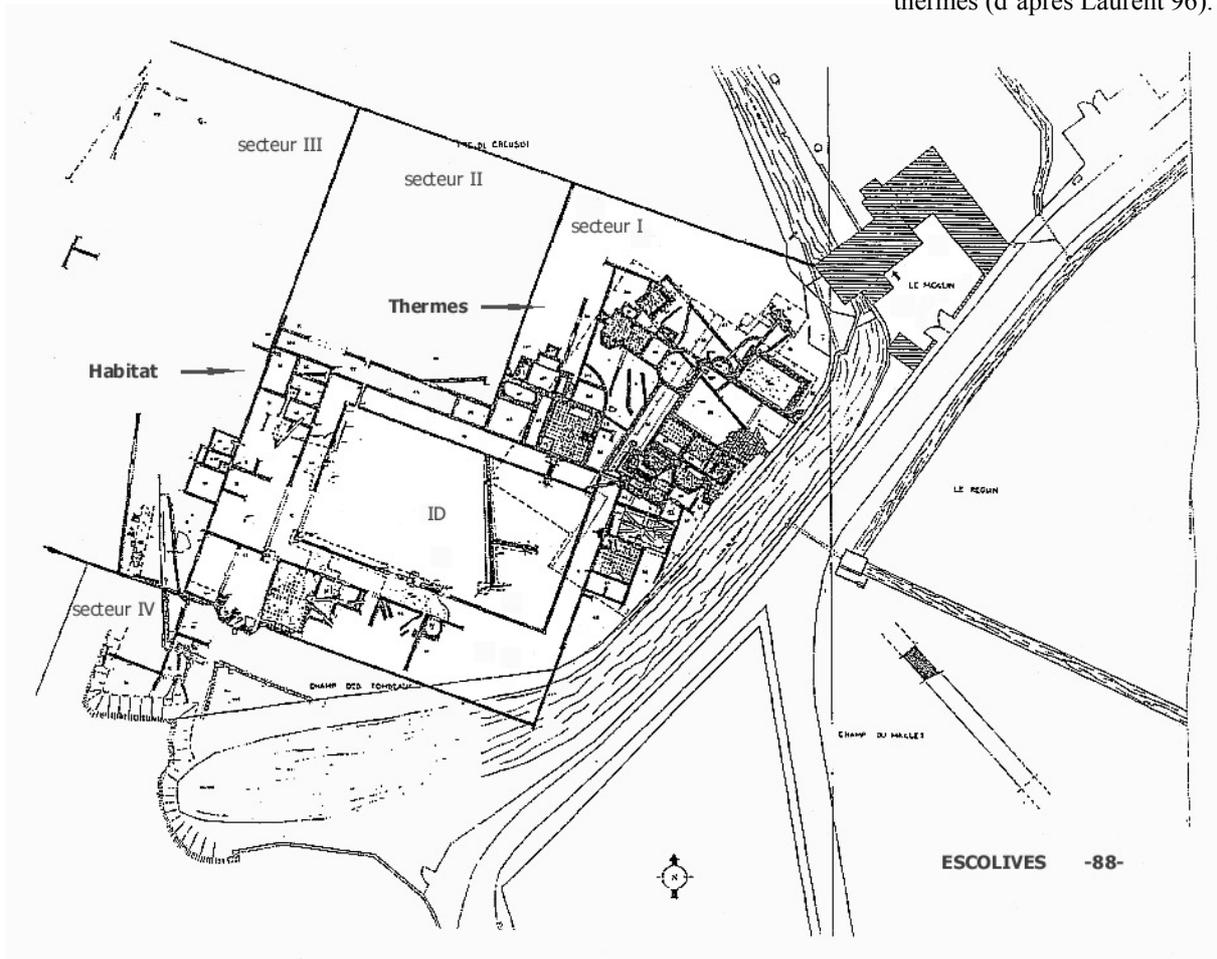


Fig.L1. Localisation d'Escolives-Sainte-Camille et des terrasses alluviales de la vallée de l'Yonne (d'après Dagobert 1998).

Fig.L2. Villa d'Escolives-Sainte-Camille : habitat et thermes (d'après Laurent 96).



La variété des liants architecturaux présents dans la partie thermale, ainsi que la grande diversité de leur usage, sont à l'origine de l'étude de ces matériaux. Devant l'enchaînement complexe des phases de construction, le recoupement et le recouvrement des maçonneries entre elles, il semblait intéressant de dresser le bilan des mortiers, afin d'en tirer un schéma chronostratigraphique complétant la vision actuelle de l'histoire du bâti.

C'est donc sur la partie thermale de la *villa* que porte cette étude. Nous avons effectué au total quatre-vingt quatre prélèvements, comprenant à la fois les mortiers de maçonnerie, les bétons de sol et les enduits de protection.

Devant l'importance de l'échantillonnage et des phases de construction, nous avons décidé de dissocier les prélèvements en deux groupes, d'un côté les mortiers de maçonnerie, qui font l'objet de ce chapitre, de l'autre les mortiers d'enduit et les bétons de sol, présentés ultérieurement (cf. chap. III.1). De fait, c'est quarante-neuf lames minces, pour cinquante-trois spécimens, qui sont analysées ici.

La quasi-totalité des murs a été échantillonnée, avec prélèvements verticaux multiples lorsque la maçonnerie était conservée sur une importante élévation. Les spécimens proviennent à la fois du blocage et des joints de parement, sauf lorsque l'observation sur le terrain montrait parfaitement la continuité du liant entre le cœur du mur et ses bordures, ce qui était relativement fréquent.

2. Résultats

L'observation aux différentes échelles des cinquante-trois échantillons a conduit à l'individualisation de douze types de mortier de construction : cinq mortiers à granulat de sable et gravier (MSG 1 à 5), deux mortiers sableux (MS 1 et 2), trois mortiers de tuileau et de sable (MTS 1 à 3) et deux mortiers de tuileau à sable et gravier (MTSG 1 et 2). Le tableau L3 présente de manière synthétique les différents types, en pointant leurs critères principaux de différenciation.

Type	Coloration de la matrice	Gravelles calcaires	Sable siliceux	Tuileaux	Chaux/ granulats	Remarques
MSG 1	Beige clair	25-30 %	15-20 %	~	1:2	Deux échantillons où présence de fragments d'un autre mortier
MSG 2	Blanc	25 %	15 %	+	1:2	
MSG 3	Beige crème	40 %	20 %	+	1:3	Incorporation de fragments de sol pédologique. Aspect terreux
MSG 4	Blanc rosé	30-35 %	20 %	+	1:3	
MSG 5	Blanc crème	50 %	+	-	1:2 à 1:3	
MS 1	Blanc cassé	20 %	30 %	~	1:2	
MS 2	Beige	+	40 %	~	1:1 à 1:2	
MTS 1	Rose saumon clair	10-15 %	5 %	30 %	1:2	Quelques gros grumeaux
MTS 2	Rose	+	20-25 %	30-35 %	1:3	
MTS 3	Rose	~	< 5 %	40 %	1:1 à 1:2	Nombreux gros grumeaux. Traces de paille (?)
MTSG 1	Rose beigeâtre saumoné	20-25 %	20-25 %	20-25 %	1:3 à 1:4	Les % de chaque famille de granulats sont moyennés
MTSG 2	Rose beigeâtre	25-30 %	20 %	25 %	1:3 à 1:4	

- : absents
~ : rares, présence anecdotique
+ : fréquents (< 5 %)

Tabl.L3. Présentation des types de mortier de la villa d'Escolives-Sainte-Camille

Les variations de la coloration d'un type à l'autre sont parfois infimes, alors qu'il est possible de percevoir les variations intrinsèques au sein d'un même type de mortier ; cela oblige à considérer la couleur comme un bon critère typogène seulement dans le cas où il est couplé à d'autres données, la couleur seule ne permettant pas de lier précisément tel échantillon à tel type de mortier.

3. Discussions

3.1. La typo-chronologie

Les types de mortier ont été confrontés aux phases de construction définies par les archéologues. La succession dans le temps des types de mortier a donc pu être établie, pointant des contemporanéités de types, montrant la persistance de certains types liés sans doute à des enchaînements rapides de phases.

La datation des différents états de la construction est :

- Etat I : I^{er} s. ap. J.-C.
- Etat II : fin du I^{er} s. ap. J.-C.
- Etat III-IV : II^e-III^e s. ap. J.-C.
- Etat V : fin III^e et IV^e s. ap. J.-C.

L'enchaînement des différentes phases de construction est la suivante (voir diagramme stratigraphique plus loin : fig.L4) :

Etat I, phase 1

Les échantillons (voir les plans d'échantillonnage : fig.L5) correspondant à cette phase sont ESC 18, 42, 45, 56, 70, 72 et 73 pour les salles EC (hypocauste), ED (salle froide), EH (salle froide), HH (abside froide) et EA. Le type caractéristique correspondant est **MSG 3**. Seul ESC 56 est préparé avec un autre mortier, de type **MS 2** (fig.L6).

MSG 3 serait le premier mortier du site, assez grossier et terreux. Le type MS 2 ne lui correspond en rien, et l'échantillon ESC 70 provenant du même mur que ESC 56 est de type MSG 3, ce qui tendrait à démontrer un usage ponctuel de MS 2.

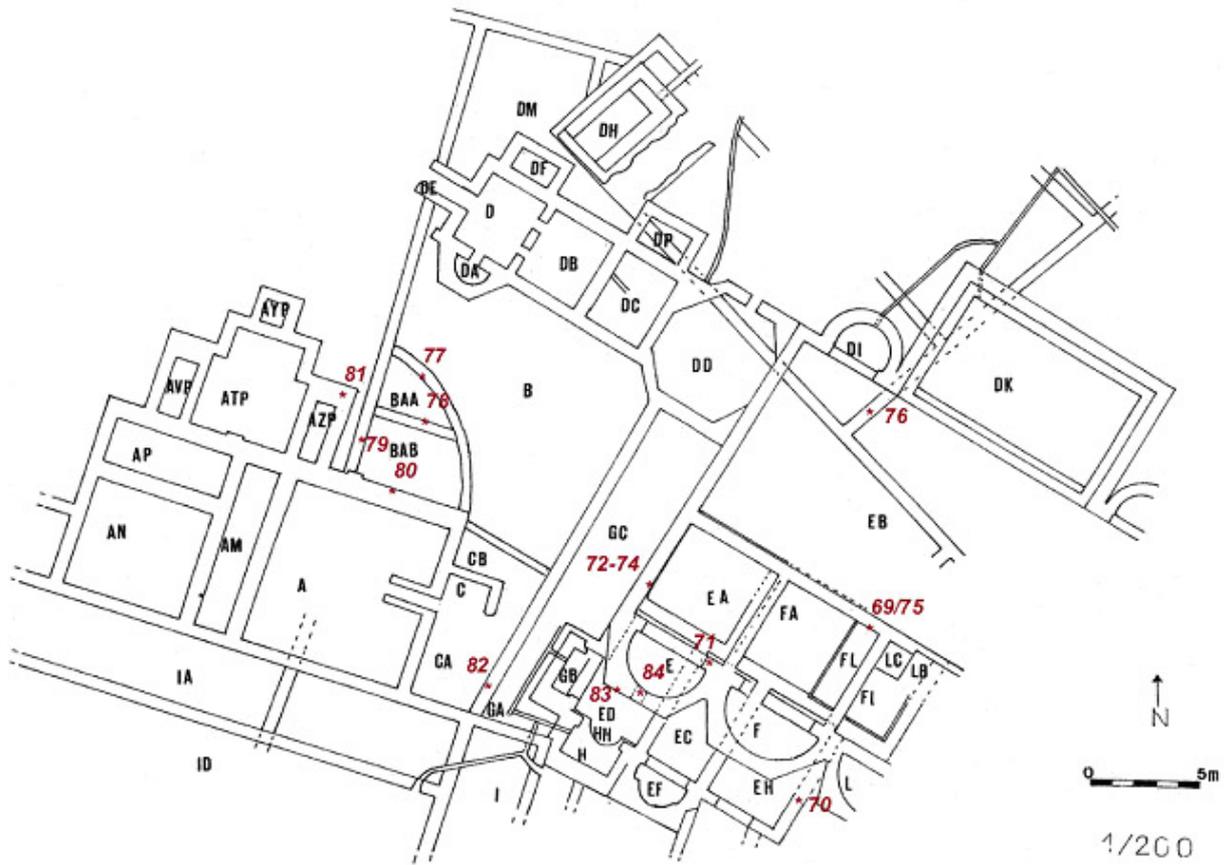


Fig.L5a. Plan de la partie thermale et points de prélèvement.

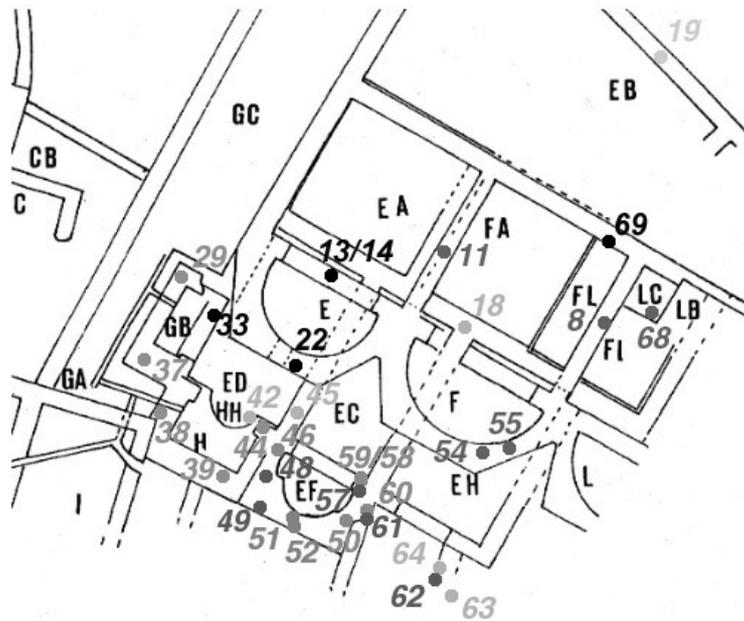


Fig.L5b. Détail des « grands bains » avec les points de prélèvement correspondant.

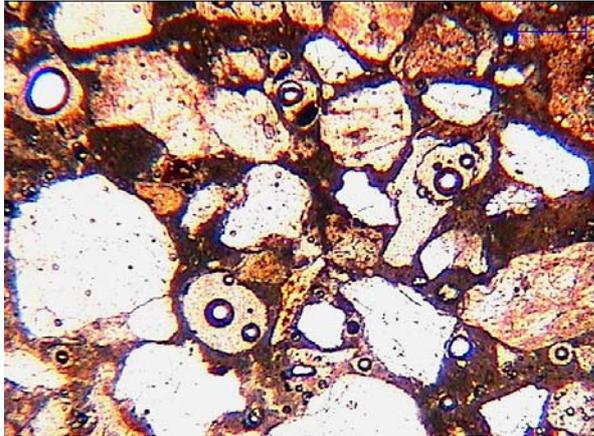


Fig.L6a. Mortier de type MS2 au granulat quartzeux. Echantillon ESC 56, LPNA (l'échelle mesure 500µm).

Fig.L6b. Idem, LPA.

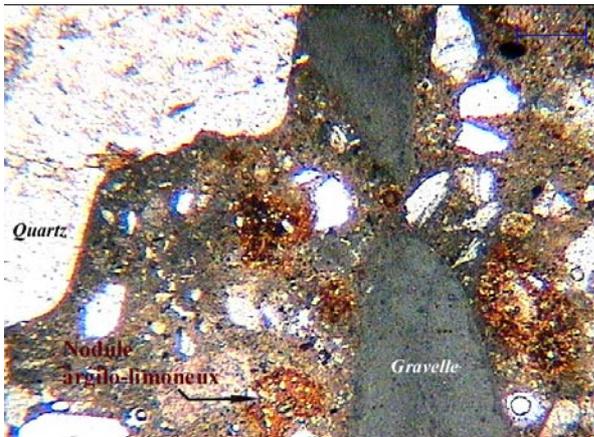
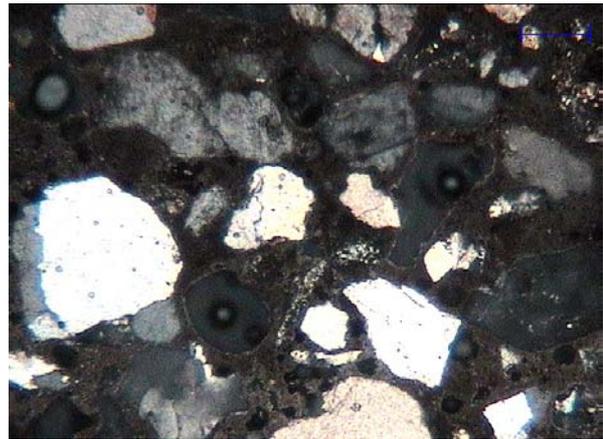
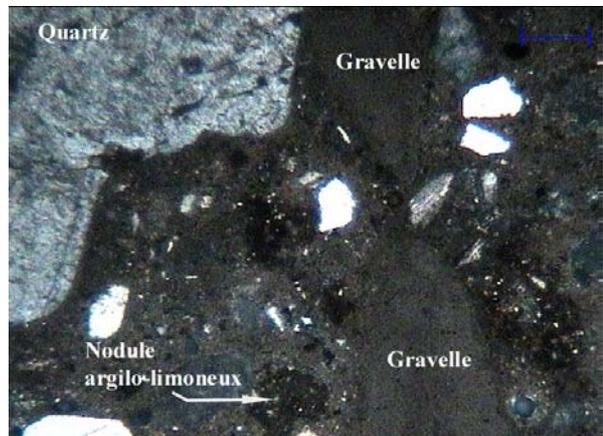


Fig.L6c. Mortier de type MSG3 au granulat grossier, à quartz, gravelles et nodules argilo-limoneux. Echantillon ESC 45, LPNA (l'échelle mesure 500µm).

Fig.L6d. Idem, LPA.



Etat I, phase 2

Les échantillons correspondant à cette phase sont ESC 60 à 64 pour la salle EG-KR (salle froide). Trois types de mortier ont été reconnus : les types **MTSG 1**, **MSG 4** et **MSG 3**. Les types MTSG 1 et MSG 4 sont liés en stratigraphie, on retrouve toujours le premier sous le deuxième (cf. *infra*; état I phase 3).

Le type MSG 3, correspondant à la phase précédente, se retrouve dans le mur est (mais pas dans le mur ouest). Ce mortier ne se trouve que dans la partie inférieure de la maçonnerie (échantillons ESC 63 et 64), sous-jacent au mortier MSG 4.

L'étude du mur est de la salle EA sur toute sa stratigraphie montre l'appartenance de cette maçonnerie aux premières phases de construction de la pièce (et non à un possible rattrapage durant la construction du couloir GC lors de l'état V). Les trois échantillons ESC 72, 73 et 74, prélevés respectivement au niveau des 14^e, 8^e et 3^e assises en partant du toit du mur, correspondent aux types MSG 3, MSG 3 (?) et MSG 4. Le prélèvement 73 marquerait la transition entre ces deux types de mortier, caractéristiques du premier état. Ainsi, le contact stratigraphique entre MSG 3 et MSG 4, visible aussi en EG-KR, témoigne de la continuité entre les phases 1 et 2 du premier état.

Etat I, phase 3

On totalise sept échantillons pour cette phase : ESC 46, 48 à 50, et 57 à 59, prélevés dans les murs de la structure EF (piscine chaude ou tiède).

Sans distinction particulière entre les joints de parements et le blocage, on retrouve systématiquement en stratigraphie le type **MTSG 1** sous le type **MSG 4**. La limite se remarque dans le coin nord-est au niveau de la deuxième assise à partir du toit du mur (conservation actuelle), et au sud sous le sommet de la troisième assise, toujours à partir du toit du mur.

Il est probable que cette association de types soit le reflet d'une technique de construction dérivée de celle exposée par Vitruve (*De Architectura*, VII, 4), recommandant, pour les murs en environnement humide, d'employer un enduit de tuileau sur une hauteur d'environ trois pieds (90 cm), afin que la partie basse ne soit pas gâtée par l'humidité. Ainsi, pour la construction de cette piscine chaude ou tiède, on aura jugé préférable ou nécessaire d'ajouter au mélange habituel (chaux + sable siliceux et gravelles calcaires) une forte

proportion de tuileau, en vue d'améliorer la durabilité de la partie inférieure des maçonneries de la piscine.

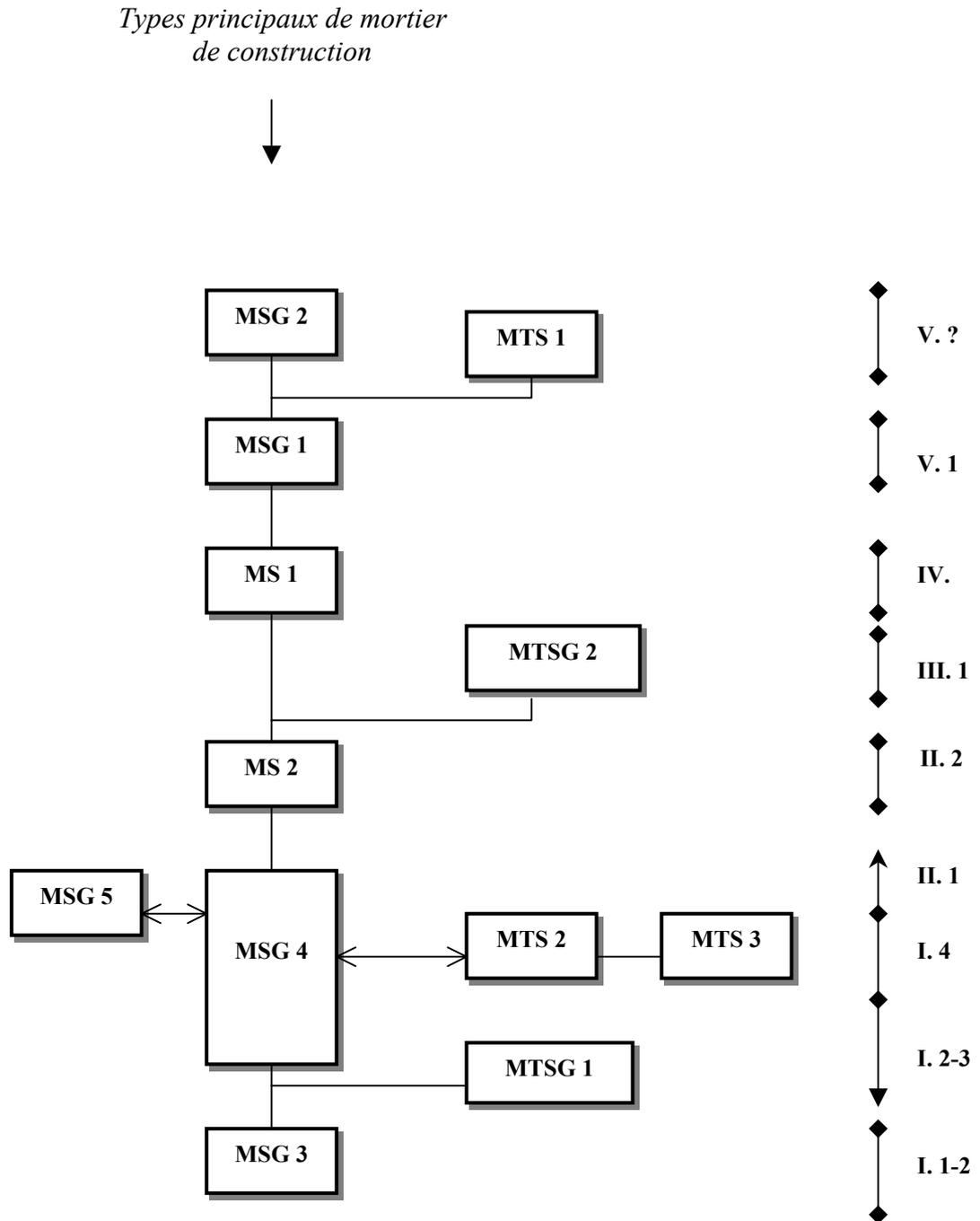
Etat I, phase 4

Peuvent être associés à cette phase les deux échantillons ESC 51 et 52 qui appartiennent à une zone particulière de la salle EF. Il s'agit du conduit de chaleur dans le mur sud (fig.L7). Le volume de mortier bouchant ce conduit est constitué du type **MTS 3**. La teneur en tuileau est importante, le granulat naturel (siliceux) présent dans le mélange pourrait provenir de la désagrégation des terres cuites. Le tuileau a pu être employé pour ses qualités de pouzzolane artificielle, comme si le fait de devoir compléter le mur (comblement du conduit) présentait un risque important avec une étanchéité non assurée.



Fig.L7. Vue depuis le nord de la salle EF. Certaines pilettes sont conservées en partie. Le conduit de chaleur, bouché, est visible en plein centre du mur semi-circulaire sud.

Fig.L4. Typochronologie générale des mortiers de maçonnerie de la partie thermique de la villa d'Escolives-Sainte-Camille.



L'édification des hypocaustes H et GB correspond aussi à cette phase. Nous ne nous intéresserons pas ici à la stratigraphie complexe sous-jacente aux *suspensurae*, avec sol et recharge de sol, ainsi que toute une succession de pilettes et de dalles de terre cuite. Les cinq échantillons sélectionnés correspondent aux murs périphériques des salles H et GB (ESC 29, 37 à 39, et 44).

L'étude des mortiers conforte l'idée de contemporanéité de ces deux structures, puisqu'un seul et même type (le type **MTS 2**) a été reconnu dans les murs périphériques de GB et H (fig.L8). Encore une fois, comme pour la phase précédente, le tuileau fut employé pour la fabrication du liant, mais de façon plus intense puisqu'il s'agit du granulat principal (alors que pour le type MTSG 1 la teneur en sable naturel était la plus importante). Il est possible aussi que l'intégralité de l'élévation se trouvait maçonnée avec ce type de mortier (car aucune stratigraphie n'est actuellement visible). On ne peut savoir si ces deux pièces communiquaient à l'époque, mais il est clair que leur édification fait partie d'un même programme architectural.

La « fermeture » de la salle GB, représentée par l'échantillon ESC 33, est quant à elle assurée avec un mortier de type **MSG 4**, une persistance de la phase précédente.



Fig.L8. Pièce G vue du nord. On peut encore observer les *tubuli* disposées le long des parois.

tubulus

Etat II, phase 1

La salle BAB (salle froide) est rapportée à l'état II phase 1 de la construction. Le prélèvement ESC 79 effectué dans le mur ouest définit le type de mortier **MSG 5**. Sa composition est originale pour le site puisqu'il s'agit du seul matériau constitué d'une charge uniquement calcaire, avec mélange de gravelles et de sable.

Cet état II phase 1 n'est pas uniquement représenté par l'échantillon ESC 79. Un autre, ESC 78, provient du mur transversal E-W séparant BAA (salle froide) de BAB. Sa composition le raccroche à coup sûr au type **MSG 4**, le dernier mortier de sable et gravier du premier état de construction. Il s'agit là soit d'un mur antérieur à cet état II de construction, soit la continuité (voire la contemporanéité ?) des états I phases 2-3 et II phase 1 doit être envisagée. Malgré l'utilisation du type MTS 2 pour la construction des murs périphériques des salles GB et H (état I phase 4), nous penchons pour une continuité du type MSG 4, hypothèse renforcée par l'échantillon ESC 33 (cf. phase précédente). La durée de vie de ce type ne peut s'expliquer que par l'application d'une recette relativement simple, avec extraction du sable dans une formation relativement homogène, peut-être en un même lieu.

Etat II, phase 2

L'échantillon ESC 77 a été prélevé dans le mur en arc de cercle séparant les pièces BAA et BAB de la cour B. Il correspondrait à la deuxième phase du deuxième état de construction. La composition et l'aspect du mortier sont proches de ceux des types MS 2 (Etat I phase 1 ?) et MS 1 (état IV). On ne peut se prononcer, sauf à émettre l'hypothèse que le type **MS 2** ne correspond aucunement à une phase du premier état, mais serait la marque d'une reprise du mur est de EH durant l'état II phase 2.

Etat III, phase 1

L'échantillon ESC 80 provient d'une structure de l'état III phase 1, du mur nord de A (hypocauste). La composition du matériau rappelle celle du type MTSG 1, caractéristique de la phase 2-3 du premier état. Mais si la recette est la même, les matières premières sont elles légèrement différentes : les familles de tuileau sont différentes, la variété des fragments de

roches calcaires est plus importante dans les échantillons du type MTSG 1, et ESC 80 présente quelques gros éléments de silex. Il faut donc voir ici, non une parfaite récurrence du type, mais un hasard de réemploi d'une même recette. ESC 80 définit le type de mortier **MTSG 2**.

Etat IV

Les échantillons ESC 19 et ESC 76 proviennent de murs de structures sous-jacentes à EB, construites lors de l'état IV. La composition du mortier est identique entre ESC 76 et ESC 19, marquant l'emploi du type de mortier **MS 1**, particulier pour le site, pour la construction des maçonneries du quatrième état. Il s'agit d'un mortier sableux, à granulats bien triés. On y retrouve les éléments siliceux et carbonatés présents dans les types MSG, l'origine géologique du sable n'a pas changé. La finesse relative du mortier pose plusieurs questions, sur l'hétérogénéité de la formation géologique source et sur la possibilité de traitement par tamisage de la matière première. Il est possible que la source de granulats puisse évoluer avec la persistance de l'extraction. Elle peut aussi changer avec le temps, de nouvelles carrières apparaissant. Il serait dans ce cas impossible de savoir si le granulats fut choisi spécifiquement pour sa finesse, ou s'il s'agit d'un hasard. Il nous manque les carrières de sable pour pouvoir statuer.

Etat V, phase 1

Les échantillons correspondant à cette phase sont ESC 8, 11, 22, 54-55, 68-69, 71 et 81 à 83, prélevés dans les maçonneries des structures EA (hypocauste), FA (piscine puis hypocauste), E (piscine chaude puis froide), F (piscine tiède), LB (piscine puis hypocauste), LC (seuil ?), AZP (piscine ?) et GC (couloir-puisard). Le mortier observé appartient toujours au même type **MSG 1**, assez proche du type MSG 4.

Etat V, phases postérieures ?

Les types **MTS 1** et **MSG 2** ont été définis respectivement par ESC 14 et ESC 13. Les deux mortiers sont en contact stratigraphique dans le mur nord de la piscine E, MSG 2 recouvrant MTS 1.

L'échantillon ESC 75 a été prélevé dans les dernières assises du mur nord des salles EA, FA et LB, dans la salle FA, quelques assises plus haut que ESC 69 (type MSG 1). Il est de type MTS 1. L'échantillon ESC 84 a été prélevé dans le blocage bouchant le conduit voûté du mur sud de la salle E. Il est de type MSG 2.

Il paraît assuré, finalement, que ces deux types de mortier ont une réelle valeur typochronologique, marquant l'état V, pour une (ou des) phase(s) postérieure(s) à la phase 1. On ne peut dire s'ils sont contemporains ou non, cela reste possible malgré une postériorité technique de MSG 2 visible au moins en un point (mur nord salle E) ; mais il paraît étonnant, si contemporanéité il y a, que le bouchage du conduit voûté du mur sud de E ait été effectué avec le type MSG 2, et non MTS 1 pourtant de composition plus adéquate pour un raccord de maçonnerie de piscine (cf. le conduit de la salle EF). Nous incluons ces deux types dans un même lot de phases de construction de l'état V, en gardant une chronologie relative fixée sur le seul exemple de leur relation stratigraphique.

3.2. Aspects géologiques et techniques

Le site d'Escolives-Sainte-Camille se situe entre 105 et 123 mètres d'altitude sur le versant ouest de la vallée de l'Yonne. Cette rivière ne possède qu'un seul gros affluent, la Cure. L'Yonne et la Cure prennent leur source dans le Morvan cristallin et drainent un bassin-versant constitué de formations de différentes natures pétrographiques (volcaniques, plutoniques, métamorphiques et sédimentaires). L'hétérogénéité pétrographique se retrouve dans les alluvions (Dagobert *et al.* 2001).

La nappe Fy (les alluvions anciennes de la basse terrasse ; voir fig.L1), mise en place durant le Pléniglaciaire (au Weichsélien), est silico-carbonatée (Dagobert *et al.* 2001). A la hauteur du site, la fraction sableuse (diamètre inférieur à 2 mm) est composée en grande partie de quartz, tandis que les calcaires tendres issus du Crétacé inférieur et moyen sont dominants dans la fraction supérieure à 2 mm (graviers calcaires roulés et aplatis ; Mégnien *et al.* 1972). Les travaux géoarchéologiques entrepris depuis 1998 ont montré en divers endroits du site d'Escolives-Sainte-Camille la proximité en profondeur des sables et graviers constituant la terrasse alluviale Fy, recouverts par 30 ou 40 cm seulement de terre végétale (Dagobert 1998). Les fondations des structures gallo-romaines se trouvent d'ailleurs dans les graves de la terrasse.

Trois familles de mortiers de maçonnerie ont été identifiées : les mortiers de chaux et de sable (MS), les mortiers sableux riches en gravillons (MSG) et les mortiers contenant du tuileau (MTS et MTSG).

Les MSG correspondent à l'exploitation des « graves » des basses terrasses de la vallée, retrouvées à quelques dizaines de centimètres de profondeur sous le site. Le type MSG 2, par sa faible proportion en limons (expliquant sa coloration blanchâtre), témoigne de l'exploitation des niveaux les plus grossiers à graviers calcaires et sable quartzueux isométrique : 1 à 4 mm d'après Mégnien *et al.* 1967.

En théorie, les types MS peuvent s'expliquer par un choix d'extraction d'une autre source de granulat, par l'exploitation d'un niveau plus fin dans les alluvions anciennes, ou par un tamisage des niveaux de graves. Les trois hypothèses sont acceptables. Les travaux réalisés à quelques centaines de mètres de la *villa*, lors de l'étude du site néolithique de « La Pièce de l'Etang », ont permis de mettre en évidence et d'étudier plusieurs paléochenaux en incision au sein de la grave weichsélienne (Dagobert *et al.* 2001). Plusieurs phases de comblement sont visibles. Le « faciès 5 » nous intéresse en particulier : il s'agit d'un sédiment limono-sableux ne comportant que quelques éléments grossiers silico-carbonatés, correspondant à une paléoberge. Ce type de faciès est à l'évidence celui exploité pour la préparation du type MS 2. Le lit du chenal contemporain (« faciès 4 ») est constitué d'un sédiment silico-carbonaté plus grossier. De façon générale, la divagation des paléochenaux de l'Yonne ainsi que les variations latérales de faciès communes à ces systèmes de dépôt alluvial permettent d'expliquer les variations dans la composition des mortiers.

Il faut signaler la restriction des types MS à deux phases précises de la construction, ce qui dénoterait un choix du granulat à employer effectué par les commanditaires de ces époques pour la construction des structures.

L'emploi de tuileau dans de fortes proportions est relativement rare dans les mortiers de maçonnerie. Elle semble être liée, ici, à des utilisations et structures bien spécifiques. Il s'agit soit des murs (ou portions de murs) de construction de piscines (types MTSG 1 et MTS 1 pour des zones basses, MTS 2 pour la totalité d'une élévation), soit de poches de mortier pour combler un vide (MTS 3). Cette utilisation du tuileau dans les murs s'inscrit sans doute dans une politique globale de construction de structures capables de résister à la stagnation ou à la circulation d'eau, la présence d'un enduit hydraulique ayant peut-être été jugée insuffisante.

Références

DAGOBERT C. (1998) – Etude géomorphologique et géo-archéologique ; Exemple sur le site archéologique d'Escolives-Sainte-Camille (Yonne). *Mém. de Maîtrise de Sciences de la Terre*, Université de Bourgogne, 30 p.

DAGOBERT C., PETIT C. et DUHAMEL P. (2001) – Approche géoarchéologique sur la nécropole monumentale d'Escolives (Yonne) : un site en bordure d'un chenal de l'Yonne à l'époque néolithique. In PETIT C. (coord.) – *Dynamique d'occupation de la plaine alluviale de l'Yonne en amont d'Auxerre du Néolithique à nos jours*. Rapport 2001, S.R.A. Bourgogne.

KAPPS R. (1974) – Escolives-Sainte-Camille gallo-romain. Le site. Le monument à arcades. *Revue Archéologique de l'Est et du Centre-Est*, premier supplément. Dijon. 112 p., 68 pl.

LAURENT P. (1996) – Escolives-Sainte-Camille, Pré du Creusot, Essai d'interprétation des thermes. Dijon, SRA Bourgogne, 54 p.

LAURENT P. (1998) – Une villa gallo-romaine à Escolives-Sainte-Camille. *Bulletin de la Société des Sciences Historiques et Naturelles de l'Yonne*. 130° vol., 473-479.

MEGNIEN C., MEGNIEN F., TURLAND M. et VILLALARD P. (1972) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Courson-les-Carières, n° 434.

MEGNIEN C., RAMPON G. et TURLAND M. (1967) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Auxerre, n° 402.

M/ Les mortiers de chaux du sanctuaire de Mars Mullo, la Forêterie (Allonnes, Sarthe)



Carte d'identité

Fouilles programmées depuis 1994 d'un sanctuaire daté du I^e s. av. J.-C. au IV^e s. ap. J.-C.

Coordinateur actuel : Katherine Gruel (CNRS-ENS, UMR AOROC 8546).

Bâtiments étudiés : temple à *cella* et galerie carrée, temple à podium et quadriportique.

Datation : construction du temple à podium entre 90 et 130 ap. J.-C. et du quadriportique vers 140-160.

Nombre d'échantillons : 68.

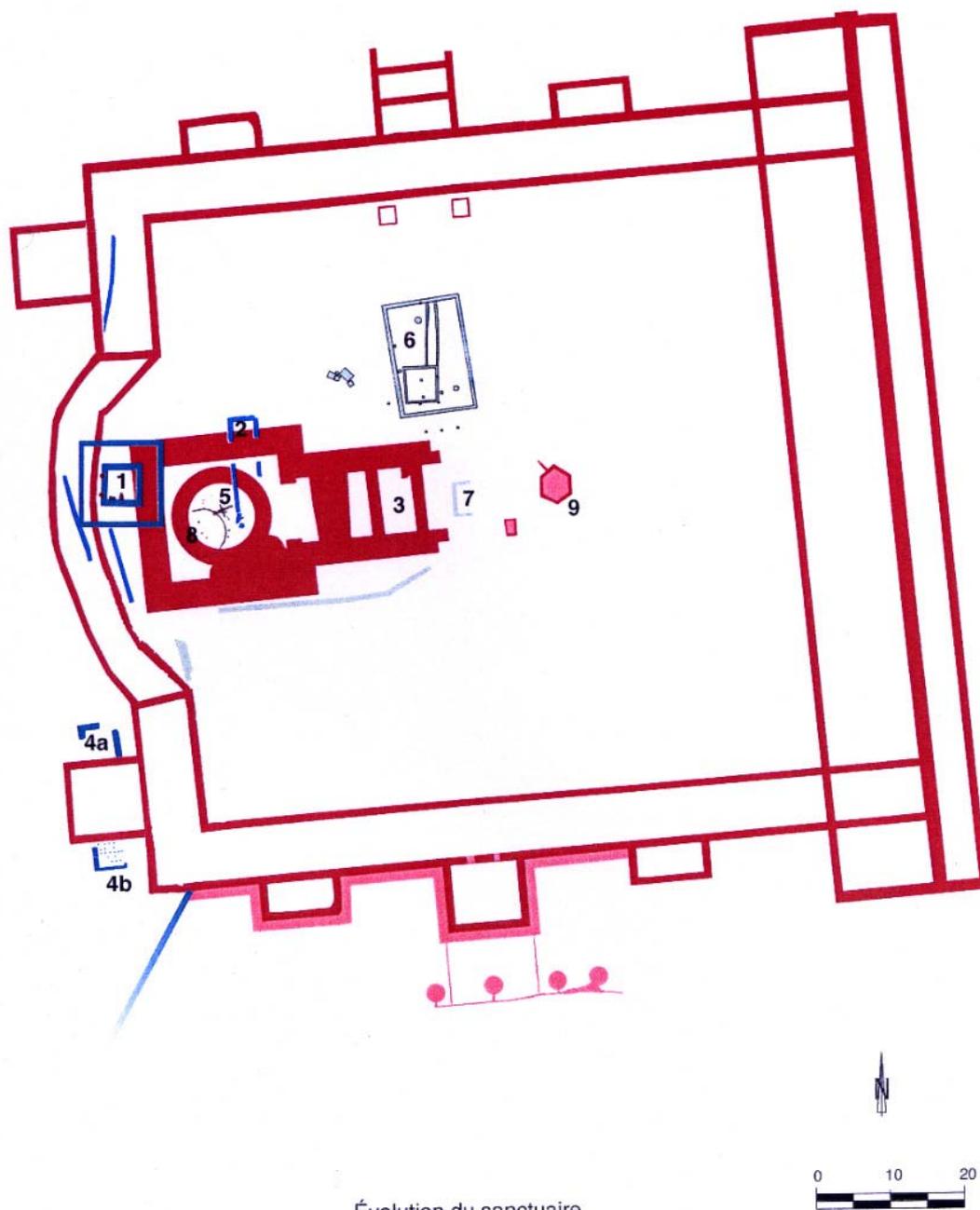
Prélèvements effectués par l'analyste.

1. Introduction

Le site de la Forêterie, ou Tour-aux-Fées, occupe un promontoire sur la rive droite de la Sarthe, en face de la butte du Vieux-Mans dominée actuellement par la cathédrale (Gruel et Brouquier-Reddé 2000, Bernier *et al.* 2001). Une succession de bâtiments cultuels prouve la permanence religieuse depuis le I^{er} s. av. J.-C. jusqu'au IV^e ap. J.-C. Le nombre de dédicaces aux Aulerques Cénomans trouvées sur le site montre l'importance du sanctuaire dans la *civitas* (Gruel et Brouquier-Reddé 2001).

L'évolution du sanctuaire est illustrée fig.M1. Plusieurs édifices en bois, détruits lors de l'édification du sanctuaire romain, ont été identifiés : l'édifice 8, semi-circulaire, comme le premier état du sanctuaire de Gournay-sur-Aronde (Somme) ; l'édifice 5, très fragmentaire, connu notamment par quatre sablières en bois ; l'édifice 1a, premier état de l'édifice 1, de plan quadrangulaire. Si l'on ne peut présumer de leur datation, leur fréquentation durant la période augustéenne (fin I^{er} s. av. J.-C.) est avérée.

L'édifice 1b est construit à l'époque augustéenne. Il s'agit d'un *fanum* (temple romano-celtique), maçonné (pierres et mortier de chaux), consacré au dieu Mars Mullo. Quelques bâtiments, tels l'édifice 4 à hypocauste et l'édifice 2, lui sont, semble-t-il, associés.



- | | |
|--|---|
| Édifices en bois dont édifices 1a, 5 et 8. | Chantier de construction dont édifice 6 |
| Fanum (édifice 1b) et thermes ?(édifice 4) | Édifice 3, temple à podium et quadriportique |
| Murs divers dont édifice 2 | |

Fig.M1. L'évolution du sanctuaire de Mars Mullo (Gruel et Brouquier-Reddé 2000).

Le temple à podium (édifice 3) et le quadriportique ont été construits après d'importants travaux de terrassement. La construction du temple est datée de 90-110 ap. J.-C. pour le gros-œuvre, et de 110-130 pour les finitions. Le quadriportique est érigé entre 140 et 160 ap. J.-C., après l'aménagement de la cour.

Le temple à podium est tétrastyle, péripète, d'ordre corinthien. Les fondations se composent de plusieurs caissons à murs périphériques. Le caisson quadrangulaire autour de la *cella** mesure 20 m de côté. La *cella* circulaire et à fondations indépendantes, à double parement et à blocage, est de type « tour ». Un nucleus maçonné, dont le parement a disparu, est collé contre les fondations de la *cella* (le nucleus M.34 du corps du podium). Il subsiste sur une largeur de 1,70 m pour une hauteur de 4,55/4,84 m. Le podium est ceint, sur trois côtés, d'un caniveau en grand appareil qui repose sur une fondation maçonnée, large de 1,50 m (Gruel et Brouquier-Reddé 2001, p.9).

Le quadriportique, de 104 m sur 98 m, est rythmé par des exèdres rectangulaires. Un escalier monumental a été identifié au milieu du portique nord, notamment par l'étude du profil des enduits peints (Allag *et al.* 1998). L'extérieur du portique était vraisemblablement couvert d'un enduit uniforme rouge d'après l'étude des enduits peints⁸. Une série de caniveaux associés à des puisards (au sud) canalise les eaux de ruissellement.

2. Echantillonnage

L'échantillonnage s'est voulu le plus représentatif et le plus complet possible. La liste (tabl.M2 reporté en annexe) comprend donc des mortiers de blocage ou de parement de murs, des enduits, des sols, des mortiers de canalisation, des joints de pilettes d'hypocauste, ainsi que du sable présent à proximité du site, des fragments de grès roussard (moellons) et de calcaire (présent en affleurement). La quasi-totalité des structures a été échantillonnée, une ou plusieurs fois (fig.M3). Dans ce lot, quelques éléments de trop mauvaise tenue n'ont pu être étudiés (ALL 28, 31, 33, 34 et 59).

⁸ L'analyse des enduits peints fera l'objet d'une prochaine étude.

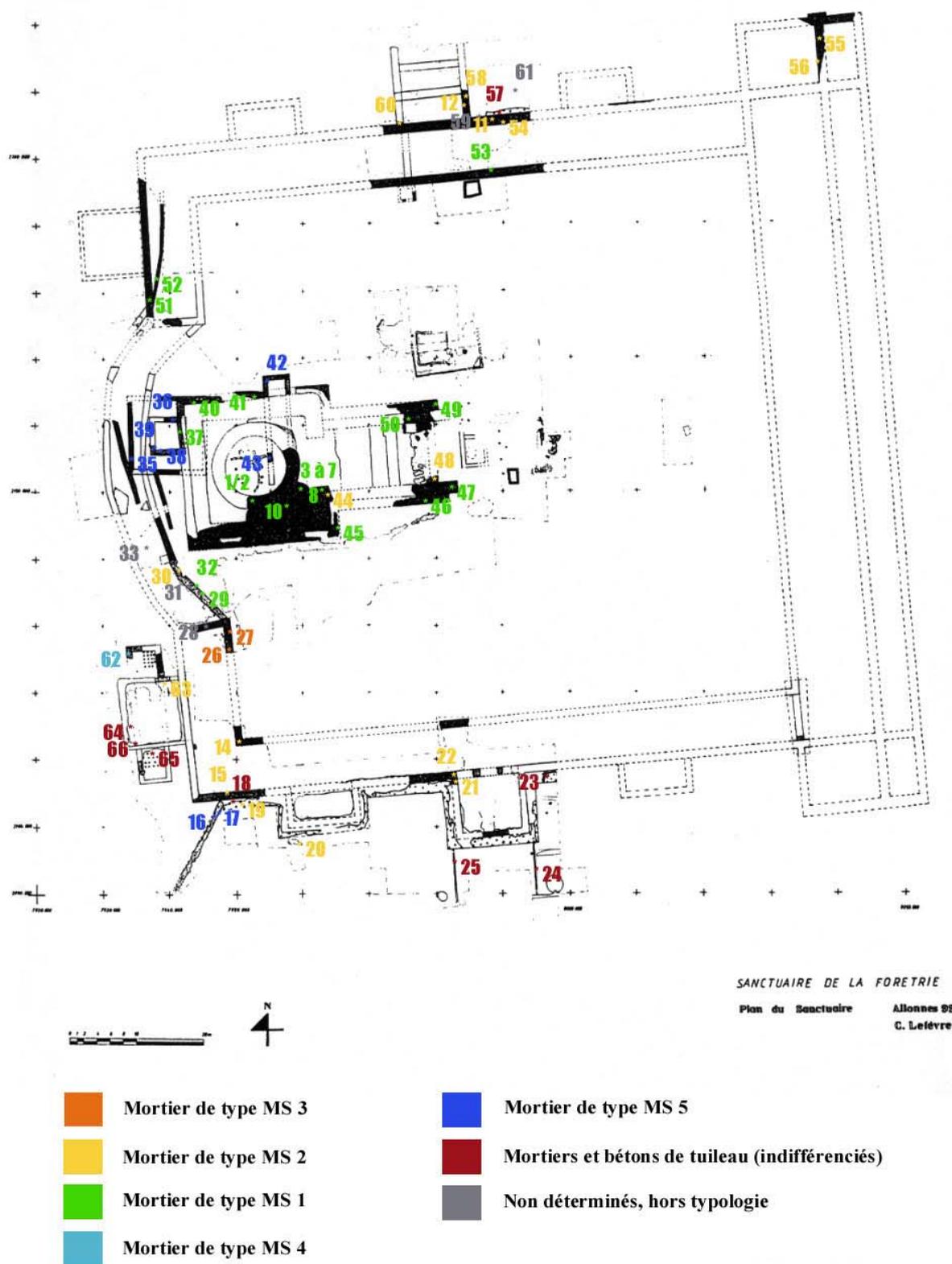


Fig.M3. Localisation des prélèvements de mortier et des types de mortier.

3. Typologie

3.1. Les mortiers sableux

Cinq types de mortier sableux, numérotés de MS 1 à MS 5, ont été identifiés. Leurs principales caractéristiques sont reportées dans le tableau M4. Peu de caractères les différencie. Le critère principal reste la couleur de la matrice en macroscopie, liée à la fois à la teneur en sable coloré ou non et à la présence d'oxydes.

Les types MS 1 et MS 2 se retrouvent abondamment dans la série des échantillons. Le type MS 3, bien que de facture équivalente, s'en dissocie par une très forte coloration ainsi que par une teneur importante en éléments oxydés. Le type MS 4 est particulier, proche de MS 2, il s'en démarque à la fois par sa coloration très ténue et par une importante teneur en sable très fin. MS 5 diffère de par sa qualité inférieure aux précédents types. On y observe une très importante teneur en sable mal trié (forte proportion de « limons ») ainsi qu'une pollution récurrente de grumeaux de chaux.

Type	Couleur	Chaux/granulat	Sable siliceux			"Oxydes"	Grumeaux	Glauconie
			Teneur	Granulométrie principale	Coloration			
MS 1	Blanc rosé à beige rosé	1:2 à 1:3	55-60 %	0,5-1,5 mm	gris - beige	Peu nombreux	Rares	Non observée
MS 2	Rose orangé clair	1:2	50%	0,25-1,25 mm	gris - beige	Fréquents	Rares	Peu observées
MS 3	Jaune orangé	1:2	50%	0,25 -1 mm	coloré	Nombreux	Rares	Non observée
MS 4	Blanc cassé	1:2	50%	Dizaines de microns à 1 mm	gris - beige	Rares	Rares	Nombreuses
MS 5	Jaune beige	1:4	60-70 %	0,1 -1 mm	gris, beige à coloré	Fréquents à nombreux	Nombreux	Fréquentes jaunes

Tabl.M4. Principales caractéristiques des types de mortier sableux du sanctuaire

3.2. Les mortiers à tuileau (tabl.M5)

Il n'y a pas de mortier ou de béton dont la charge soit uniquement constituée de tuileau. Le sable siliceux associé aux fragments de terre cuite correspond, sans trop de surprise, à celui employé dans la confection des mortiers sableux. Plusieurs sortes de terres cuites sont observées, marquées par des colorations allant du jaunâtre au brun sombre, en passant par les inévitables tuileaux roux. La finesse du dégraissant des terres cuites est une caractéristique peu variable, puisque le squelette est à chaque fois représenté par des limons quartzes. Les éléments de tuileau eux-mêmes peuvent être d'une grande finesse (« poussière » de tuileau). L'ensemble des fragments est toujours mal trié puisque l'on observe toute la gamme de granulométrie depuis les poussières jusqu'aux fragments les plus grossiers du matériau. Ainsi, il n'y a pas de réel tri granulométrique préalable à la confection des mortiers de tuileau, à part peut-être pour cribler ces agrégats des éléments les plus grossiers, possiblement récupérés pour préparer les bétons à tuileaux (BTS 1 et secondairement BTSG 1). BTSG 1 est un béton de sol composé d'un mélange de chaux, de sable siliceux, de tuileau de granulométrie plutôt fine (de la poussière jusqu'aux éléments de quelques millimètres de diamètre) et de graviers et cailloux de calcaire. La qualification de béton découle donc directement de la présence des éléments calcaires. La « partie MTS » de ce matériau correspond en tout point au type MTS 3. Le béton BTSG 1 se pose donc comme un alourdissement du mortier MTS 3 par enrichissement en cailloux.

Type	Couleur	Chaux/granulat	Tuileau		Sable siliceux	
			Teneur	Granulométrie (principale)	Teneur	Granulométrie (principale)
MTS 1	Rose saumon foncé	1:3	40%	Poussières à plurimillimétriques	20%	250 µm - 1 mm
MTS 2	Beige rosé	1:3	20-25 %	Poussière à 1 ou quelques mm	30%	250 µm - 1,5 mm
MTS 3	Rose bonbon	1:3	50%	Poussières ou centaines de µm ou 1 à 3 mm	15%	250-750 µm
BTS 1	Rose gris	1:3	20-25 % ?	Poussières et petits blocs centimétriques	20-30 %	250 µm - 1,5 mm

Tabl.M5. Principales caractéristiques des types de mortiers et bétons à tuileau.

4. Répartition spatiale des types et phases de construction du sanctuaire

Les premiers éléments maçonnés du sanctuaire sont les bâtiments 1b (*fanum*), 4 (les thermes), ainsi que « divers murs » (M.38, M.2, etc.) et la structure 2 sous-jacente au temple à podium (fig.M1). L'étude des matériaux montre l'utilisation du type de mortier MS 5 pour les structures 1b et 2 (fig.M3). Ce type ne se retrouve en effet que dans les murs de ces différents édifices et dans le mur 38 (voir fig.M6). Il est donc caractéristique des structures primitives du sanctuaire, ce que sa composition pourrait révéler en partie, puisque la qualité du matériau est moyenne, avec un mortier de faible tenue, poreux, riche en éléments fins (limons quartzeux) et en grumeaux de chaux. Le seul prélèvement effectué sur un mur de l'édifice 4 montre un mortier original (car non retrouvé ailleurs), de type MS 4.

Aucun liant architectural n'est actuellement lié au chantier de construction proprement dit du temple à podium. Par contre, tout un ensemble de mortiers correspond à l'édification du temple et de son portique. Les types MS 1 et MS 2 sont identifiés tout du long du quadriportique et pour le temple lui-même (fig.M3). Le type MS 1 apparaît dans l'abside (premier tronçon sud) du stylobate* ouest (ALL 29 et 32), dans le péribole* ouest (ALL 51) et le stylobate nord (ALL 53), et surtout pour le temple. Il s'agit en effet du mortier de préparation des fondations du caniveau ceignant la *cella* du temple et son pronaos*. La fondation des murs d'échiffre de l'escalier du temple est elle aussi maçonnée avec le type de mortier MS 1, alors que le mur de refend M.50 est du type MS 2. MS 1 est aussi employé pour la construction du temple, dans les fondations de la *cella*, dans les fondations du podium et du nucleus (échantillons ALL 1 à 8 et ALL 10). Remarquons enfin l'étonnante présence de ce type dans le mur 2 (ALL 52), antérieur au dernier état du sanctuaire. On retrouve le type MS 2 pour le portique sud (péribole et stylobate ; échantillons ALL 14, 15 et 22), le portique ouest (ALL 30), le péribole nord (ALL 11 et 54) et pour le pavillon d'angle nord-est (ALL 55 et 56). Il est aussi présent pour les fondations des murs d'échiffre de l'escalier nord (ALL 12, 58 et 60). On a de nouveau observé le type MS 2 pour le sommet de la fondation du parement en grand appareil du podium (ALL 44) et pour le radier de soutènement M.50 de son escalier (ALL 48). Enfin, le caniveau ou « trottoir hydraulique » (us 666) bordant le péribole sud présente un radier de fondation (us 215) maçonné avec ce matériau.

Un dernier type de mortier sableux, MS 3, est représenté par deux échantillons localisés dans le stylobate ouest (M.25), au niveau de l'arase de briques (ALL 26 et 27).

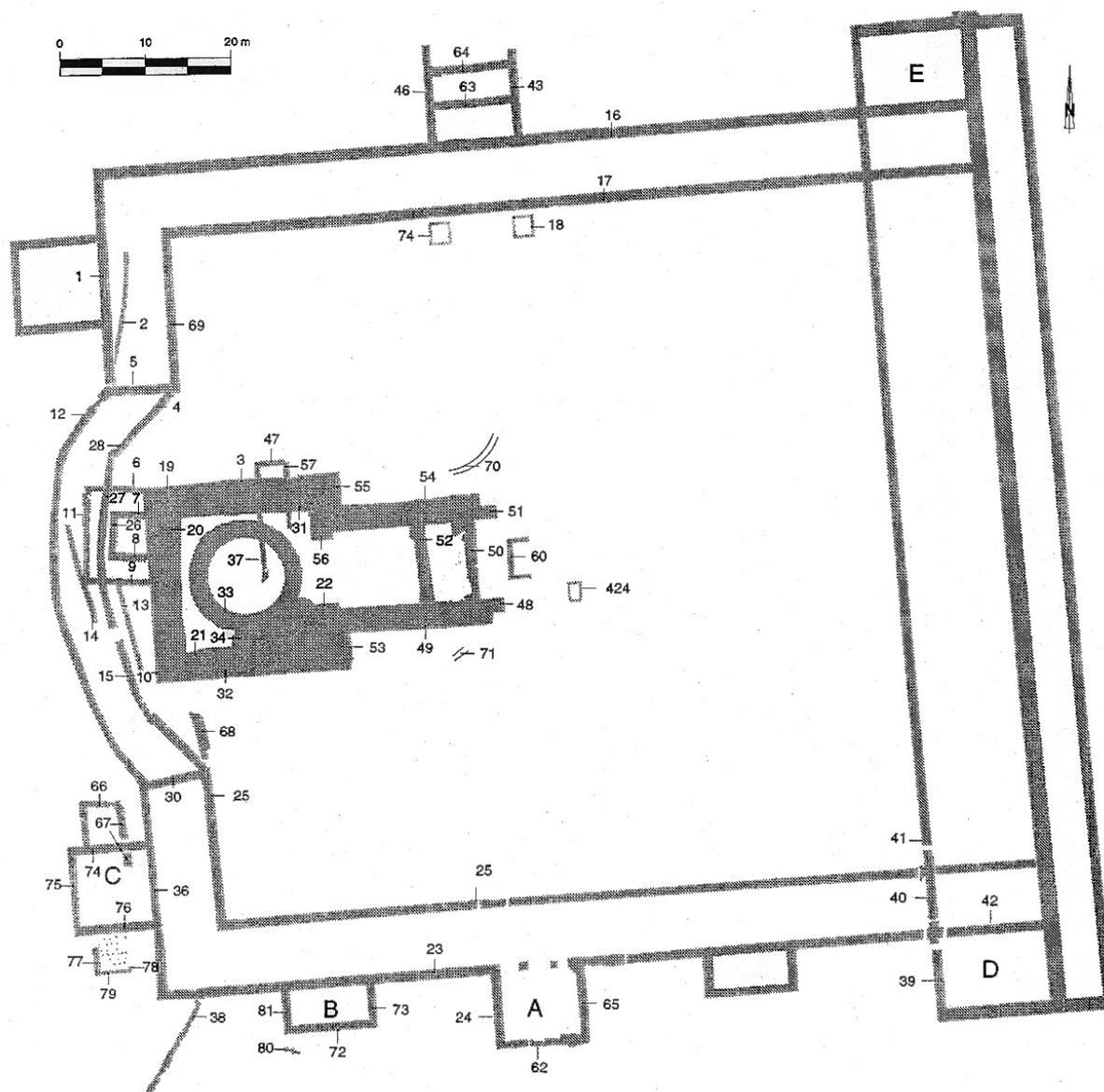


Fig.M6. Numérotation des murs du sanctuaire.

L'antériorité de MS 1 nous semble acquise car il a été reconnu directement en contact avec MS 5 dans les échantillons ALL 37 et 40, là où le caniveau reprend en fondation les murs du *fanum* (bâtiment 1b), ainsi qu'en contact stratigraphique sous MS 2 dans les fondations quadrangulaires du podium (M.22). Une interprétation en termes purement chronologiques de la répartition spatiale du type MS 1 nous semble possible. Il s'agirait du mortier caractéristique employé pour la construction du temple à podium, avant que MS 2 ne se généralise, ou plutôt avant que la composition du mortier n'évolue jusqu'au type MS 2, caractéristique, lui, de la construction du quadriportique.

5. Les autres fonctions primaires

Nous venons de faire le point sur l'ensemble des mortiers employés pour bâtir les murs. Certains de ces matériaux ont été utilisés pour préparer tout ou une partie des structures hydrauliques que sont le caniveau du temple et la canalisation courant le long du portique sud. Il nous reste donc à évoquer les mortiers employés pour d'autres destinations, c'est-à-dire les mortiers d'enduit, de canalisation et de jointoiement des pilettes d'hypocauste, ainsi que les bétons de sol ou autre.

Le système d'évacuation d'eau de la partie sud du sanctuaire a nécessité la construction de structures hydrauliques. La mise en œuvre de matériaux aux propriétés (voulues) hydrauliques n'est donc pas surprenante. Nous retrouvons un mortier riche en tuileau fin (MTS 1) pour le trottoir 666 (ALL 18 et 23). Le procédé de maçonnerie de cette canalisation voit la superposition d'un radier de pierres, d'un mortier sableux (type MS 2), de ce mortier hydraulique (MTS 1) et enfin d'une canalisation centrale en briques dont il ne reste que les empreintes. De fait, le mortier rose devait correspondre principalement au liant étanche des briques, ce qui explique la finesse des fragments de terre cuite. Il en va différemment pour les deux canalisations collées au sud de l'exèdre A, orientées nord-sud (us 709 et 730), dont les briques reposaient sur un béton de tuileau et de sable (BTS 1) qui assurait aussi la cohésion de la maçonnerie (échantillons ALL 24 et 25).

Le seul prélèvement d'enduit que nous avons effectué a été réalisé sur le mur de péribole nord (ALL 57), à proximité d'un exutoire. Cet enduit extérieur, sans doute peint en rouge, est constitué d'une unique couche de mortier de tuileau et de sable (MTS 2). La teneur en sable siliceux est plus importante que la teneur en tuileau. Ce type de composition semble

synonyme d'un emploi « polyvalent », c'est-à-dire susceptible d'assurer son rôle premier (de mortier de liaison, de protection ou de support) tout en permettant d'acquérir une certaine résistance à l'humidité⁹. Dans le cas présent il s'agit d'un enduit extérieur, soumis aux aléas climatiques, ce qui explique non seulement sa composition mais aussi le fait que l'on ne retrouve qu'une seule couche, la fonction principale de l'enduit étant de protéger la maçonnerie, non de supporter une couche picturale.

Le type MTS 2 nous est apparu avec l'échantillon ALL 65, en joint de pilette, pour une structure antérieure au dernier état. Si la composition en tant que telle ne nous semble pas aberrante, malgré l'idée malheureusement admise de l'emploi d'un liant de terre pour ces piles de terre cuite (Ginouvés 1992, p.212), la récurrence du type MTS 2 s'admet plus difficilement. Les compositions des échantillons ALL 57 et 65 sont similaires, mais leurs colorations macroscopiques varient quelque peu et le joint de pilette montre des vestiges de paille. Une distinction pourrait donc se faire, mais le nombre d'échantillons ne permet pas encore de conclure soit sur la longue durée de vie du type, soit sur la coïncidence des recettes.

La mise en œuvre du sol de l'exèdre C, à la différence des exèdres A et B, répond à la volonté de rendre étanche cette structure, puisque l'on observe à la fois un sol en béton de tuileau et des bourrelets d'étanchéité en mortier de tuileau à la base des murs (tout du moins le mur ouest M.75, échantillon ALL 64). Le mortier de tuileau MTS 3 est riche en fragments fins de terre cuite. Le béton BTSG 1 reprend sa composition et s'en distingue par l'ajout de cailloux calcaires. Cette catégorie de matériau correspond fréquemment à la solution envisagée pour préparer un sol étanche et résistant qui ne supportera aucun recouvrement de dalles de pierre ou de terre cuite. En comparaison, le sol du portique ouest (ALL 33) est constitué d'un mortier de sable siliceux englobant des cailloux, voire de petits blocs, de calcaire¹⁰. Il ne présente pas de tuileau. La même pratique s'observe pour le portique des thermes du Vieil-Evreux, au sol en béton blanc à cailloux calcaires.

⁹ Nous avons retrouvé ce genre de composition, entre autres, dans la partie basse de l'élévation d'un mur d'une piscine du I^{er} siècle dans la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille (Yonne), dans une couche de transition entre l'armature en *tubuli* et le support de fresque dans une voûte d'une *domus* à Rouen (décor daté du III^e siècle ; la pièce comportait un bassin) et dans différentes couches de support de fresques, non datées, des thermes de Roz Avel (Finistère).

¹⁰ La faible cohésion du matériau ne nous permet pas de faire des observations en microscopie optique.

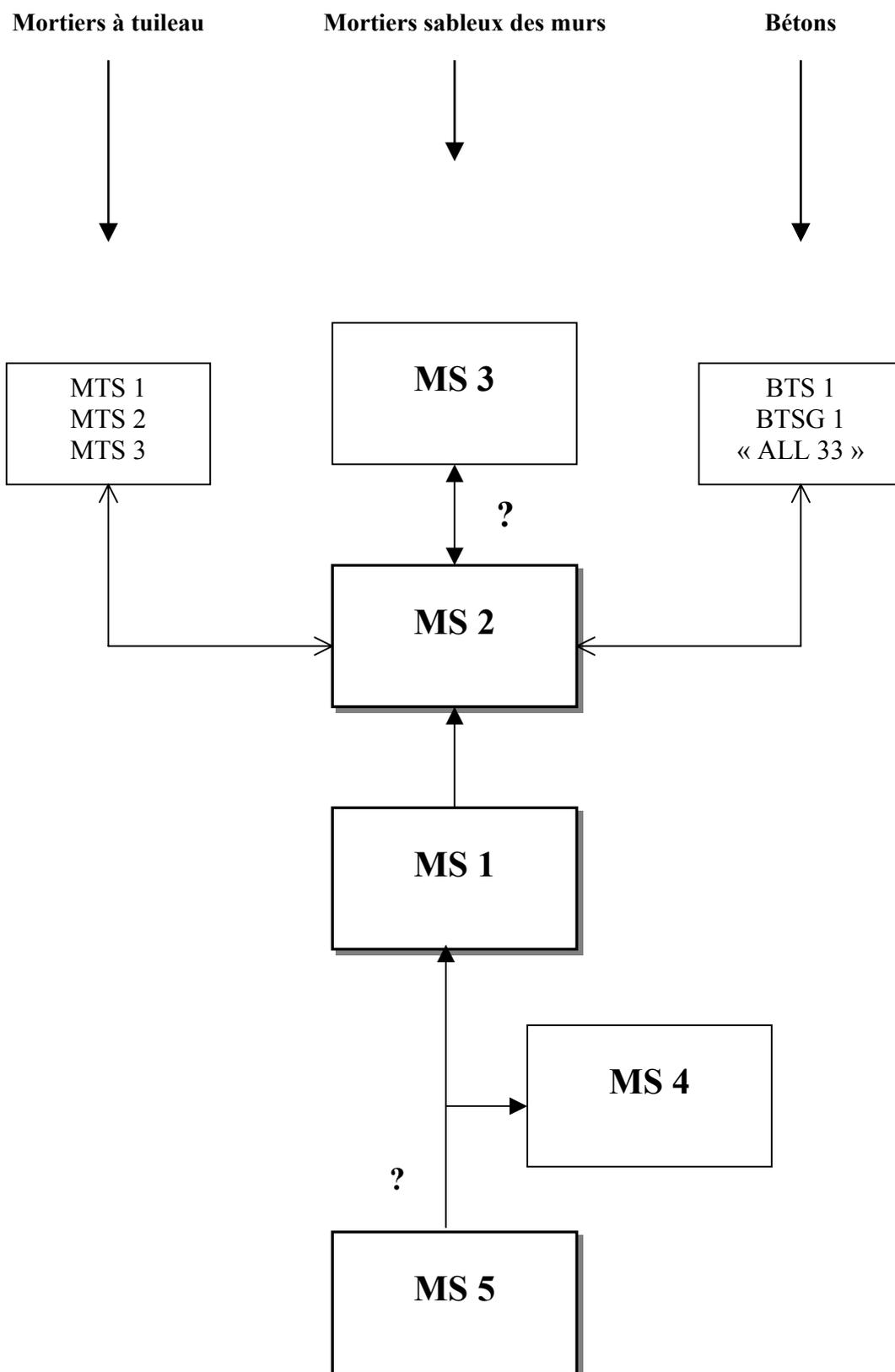


Fig.M7. Chronologie relative des types de mortier du sanctuaire de la Forêtierie

6. Bilan : évolution du sanctuaire et typologie des mortiers

Un parallèle peut être fait entre les phases d'aménagement du sanctuaire, définies par les archéologues, et les types de mortier.

Si l'on se fonde sur les données croisées de la fouille et de l'étude pétroarchéologique des liants architecturaux, on restitue l'évolution du sanctuaire comme suit. La première phase de construction faisant appel au mortier de maçonnerie correspond à l'édification du *fanum* (1b). Le type MS 5 est caractéristique de ce bâtiment et se retrouve ensuite dans l'édifice 2 ainsi que dans le mur 38, aussi bien en parement qu'en blocage. La construction de l'édifice thermal (?) 4 suit avec le type MS 4 (fig.M7), très proche dans sa composition de MS 5, mais de couleur claire, annonciateur de type suivant, MS 1.

Viennent ensuite les édifications du temple à podium puis de son quadriportique lors d'une deuxième grande phase de construction. Elle débute avec le type MS 1 pour l'érection de la *cella* et des fondations quadrangulaires du podium. Le nucleus du podium est maçonné alors, ainsi que les fondations du caniveau et une partie de l'escalier (les fondations des murs d'échiffre). On peut supposer que la construction de la *cella* s'achève enfin. Le quadriportique est ensuite commencé, puisque l'on repère en plusieurs points l'emploi du type MS 1. Ce type évolue vers un pôle plus coloré, représenté tout d'abord par le type MS 2. Celui-ci, interprété comme résultant d'une évolution de la formation meuble dont est extrait le granulat des mortiers, ne peut être contemporain de MS 1. Il en prend directement la succession, pour la construction du quadriportique et, nous semble-t-il, pour les finitions du podium et de l'escalier du temple. On suppose que le type MS 3, de même composition que MS 1 et MS 2, mais bien plus coloré, découle lui aussi d'une hétérogénéité de la formation sableuse. Sa place dans la typochronologie pourrait être en bout de chaîne, mais on ne peut le prouver. La zone du portique préparée avec ce type, en raccord avec l'abside, serait alors la plus tardive (à moins qu'il ne s'agisse d'une restauration).

L'ensemble des mortiers et bétons d'enduit, de canalisation et de sol sont mis en œuvre après la fin de l'élévation du sanctuaire. On doit donc considérer comme contemporains les types MTS 1 à 3, BTSG 1, BTS 1 et « ALL 33 ». Leur composition dépend prioritairement de leur fonction (cf. *supra*).

7. Les incertitudes

Deux échantillons posent problème sur l'ensemble des prélèvements. Il s'agit de ALL 52 (type MS 1, mur 2) et ALL 65 (type MTS 2 supposé, joint de pilette). Pour ces deux échantillons on comprend mal leur présence en dehors de leur phase chronologique logique. En effet le mur 2 est recoupé par le péribole au mortier de même type (MS 1), et le mortier MTS 2 recouvre le mur de péribole (enduit sur M16) contemporain de l'exèdre C installée sur la salle de l'hypocauste. Pour ce dernier, on suppose une coïncidence de recette, de légères différences étant perceptibles (couleur et teneur en paille) entre le joint de pilette (ALL 65) et l'enduit ressemblant (ALL 57). Pour la présence de MS 1 dans le mur 2 nous pencherions plutôt pour une phase précoce d'utilisation de ce type, signifiant que ce mur se place dans la chronologie entre la fin de la première grande phase de construction aux types MS 4 et MS 5 et la deuxième aux types MS 1, MS 2 et MS 3. Un nouvel échantillonnage (en cours) devrait nous apporter de plus amples informations.

8. Quelques données sur l'origine et le traitement des matières premières

La région étudiée, représentée par la carte géologique au 1/50 000 n° 358, correspond à la marge occidentale du Bassin de Paris, bordant le Massif Armoricaïn. Le relief se présente, dans l'ensemble, comme un plan incliné (Juignet *et al.* 1973) découpé par les cours d'eau. La ville du Mans s'est développée au confluent de la Sarthe et de l'Huisne dont les larges vallées favorisent les communications avec la Basse Normandie vers le nord, la région parisienne vers le nord-est et l'Anjou vers le sud-ouest.

Le socle paléozoïque n'est pas visible. En discordance, par-dessus, apparaissent les terrains jurassiques au fond des vallées ou à la faveur de bombements localisés sur le pourtour de la cuvette du Mans. Les couches d'âge crétacé sont transgressives d'est en ouest. L'étage cénomaniën est surtout représenté par des sables et des grès couvrant de larges surfaces, et la craie du Turonien est conservée localement sous l'argile à silex. Quelques petits bassins tertiaires ont été épargnés par l'érosion. Enfin, les alluvions quaternaires, très étendues, se retrouvent dans les vallées de la Sarthe et de l'Huisne.

D'après la carte géologique, le promontoire (Butte des Fondues) sur lequel s'accroche le sanctuaire de Mars Mullo (la Forêterie) est constitué, de la base au sommet (fig.M9), de

sables et grès du Maine (Cénomaniens moyen, C_{2a}), de sables du Perche surmontés de marnes à *Ostrea biauriculata* ainsi que de sables et grès à *Catopygus obtusus* (Cénomaniens supérieur, C_{2b}), de la craie du Cénomaniens supérieur et Turonien inférieur (C_{2b-3}), et, enfin, de Tertiaire, « indifférencié », constitué de sables contenant parfois du grès et des silex (e). En contrebas se retrouve l'étagement des terrasses, constituées des alluvions anciennes, puis les alluvions (sub)actuelles de la Sarthe. Au niveau de la butte d'Allonnes se retrouvent, à 50 cm sous le sol actuel, des horizons de grès tertiaires éolisés (pavages éoliens, grès « roussards »).

Le sable siliceux présent dans les mortiers d'Allonnes est essentiellement quartzeux, à grains peu sphériques et majoritairement subarrondis, à fréquents traits métamorphiques et/ou tectoniques. Le granulats est mal trié. L'analogie avec le squelette des grès roussards est frappante (fig.M8). Des vestiges de revêtements d'oxydes donnent à penser à l'exploitation d'une formation meuble liée à la désagrégation de cette roche ou bien à l'exploitation du sable (sables cénomaniens plus ou moins éolisés) non encore parfaitement induré en grès.

Le sable siliceux varie peu pour toute la période de construction. Quelques petits fragments de grès roussard se retrouvent parfois dans le mortier (ALL 15). La question d'un broyage de cette roche pour obtenir le granulats pourrait donc se poser, mais la faible proportion de gravillons de grès, ainsi que la relativement pauvre teneur en vestiges d'oxydes (excepté peut-être le type MS 3) ne nous fait pas pencher vers cette hypothèse. Certains mortiers ne possèdent d'ailleurs pratiquement pas de granulats présentant des caractères d'oxydation.

L'absence de sable très fin (diamètre inférieur à 63 µm) prouve la non-exploitation du géologique directement affleurant¹¹, à savoir, *a priori*, l'horizon des grès calcaires à *Ostrea biauriculata* du Cénomaniens supérieur (échantillon ALL 13), qui contiennent de plus une forte proportion de glauconie. La présence de grains de glauconie mamelonnée dans certains mortiers (MS 4 et MS 5) confirme l'exploitation de formations sableuses du Cénomaniens. Toutefois, ces éléments ne se retrouvent pas systématiquement. Dans une autre mesure, si la glauconie présente dans les mortiers est venue avec la chaux plutôt qu'avec le sable (ce que l'aspect en lame mince des certains grains nous laisse en partie supposer), alors les formations du Jurassique pourraient être écartées de la liste des pierres à chaux possiblement exploitées pour la construction du sanctuaire, au moins pour la première grande phase, aux types de mortiers MS 4 et MS 5.

¹¹ Aussi bien exploitation pour le sable que pour la chaux.



Fig.M8a. Mortier de chaux et de sable quartzeux du sanctuaire de Mars Mullo, échantillon ALL 8, type MS 1. LPNA.

Fig.M8b. Idem. LPA.



Fig.M8c. Grès roussard, moellon d'une maçonnerie du podium du temple. Echantillon ALL 9, LPNA.

Fig.M8d. Idem. LPA.



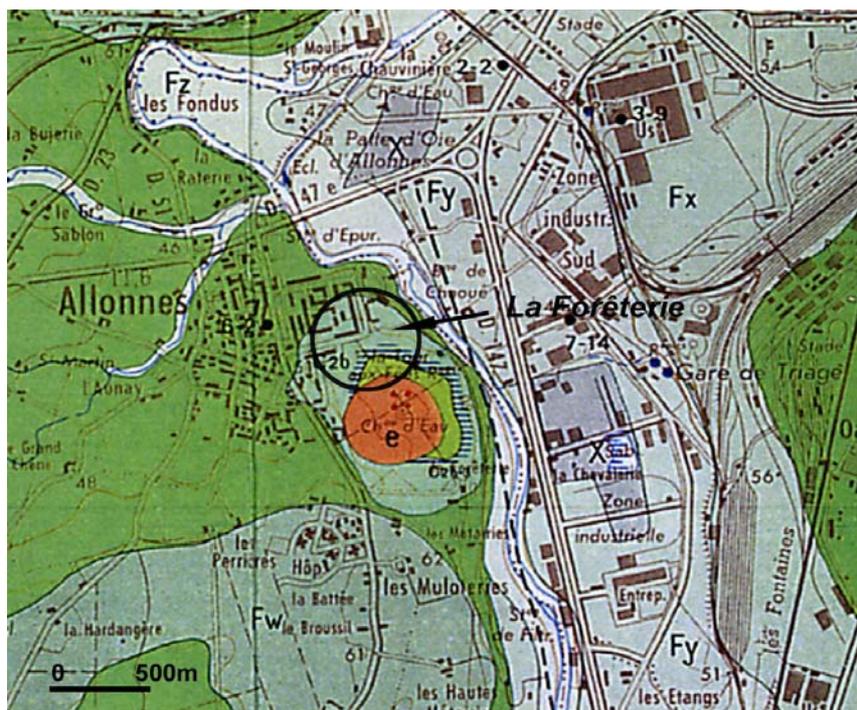


Fig.M9. Le sanctuaire de Mars Mullo dans son environnement géologique (d'après Juignet *et al.* 1973, carte géologique à 1/50 000 n° 358).

9. Conclusion

Les mortiers de construction du sanctuaire de la Forêterie sont constitués des mêmes matières premières sableuses. La recette de fabrication, de surcroît, ne change pas ou peu durant toute cette période. De fait, ce sont les différences de qualité de fabrication et les variations intrinsèques des formations géologiques qui nous permettent d'établir une typochronologie des mortiers et de suivre, de façon relativement précise, les enchaînements de phases d'édification de ce vaste sanctuaire.

Références

ALLAG Cl., FERNANDEZ E., MIANE F. (1998) – Allonnes (Sarthe), La Forêterie. *Rapport d'étude des peintures murales du CEPMR*, UMR 8546 CNRS/ENS.

BERNIER N., BERARD Fr., BROUQUIER-REDDE V., CORMIER S. et GRUEL K. (2001) – Allonnes, pré-inventaire archéologique. In BOUVET J-Ph. *et al.* – *Carte archéologique de la Gaule, La Sarthe (72)*. Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 104-137.

COUDELAS A. (2000) – Etude préliminaire des mortiers de construction du sanctuaire de Mars Mullo. In GRUEL K. et BROUQUIER-REDDE V. dir. – Sanctuaire gallo-romain de Mars Mullo, la Forêterie, Allonnes (Sarthe). *Rapport 2000 de fouilles archéologiques*. UMR 8546 CNRS/ENS.

COUDELAS (2001) – Les mortiers de chaux du sanctuaire de Mars Mullo. In GRUEL K. et BROUQUIER-REDDE V. dir. – Sanctuaire de Mars Mullo, la Forêterie, Allonnes (Sarthe). *Rapport triennal 1999-2001 de fouilles archéologiques*. UMR 8546 CNRS/ENS, 42-50.

COUDELAS A., GUYARD L. et DAVID C. (2000) – Pétroarchéologie de mortiers gallo-romains. Application de méthodes analytiques à l'étude des thermes du Vieil-Evreux (Eure). *Les nouvelles de l'archéologie*, n° 81, 3^e trimestre 2000, 31-36.

GINOUVES R. (1992) – Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. Tome II. Eléments constructifs : supports, couvertures, aménagements intérieurs. CNRS. Ecole française d'Athènes, Ecole française de Rome. 352 p., 90 pl.

GOGUEL J. éd. (1963) – Carte géologique à 1/80 000 – Feuille du Mans (n°93), 2^{ème} édition.

GOGUEL J. éd. (1965) – Carte géologique à 1/80 000 – Feuille de La Flèche (n°92), 2^{ème} édition.

GRUEL K. et BROUQUIER-REDDE V. (1999) – Sanctuaires gallo-romains de la Tour-aux-Fées, la Forêterie, Allonnes (Sarthe). *Rapport 1999 de fouilles archéologiques*. UMR 8546 CNRS/ENS.

GRUEL K. et BROUQUIER-REDDE V. dir. (2000) – Sanctuaire gallo-romain de Mars Mullo, la Forêterie, Allonnes (Sarthe). *Rapport 2000 de fouilles archéologiques*. UMR 8546 CNRS/ENS.

GRUEL K. et BROUQUIER-REDDE V. dir. (2001) – Sanctuaire de Mars Mullo, la Forêterie, Allonnes (Sarthe). *Rapport triennal 1999-2001 de fouilles archéologiques*. UMR 8546 CNRS/ENS.

GUILLIET (1880) – Carte géologique de la France à 1/80 000 – Feuille du Mans (n° 93), 1^{ère} édition.

JUIGNET P., MARY G. et MENILLET F. (1973) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille du Mans, n° 358.

Tabl.M2. Liste des échantillons (voir fig. M3 et M6)

<u>Prélèvement</u>	<u>Localisation</u>	<u>Mur</u>	<u>Type</u>
AII01	<i>Cella</i> , sur AII02	M33	MS 1
AII02	<i>Cella</i> , sous AII01	M33	MS 1
AII03	Nucleus du corps du podium	M34	MS 1
AII04	Nucleus du corps du podium	M34	MS 1
AII05	Nucleus du corps du podium	M34	MS 1
AII06	Nucleus du corps du podium	M34	MS 1
AII07	Nucleus du corps du podium	M34	MS 1
AII08	Fondations quadrangulaires du podium	M22	MS 1
AII09	Moellon dans fondations quadrangulaires	M22	--
AII010	Nucleus du corps du podium	M34	MS 1
AII011	Péribole nord, parement extérieur	M16	MS 2
AII012	Fondations du mur d'échiffre est de l'escalier nord	M43	MS 2
AII013	Fragment du géologique (calcaire cénomanien)		--
AII014	Angle intérieur portique SW	M25	MS 2
AII015	Bord inférieur péribole sud, à hauteur de M38	M23	MS 2
AII016	Intérieur M38 partie W	M38	MS 5
AII017	Parement	M38	MS 5
AII018	Limite radier, chape hydraulique rose		MTS 1
AII019	Même endroit mais dans radier jaune		MS 2
AII020		M80	MS 2
AII021	Mur W de l'exèdre A au contact du stylobate	M24	MS 2
AII022	Mur du péribole sud à hauteur de l'exèdre A	M23	MS 2
AII023	Mortier de tuileau, angle ext. de l'exèdre A	us 666	MTS 1
AII024	Canalisation est, sud exèdre A	us 709	BTS 1
AII025	Canalisation ouest, sud exèdre A	us 730	BTS 1
AII026	Stylobate ouest, au niveau de l'arase de briques	M25	MS 3
AII027	Parement est	M25	MS 3
AII028	Mur de refend, intérieur blocage	M30	--
AII029	Stylobate ouest parement, abside	M15	MS 1
AII030	Stylobate ouest 2e tronçon parement, abside	M15	MS 2
AII031	Stylobate ouest 1er tronçon blocage, abside	M15	--
AII032	Stylobate ouest, parement, abside	M15	MS 1
AII033	Sol du portique ouest		--
AII034		M14	--
AII035	Parement	M11	MS 5
AII036	Mur cella, fanum	M7	MS 5
AII037	Fondation caniveau temple, blocage	M10	MS 5 + MS 1
AII038	Parement interne cella fanum	M8 sud	MS 5
AII039	Retour M8	M8 ouest	MS 5
AII040	Intérieur caniveau nord	M19	MS 5 + MS 1
AII041	Bord intérieur du caniveau	M3	MS 1
AII042	Edifice 2, blocage	M47	MS 5
AII043	Edifice 2, cella	M37	MS 5
AII044	Fondation podium	M22	MS 2

<u>Prélèvement</u>	<u>Localisation</u>	<u>Mur</u>	<u>Type</u>
All045	Fondation caniveau temple, angle SE	M53	MS 1
All046	Fondation caniveau pronaos sud	M49	MS 1
All047	Fondation d'échiffre de l'escalier ou pronaos ?	M48	MS 1
All048	Mur de refend de l'escalier	M50	MS 2
All049	Fondation caniveau nord	M54	MS 1
All050	Fondation mur d'échiffre nord	M51	MS 1
All051	Péribole W, parement est	M1	MS 1
All052		M2	MS 1
All053	Stylobate N, parement nord	M17	MS 1
All054	Péribole N, blocage interne		MS 2
All055	Pavillon d'angle NE, mur latéral E, blocage		MS 2
All056	Pavillon d'angle NE, joint de parement, mur latéral E		MS 2
All057	Enduit de parement	M16	MTS 2
All058	Mur d'échiffre est, escalier nord	M43	MS 2
All059	Mortier du caniveau extérieur base M16		--
All060	Blocage interne	M46	MS 2
All061	Sable en S33		--
All062	Edifice 4, blocage interne	M66	MS 4
All063	Croisement praefurnium/mur exèdre C	M74	MS 2
All064	Bourrelet d'étanchéité exèdre C	M75	MTS 3
All065	Joint pilette hypocauste édifice 4		MTS 2 (?) BTSG 1 (MTS 3)
All066	Sol rose de l'exèdre C		
All067	Sable us 103, en S32	us 103	--
All068	Sable us 103	us 103	--

N/ Moslesme « Sur-les-Creux » (Côte d'Or)



Carte d'identité

Site en cours de fouille depuis 1996.

Coordination : Christophe Petit, Université de Bourgogne, UMR 5594.

Bâtiment étudié : Le bâtiment maçonné sud-est (BMSE).

Datation : première moitié du I^{er} siècle après J.-C.

Nombre d'échantillons : 15 de mortier et béton de construction, 2 de « chaux », 1 de joint de *tegula*, 3 d'enduit d'étanchéité et 3 de support de décoration.

Prélèvements effectués au cours de la fouille, par l'analyste pour le mortier et par les archéologues pour la chaux.

1. Introduction

Le site de Molesme « Sur-les-Creux » (Côte d'Or) fut découvert par photographie aérienne en 1976 par Roger Goguey et partiellement prospecté par méthodes géophysiques au milieu des années 90 (Vergnaud *et al.* 2000). Les campagnes successives de fouille ont mis en évidence deux phases d'occupation. D'abord lu comme une exploitation agricole, le site est maintenant interprété comme un vaste lieu de rassemblement et de banquet à la frontière de trois *civitas*.

L'occupation laténienne finale (I^{er} s. av. J.-C.) du site est marquée par un vaste enclos rectangulaire d'environ 0,64 ha (91 x 71 m) qui se positionne parfaitement dans un méandre de la Laignes. Il est délimité par de grands fossés. Cette délimitation semble perdurer lors de la phase gallo-romaine, les structures antiques du tout début du I^{er} s. ap. J.-C. s'inscrivant parfaitement dans ce cadre. Un bassin piscicole gallo-romain est quasi parallèle au fossé occidental et se cale dans sa longueur sur les deux fossés nord et sud. Un bâtiment maçonné gallo-romain occupe l'angle sud-est de l'enclos protohistorique (le « BMSE », bâtiment maçonné sud-est ; Petit et Wahlen 2000).

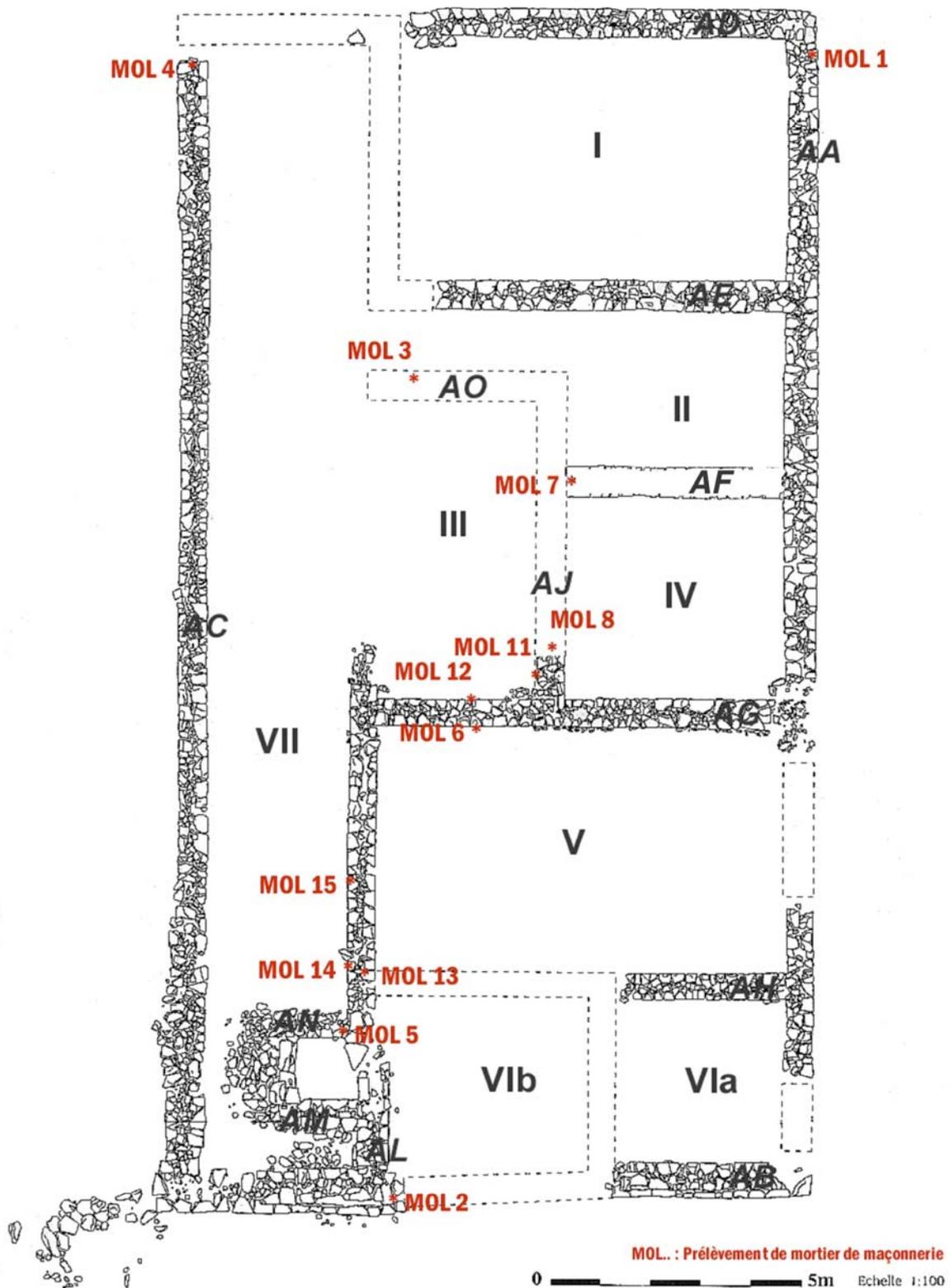


Fig.N1. Relevé « pierre à pierre » du bâtiment maçonné sud-est (BMSE) et points de prélèvement des mortiers de maçonnerie. Molesme « Sur-les-Creux » (Relevé Petit et Wahlen 2000).

Le bâtiment se présente suivant un plan à peu près rectangulaire (25 x 13 m) orienté nord-sud (fig.N1). Il occupe une surface voisine de 325 m². Les toitures étaient composées de tuiles et de dalles sciées en calcaire oolithique. Les murs, larges de 0,60 m, sont constitués de deux faces parementées de moellons taillés au pic. Les sols sont constitués d'un hérisson de pierres sur chant de petit module recouvert d'un béton de chaux dont la surface lissée n'est conservée que par endroits. La grande façade ouest (pièce VII) est occupée sur toute la longueur du bâtiment par un long couloir de 3m de large qui semble constituer une sorte de galerie ouvrant en direction de l'exploitation piscicole.

L'abandon total du bâtiment se produirait vers le milieu du I^{er} siècle ap. J.-C. ; c'est, en fait, l'ensemble du site antique qui est brusquement abandonné à cette date.

2. Echantillonnage

Nous avons procédé à l'échantillonnage des mortiers de chaux du bâtiment gallo-romain BMSE. C'est au total quinze spécimens de mortier et de béton de chaux qui ont été prélevés (fig.N1). Ce travail a été guidé par les questions de succession de phases de construction, plusieurs décrochements et récupérations de maçonneries ayant été observés.

Les mortiers de construction du bâtiment (tabl.N2) se sont avérés extrêmement difficiles à prélever, du fait de leur pulvérulence qui semble, au premier abord, découler d'une recette et d'un choix de matières premières peu judicieux. Il apparaissait, dès la phase d'échantillonnage, que l'ensemble des matériaux avait été préparé avec les mêmes matières premières, avec un granulats supposé riche en argiles et/ou en limons.

Nous avons, parallèlement, porté notre attention sur des éléments particuliers de chaux et de mortier de chaux : le remplissage d'une fosse à chaux, des joints de toiture, des fragments d'enduit d'étanchéité découverts dans le remplissage du bassin piscicole, et des éléments de support de décoration.

Echantillon	Point de prélèvement
MOL 1	Mur AA, entre 1 ^{ère} et 2 ^e assise au-dessus de la semelle débordante, face extérieure (est), blocage et parement.
MOL 2	Mur AL, entre 1 ^{ère} et 2 ^e assise au-dessus de la semelle débordante, parement.
MOL 3	Mur AO, 2 ^e assise au-dessus de la semelle débordante, blocage et parement.
MOL 4	Mur AC, au niveau de la semelle débordante, blocage.
MOL 5	Mur AN, entre 2 ^e et 3 ^e assise au-dessus de la semelle débordante, blocage et parement.
MOL 6	Mur AG, même altitude que le sommet du hérisson du sol de la salle V (6 ^e assise), parement, coté sud.
MOL 7	Mur AF, entre 1 ^{ère} et 2 ^e assise au-dessus de la semelle, blocage.
MOL 8	Mur AJ, entre 2 ^e et 3 ^e assise au-dessus de la semelle débordante, blocage.
MOL 9	Béton de sol de la pièce II.
MOL 10	Béton de sol de la pièce III.
MOL 11	Mur AJ, sur semelle débordante, face ouest.
MOL 12	Mur AG, sur semelle débordante, face nord.
MOL 13	Mur AK, « partie sud », 1 ^{ère} assise au-dessus de la semelle débordante, blocage.
MOL 14	Mur AK, « partie sud », en joint sur la large semelle débordante ouest.
MOL 15	Mur AK, « partie nord », sur la semelle débordante, face ouest.

Tabl.N2. Liste des échantillons de mortier et béton de construction.

3. Les mortiers des maçonneries

Les matériaux que nous avons étudiés ont été préparés avec des matières premières identiques. La typologie que nous avons effectuée est basée sur la granulométrie et la proportion de granulat. Il en ressort trois types de mortier.

MS1 : Echantillons MOL 1 à 3, 5 à 7, et 11 à 15

C'est un mortier de couleur beige crème (proche de 10YR8/6, *pale yellowish orange*, et de 10YR7/4, *grayish orange*, Code Munsell). Il est relativement grossier avec des cailloutis abondants (on ne parlera pas toutefois de béton ; fig.N3). En lame mince la texture de la matrice est proche de celle d'un sol pédologique. Elle apparaît même brun roux par endroits (fragments de sols). La porosité est importante, avec surtout de larges fissures à parois

polyconcaves (teneur en eau importante au moment du gâchage, et teneur en chaux trop juste).

Quelques limons quartzeux sont éparpillés dans le fond de la lame (de rares micas sont visibles). Ils sont anguleux. Mais le granulat est essentiellement calcaire, constitué de différentes roches, principalement oolithiques. Les gravillons sont émoussés voire arrondis. Nombreux sont les grains entre 500 μ m et 5mm de diamètre, mais aussi des fragments de plusieurs cm de long. Ce sable représente plus de 50% du volume au total, la proportion chaux/granulat est restituée à 1:2. La diffraction des Rayons X (fig.N4) confirme la présence de minéraux argileux (kaolinite).

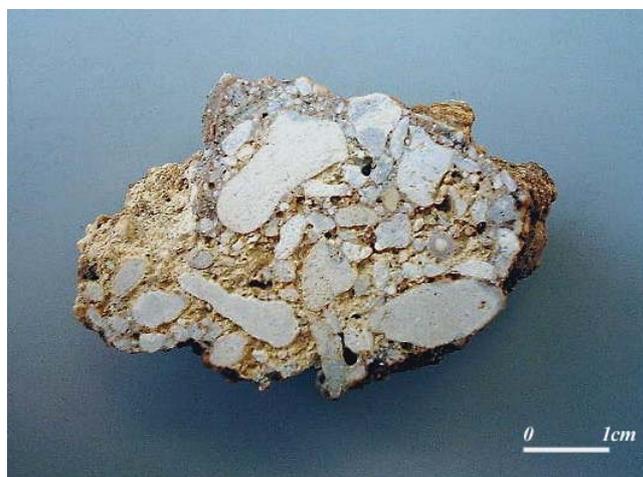


Fig.N3. Echantillon MOL 7, type MOL-MS1, au granulat constitué de fragments émoussés de calcaire fin.

MS2 : Echantillon MOL 8, mur AJ (pièce III)

C'est un mortier beige crème, peut-être légèrement plus foncé que le précédent et qui s'en démarque par la finesse de son granulat. Nombreux sont les grains au diamètre compris entre 300 μ m et 3mm. Il y a aussi présence d'éléments plurimillimétriques. La teneur en granulat est d'environ 50%.

MS3 : Echantillon MOL 4, mur AC (pièce VII)

C'est un mortier beige crème foncé, très proche de MS2, mais qui s'en démarque par une très faible proportion de chaux, ce qui a entraîné la formation d'énormes vides souvent marqués par un tapis de calcite micritique (voire d'argile ?) sur les parois (hyporevêtements). La texture de la matrice est, de plus, très proche de celle d'un sol pédologique.

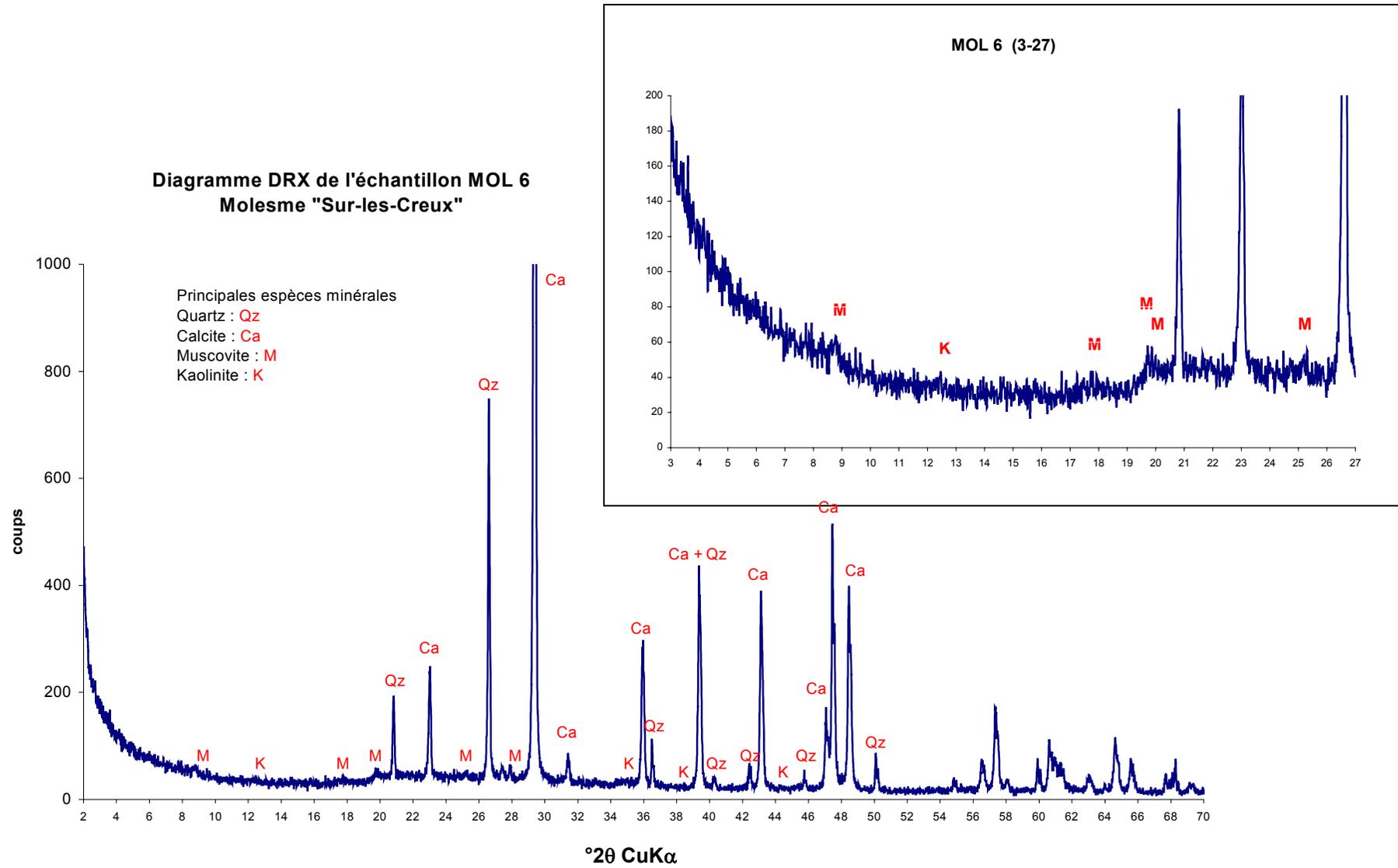


Fig.N4. Diffractogramme de l'échantillon MOL 6 (la muscovite est supposée après observations microscopiques).

4. Les autres matériaux

4.1. Les bétons de sol

La construction des sols des pièces du BMSE suit toujours la même technique, avec en dernière couche un béton de chaux et cailloutis anguleux calcaires. Ce béton repose sur des pierres de chant liées avec de la terre (un « hérisson ») ; la présence de chaux entre certaines pierres correspond à des coulées du béton lors de sa mise en œuvre. Le hérisson est disposé sur un radier de terre et cailloutis abondants mais épars.

Deux exceptions à cette stratigraphie sont apparues. Le hérisson de la pièce I est doublé, mais seulement dans une zone « en dépression » au centre de la salle. Dans la pièce III le radier de terre et de cailloutis fait défaut ; le hérisson est directement posé sur un niveau (mal conservé) de mortier à cailloutis, avec des éléments d'amphores broyées inclus dans sa surface (un premier niveau de sol ?).

Aucune analyse microscopique n'a été effectuée sur ces matériaux de sol. Les observations macroscopiques révèlent toutefois que la charge des bétons est constituée de gravillons de roche calcaire de 1 à 2 cm de diamètre en moyenne. Leurs nature et formes laisseraient pencher pour une exploitation des alluvions de crue exceptionnelle de la Laignes (telles celles mises en évidence sur le site), mais la dimension des fragments ainsi que la présence fréquente d'angles encore vifs nous font présumer d'un concassage de blocs plus importants (au moins pour les plus gros fragments).

4.2. Le remplissage de la fosse à chaux

Nous avons présenté plus haut ce remplissage (cf. chap. I.3.1) : il s'agit d'une masse de chaux éteinte qui n'est que partiellement recarbonatée en calcite. La présence dans le BMSE de bétons de sols constitués uniquement de chaux et de granulats calcaires, sans granulats réactifs ou fins (limon, argile ou tuileau), nous a permis d'effectuer des comparaisons entre la « chaux » du bac à chaux et la matrice des bétons, par dosages des éléments en spectrométrie d'absorption atomique. La comparaison en parallèle des sols des pièces II et III nous a semblé importante car la pièce III est la seule à avoir révélé à la fouille un premier niveau de sol (?), le niveau de mortier et fragments d'amphores, sous-jacent au hérisson du béton de chaux ; la contemporanéité des hérissons des deux pièces n'est donc pas assurée, malgré leur recettes

visiblement similaires. Les résultats sont présentés dans le tableau N5 (les valeurs sont en ppm)¹² :

Echantillon	Ca Ech.	Mg	Sr	Mn	Fe
Fosse à chaux MOS 01/2	369207 ppm	4874 ppm	31 ppm	109 ppm	2444 ppm
Béton MOL 9	383131 ppm	1149 ppm	215 ppm	70 ppm	363 ppm
Béton MOL 10	389870 ppm	702 ppm	186 ppm	50 ppm	382 ppm

Tabl.N5. Dosage des éléments par spectrométrie d'absorption atomique du remplissage de la fosse à chaux et de la matrice de deux bétons de sol du BMSE, MOL 9 (pièce II) et MOL 10 (pièce III).

Au regard des résultats, il semble que l'on puisse assurer l'emploi d'une même chaux pour la mise en œuvre des bétons de sol des pièces II et III. Cette donnée, associée à la ressemblance des techniques de construction et à la correspondance des niveaux de circulation entre les deux pièces, confirme la contemporanéité technique de ces deux sols.

Les teneurs en éléments traces du remplissage de la fosse à chaux et des sols ne correspondent pas. Il est à noter que la couleur des filtrats montre aussi des divergences : relativement claire pour MOS 01/2 (10YR7/4, *grayish orange*, charte de couleur Munsell) et plus sombre pour MOL 9 (5YR4/4, *moderate brown*) et MOL 10 (10YR5/4, *moderate yellowish brown*). La chaux éteinte présente dans le bac proviendrait donc de la cuisson d'une pierre à chaux différente de celle employée lors de la construction du BMSE, ou d'une même pierre à chaux mais extraite en un lieu ou en un niveau géologique (un « banc ») différent. Une autre hypothèse reste toutefois à évoquer, celle d'une pollution ou d'une variation des teneurs induites lors d'une ou des étapes de la chaîne opératoire.

¹² ppm = partie par millions.

4.3. Les joints de toitures

Ces éléments seront discutés plus loin (cf. chap. III.1.1b). Nous pouvons toutefois signaler qu'il s'agit d'échantillons retrouvés lors de la fouille, présentant des formes particulières, relativement caractéristiques de leur fonction de « jointoiment » de tuiles plates (les *tegulae*). Tous ces éléments sont en mortier à tuileau :

- 50% de tuileau. Les fragments sont tous de nature identique, roux à dégraissant quartzeux abondant et fin. La dimension des tuileaux varie de la « poussière » à 1mm de diamètre.
- 5% de quartz anguleux de diamètre inférieur à 500µm.
- 5% de fragments de roche calcaire oolithique pour l'essentiel, au diamètre compris pour l'essentiel entre 500µm et 1mm.

4.4. Les enduits rouges à mortiers de tuileau

De très nombreux fragments d'enduit peint en rouge ont été retrouvés lors du décapage des couches supérieures du remplissage du bassin piscicole. Leur provenance n'a pas été établie.

L'épaisseur totale moyenne de l'enduit est de 2cm. Un seul assemblage stratigraphique, l'assemblage « A », a été mis en évidence pour l'ensemble des fragments. Il s'agit de trois couches de mortier à tuileau (une 4^e couche de 5mm est visible sur quelques fragments ; sa composition semble identique à celle des couches (b) et (c)) :

Couche (a)

- 4mm d'épaisseur.
- 40% de tuileau roux à dégraissant quartzeux fin, de diamètre allant de la « poussière » à 1,5mm.
- 10-15% de cristaux anguleux de calcite, apparemment de veines (monocristaux sans extinction onduleuse ni macles), de diamètre inférieur à 500µm.
- 5% de quartz anguleux de diamètre inférieur à 500µm.

Couches (b) et (c)

Elles sont de même composition, mais la couche (c) se démarque de (b) par une orientation du granulat différente, en oblique par rapport à la surface d'aplatissement, et par une teinte plus rosée, coloration liée à une teneur légèrement plus importante en tuileau fin.

- 1cm pour (b) et 1,5cm pour (c)
- 60% de tuileau roux à noirs à dégraissants quartzeux fin. Les fragments les plus gros témoignent de la présence de grains de quartz de la dimension des sables. Fragments de diamètre compris entre la « poussière » et 3mm.
- Moins de 5% de quartz anguleux. Ces éléments, de diamètre inférieur à 500µm, proviennent vraisemblablement de la fragmentation des terres cuites architecturales lors de la préparation du tuileau.
- Il n'y a pas de cristaux anguleux de calcite. On observe en revanche quelques grumeaux d'1mm de diamètre environ.

La composition de ces couches de préparation est relativement proche de celle des joints de tuiles. Les matières premières sont identiques. Il s'agit toutefois de deux mortiers différents puisque les teneurs en tuileau sont différentes et que l'on note la présence de calcaire dans le mortier des joints de tuiles, ainsi qu'une proportion plus importante de grumeaux.

4.5. Les supports de décor

Deux ensembles d'échantillons, retrouvés à la fois dans les niveaux de démolition du BMSE et dans les remblais des fossés, rentrent dans cette catégorie. Il s'agit, d'une part, d'un support de peinture murale et, d'autre part, d'un support de placage de dalle de calcaire oolithique blanc.

4.5.1. L'enduit peint

Les fragments sont relativement peu nombreux. Ils correspondent tous à une même technique de préparation. Le support, assemblage « B », est constitué de deux couches :

Couche (a)

- 1 à 2mm d'épaisseur.
- Matrice de couleur blanche.
- Pauvre en granulat, quelques oolithes et quartz.

Couche (b)

- 2cm d'épaisseur.
- Matrice de couleur gris pâle.
- Riche en granulat, 70% de fragments calcaire oolithique ou d'oolithes. Diamètre moyen des oolithes : entre 500µm et 1mm.
- Quelques tuileaux roux.

La présence des oolithes est très surprenante. Elles sont toutes de formes complètes. Elles pourraient toutefois résulter du broyage ménagé d'un calcaire oolithique : certaines dalles sciées retrouvées sur le site sont en en Oolithe du Vannage (une oosparite fine calibrée blanche, locale) ; les fragments de calcaire présents dans le mortier sont effectivement à « ciment » sparitique (cristallisation dans les vides de gros cristaux de calcite).

4.5.2. Le support des placages de dalles de calcaire oolithique blanc

Les dalles de calcaire oolithique blanc dont il est question ici ne sont pas des dalles de recouvrement de toiture¹³ ; leur épaisseur est trop fine : 1cm. Plusieurs petits fragments de ces placages ont été ramassés lors de la fouille, retrouvés dans les couches de remblai des fossés ou dans les niveaux de démolition du BMSE. Rares sont ceux qui présentaient les vestiges du mortier d'accrochage, ce qui n'a pu permettre, dans un premier temps, l'identification de leur fonction. La découverte de quelques éléments ayant conservé leur « stratigraphie » (fig.N6) complète nous a finalement permis de comprendre leur origine.

Le calcaire oolithique est blanc, friable, à deux générations de « ciment » : le premier est micritique, le deuxième, comblant les vides restant, est à gros cristaux de calcite (de la « sparite »). Il s'agit de l'Oolithe du Vannage. La dimension des oolithes est comprise pour l'essentiel entre 500 et 750µm.

¹³ Des dalles de ce même calcaire ont été employées pour les toits de certains édifices du sanctuaire. Leur épaisseur était chaque fois de plusieurs cm ; aucun exemplaire ne présentait de mortier de chaux sur une face.

Il semble donc bien, finalement, que ce calcaire puisse être à l'origine du granulat présent dans la couche grise du support de peinture murale ; les fragments de calcaire à ciment sparitique présents dans le mortier correspondent aux plages les plus fortement marquées par le deuxième processus géologique de cimentation.

Le mortier d'accrochage des dalles est un mortier jaune beige constitué d'un mélange de fragments de roches calcaires oolithiques blanches et d'oolithes. Les fragments de roches sont généralement anguleux, et peuvent atteindre 3mm de diamètre (observations macroscopiques).

La technique de préparation se rapproche de celle de la couche de préparation du support de peinture, sans y correspondre parfaitement.

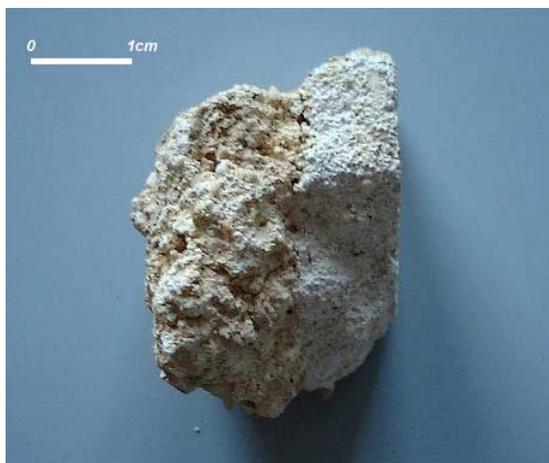


Fig.N6. Placage d'oolithe blanche (à droite) avec son support de mortier (à gauche).

5. Discussions

Nous avons effectué des prélèvements de mortiers provenant de maçonneries qui, *a priori*, pouvaient ne pas appartenir pas à la même phase s.s. de construction, de nombreuses reprises de maçonneries ayant été mises en évidences (bien que ne soient, principalement, conservées que les fondations des murs). Cependant, nous n'avons pas noté de variation significative dans la composition des mortiers. L'exploitation des matières premières (locales) n'a pas évolué durant toute la période d'édification. La recette ne varie pas non plus, le matériau retrouvé dans les murs étant toujours le même (excepté dans AC). Cela se comprend d'autant plus aisément que la recette n'est pas tournée vers la préparation d'un matériau de « qualité », mais vers un mélange relativement grossier et « sale » (si l'on considère la forte proportion d'argile).

Deux échantillons, MOL 8 et MOL 4, se sont distingués. Le premier, toutefois, ne nous semble pas particulièrement différent du type MS1 : il pourrait en être le pôle le plus fin. Il est difficile d'attribuer à ce type MS2 une valeur distinctive en terme de phase de construction/transformation, car il n'a pas été retrouvé en un autre point de l'édifice. Le deuxième, MOL 4 (type MS3), est plus singulier, la proportion d'argile étant de loin la plus importante de tous les mélanges utilisés pour le bâtiment. Bien que le type MS3 diffère peu de MS1, il est intéressant de voir dans sa composition le fait révélateur d'un choix technique : celui d'apporter moins de soin que de coutume au liant employé pour l'érection d'un mur n'ayant pas la fonction de mur porteur (dans l'hypothèse qu'il s'agit bien d'un mur de galerie de façade).

La durée de vie du bâtiment n'excède pas les quarante années. La persistance de la recette est probable. Elle peut découler d'une codification préparatoire au chantier, respectée malgré les changements du responsable ; ou être liée au patrimoine technique du responsable du chantier si celui-ci est aussi le propriétaire du bâtiment, son savoir-faire évoluant peu si ses expériences sont limitées.

Voilà ce qui peut expliquer la persistance de la recette malgré les changements de phases de construction. Mais l'on peut aussi renverser le raisonnement. Certains contacts de maçonneries sont, en fondation, différents de ce que l'on peut observer en élévation. Parmi ces décalages verticaux, il faut citer l'exemple des murs AG et AJ (pièce III). La semelle de AJ est deux assises plus haute que celle de AG (fig.N7). Ces deux murs sont accolés jusqu'à la cinquième assise de AG (le niveau de conservation actuel des deux murs) où ils deviennent chaînés. Aucune reprise n'est visible dans toute la maçonnerie. La construction de ces deux murs participe donc à une même phase. Ainsi, des décalages supposés de construction de maçonneries via l'observation des fondations n'ont, en réalité, aucune valeur chronologique : il n'est donc pas étonnant que le mortier MS1 (et MS2)¹⁴ soit à la fois présent dans le mur AJ et dans le mur AG.

¹⁴ Ce type MS2, représenté par MOL8, est, en quelque sorte, encadré par des échantillons représentant le type MS1 : MOL11 (mur AJ, plus bas), MOL6 (mur AG, au niveau du chaînage avec AJ).

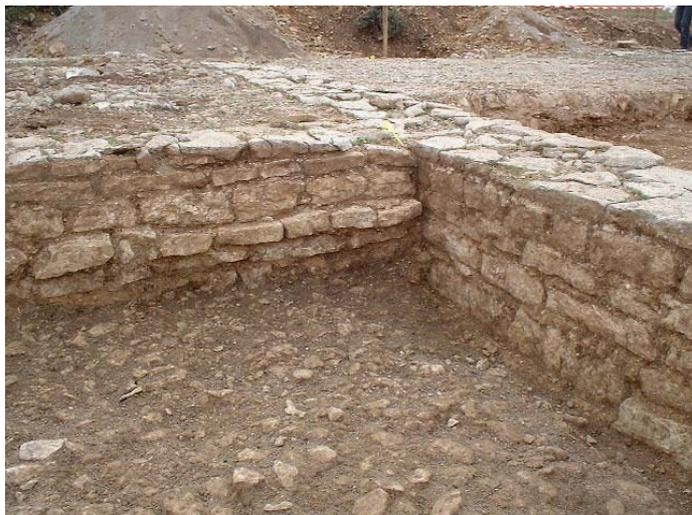


Fig.N7. Pièce III, angle sud-est. Contact entre les murs AJ (à gauche) et AG (à droite). La semelle débordante de AJ est trois assises plus haute que celle de AG (à la base du mur sur la photo). On peut remarquer qu'à l'assise actuellement la plus haute correspond le niveau où les deux murs deviennent chaînés. Ce niveau coïncide avec le sommet du hérisson des sols des pièces III, IV et V.

La nature et l'hétérogénéité de la charge des mortiers des murs nous permettent d'affirmer que l'origine du granulat est locale et qu'elle est à rechercher dans les formations superficielles de l'environnement géologique. Les colluvions et les dépôts cryoclastiques de versant semblent être les formations les plus à même de fournir ce type de matières premières, plus que les formations alluviales.

Ces formations sont abondamment représentées sur et aux abords du site, repérées sur la carte géologique au creux du méandre de la Laignes, reconnues sur les calcarénites subrécifales de l'Oxfordien supérieur (fig.N8).

Les dépôts cryoclastiques de versant, ou « grèzes », se sont mis en place sous l'influence des climats rigoureux de la fin du Quaternaire (au Würm), par altération des couches gélives de la série Jurassique. Ils correspondent à un cailloutis calcaire ou calcaréo-argileux, principalement anguleux, de la taille des galets, graviers et sables, mêlé à un matériel argileux jaune-rouge ou brun (Loreau et Thierry 1975). Les deux phases peuvent être séparées et former des alternances. Les éléments perdent leurs angles vifs lorsqu'ils sont repris par colluvionnement et/ou alluvionnement. Ce sont certainement ces éléments émoussés mêlés d'argile (colluvionnés), tels ceux présents sur le site en bas de versant, qui ont été exploités pour la préparation des mortiers de chaux des murs du BMSE. Leur proximité et leur accessibilité peuvent avoir été deux atouts forts expliquant leur exploitation pour la construction du bâtiment.

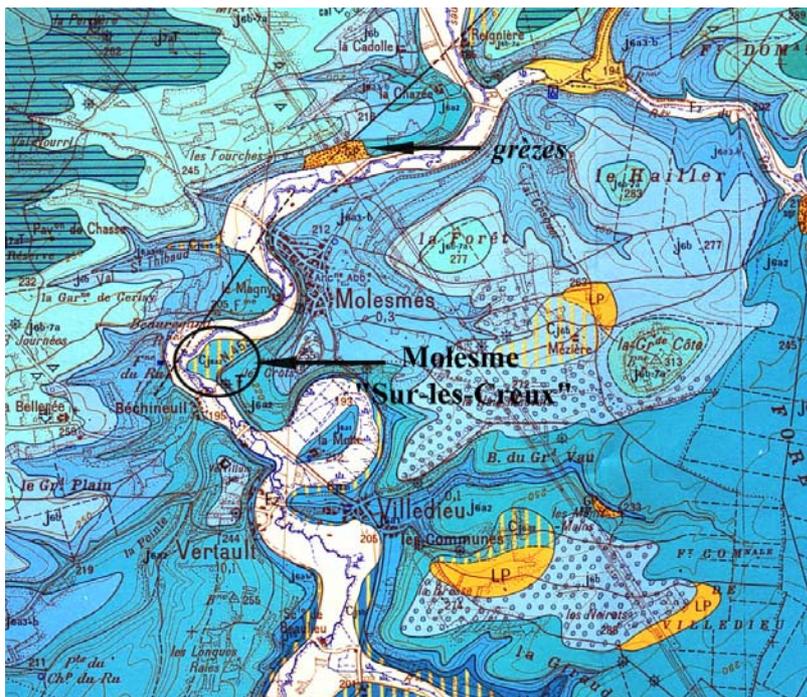


Fig.N8. Extrait de la carte géologique au 1/50 000 n°370 (Loreau et Thierry 1975). Le site de Molesme « Sur-les-Creux » est situé dans un méandre de la Laigne, sur des colluvions accumulées en bas de pente de la vallée.

Références

LOREAU J.P. et THIERRY J. (1975) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Les Riceys, n° 370.

PETIT Ch. et WAHLEN P. coord. (2000) – *Le site de Molesme « Sur-les-Creux », année 2000*. Rapport de fouilles de la campagne 2000.

VERGNAUD D., GUYOT I., CAMERLYNCK Ch. et PETIT Ch. (2000) – Apports de la prospection géophysique à l'archéologie. *Dossiers d'Archéologie*, « Archéométrie », **253**, 80-83.

O/ La « rigole de Rungis », Z.A.C. du Lagu  (Val-de-Marne)



Carte d'identité

Fouille de sauvetage AFAN (INRAP) clôturée en janvier 2002.

Coordinateur : Eric Broine (INRAP).

Bâtiment étudié : la rigole de Rungis.

Datation présumée : II^e s. ap. J.-C. ?

Nombre d'échantillons : 4 de mortier, 1 d'une zone de gâchage, 1 de concrétions carbonatées.

Pr lvements effectués par l'analyste.

1. Introduction

Nous avons effectué des pr lvements du béton employé pour la construction de la canalisation conduisant à l'époque romaine les eaux issues des sources de Rungis jusqu'au Carré des Eaux   Wissous, en amont de l'aqueduc de Lutèce (l'aqueduc « d'Arcueil »). Le canal ayant été dégagé sur près de 150 m (fig.O1), nous avons pu pratiquer un échantillonnage assez complet, nous permettant de vérifier l'homogénéité des matériaux sur une bonne longueur et suivant la position en coupe.



Fig.O1. Vue générale des tronçons de la rigole dégagée sur 150 m.

Le statut des vestiges au moment de l'échantillonnage, voués à une destruction certaine, nous a permis (avec une pointe de regrets toutefois) d'amputer l'édifice de quelques fragments de grandes dimensions (dont un de 10 x 20 cm), seul moyen de nous faire une idée de la composition du mélange tant celui-ci est marqué par la grosseur de sa charge (il s'agit plus d'un *opus caementicium* que d'un béton, mais nous utiliserons indifféremment les deux termes).

Un problème de représentativité s'est de suite posé : nombreux sont les éléments du blocage avec des dimensions équivalentes ou supérieures à la surface des lames minces, et faible est la proportion de « mortier » entre. De fait nous avons adapté notre approche analytique ; les observations et comparaisons des échantillons ont été effectuées à l'œil nu et à la loupe binoculaire (grossissement jusqu'à x 50) sur fragments bruts et secs ; l'observation en coupe de l'intérieur de l'aqueduc jusque dans le blocage latéral s'est effectuée en microscopie optique sur lame mince. La composition du liant de l'*opus caementicium* a été vérifiée par diffraction des rayons X (sur quelques grammes de poudre).

La liste des échantillons se présente ainsi :

- ZDL 1 : structure 450, zone de gâchage (?).
- ZDL 2 : 3^e tronçon (long de 33 m), partie interne, blocage et enduit de tuileau.
- ZDL 3 : 3^e tronçon, les concrétions carbonatées sur ZDL 2.
- ZDL 4 : 6^e tronçon, toute l'épaisseur du béton posé sur les dalles de recouvrement.
- ZDL 5 : 7^e tronçon, maçonnerie est, partie basse, côté extérieur.
- ZDL 6 : 7^e tronçon, maçonnerie est, partie basse, côté intérieur.

2. Résultats

2.1. La partition de l'ouvrage

Dans sa longueur la rigole est découpée en tronçons. Le mode de construction ne varie pas d'un tronçon à l'autre, nous n'avons pas observé de différence sur tout le volume dégagé. Il en est de même pour les matériaux. Cela fut noté sur le terrain au moment de la phase de prélèvements, et vérifié au laboratoire : la composition des matériaux est homogène d'un tronçon à l'autre.

La structure de la rigole semble être relativement simple, en comparaison de celles, pour citer quelques exemples trouvés dans la littérature, de l'aqueduc d'Arcier¹⁵, de Traslay¹⁶, ou encore d'Acquarossa en Italie et de Caesarea en Israël¹⁷, qui, pour certains, montrent des parements, une couverture voûtée ou encore des enduits de plusieurs couches (jusqu'à six). Ici, nous avons relevé un blocage en *opus caementicium* (à cailloutis calcaire, cf. *infra*) homogène sur toute l'architecture du conduit (radier et maçonneries latérales). Il n'y a pas eu de pose de parement, aussi bien du côté externe que du côté interne. La couverture est constituée de dalles de calcaire ennoyées dans un béton de même composition que celui du blocage sous-jacent. Le canal a bénéficié d'un traitement en vue d'assurer son étanchéité : revêtement de l'intérieur du conduit avec un enduit de tuileau. Il faut toutefois signaler la faible épaisseur de l'enduit, oscillant entre 1,5 et 5 mm seulement. Les variations de l'épaisseur sont induites par le blocage attenant, les éléments grossiers créant une légère topographie sur les parois. Cette topographie irrégulière est absorbée par la couche d'enduit, la surface du revêtement étant lissée et plane.

Une synthèse des travaux portant sur l'aqueduc d'Arcueil est présentée dans le cadre de la carte archéologique de la Gaule (Philippe *et al.* 2001). La canalisation de l'aqueduc a été observée plusieurs fois en coupe, une reconstitution schématique a été proposée par M. Philippe pour Arcueil (fig.O2), mais des différences ont été notées sur tout le parcours, soit pour la couverture de la canalisation (dalles ou tuiles), soit pour la composition du hérisson (moellons calcaires, silex concassés, etc.), et des questions se posent encore, notamment sur l'étendue du réaménagement de la canalisation (p.71).

Nos observations lors de la phase d'échantillonnage ne nous ont pas révélé l'existence d'une phase de réaménagement pour la rigole du Rungis. Si celle-ci était effective dans cette partie de système d'alimentation en eau de Lutèce, alors il serait à signaler l'emploi d'une même technique et d'un même matériau pour le rehaussement des piédroits. L'enduit de tuileau semble remonter sur toute la hauteur des parois, mais il ne se poursuit pas ensuite sur les piédroits (sous les dalles de couverture).

¹⁵ Barçon et Jaccotey 1999.

¹⁶ Adam 1989, p.270.

¹⁷ Malinowski 1979.

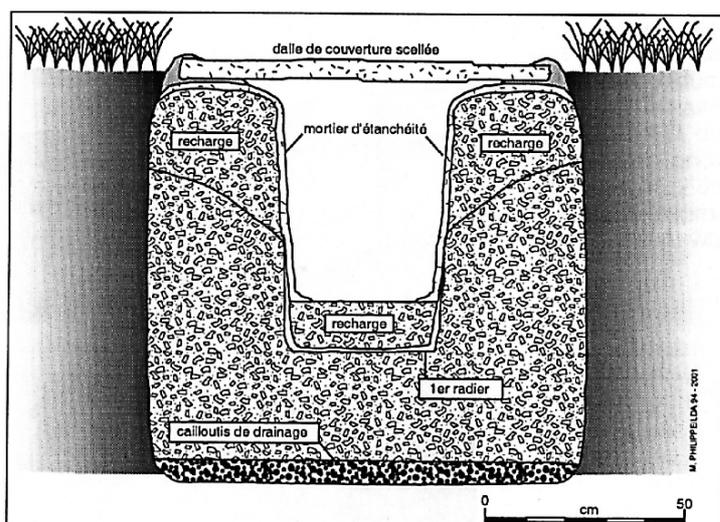


Fig.O2. Reconstitution schématique de la canalisation semi-enterrée à Arcueil (dessin M. Philippe, *In Philippe et al.* 2001).

2.2. Les matériaux

2.2.1. L'enduit de tuileau

C'est un mortier de matrice couleur « rose bonbon » très clair. Le granulat est constitué pour l'essentiel de tuileau (teneur globale estimée à 20-25 %). Les fragments sont de petites dimensions, de diamètre inférieur à 2 mm, nombreux sous forme de poussières. On note plusieurs variétés, ocre jaune à rouge, à dégraissant quartzueux fin (sable fin ou limoneux) et peu abondant. Les fragments sont surtout de formes quelconques, anguleuses. On observe une légère orientation des grains les plus allongés, témoignant d'un fort lissage au moment de l'application de la couche. Toutefois, les grains ne sont pas orientés parallèlement à la surface, mais obliquement, ce qui pourrait s'expliquer par la configuration de la maçonnerie à enduire : en position basse, ne laissant pas de possibilité de recul. Pour certains auteurs le lissage améliore les qualités de résistance et de durabilité du mortier en accélérant la prise (voir Malinowski 1979).

On trouve disséminés dans la matrice de fréquents grains de quartz (teneur estimée à 7 % environ). Les caractéristiques de ces grains sont identiques à celles du dégraissant des fragments de terre cuite : grains de quartz monocristallins, anguleux, fins (dimension des sables fins ou limoneux). Comme, de surcroît, plusieurs d'entre eux présentent sur certaines faces des « restes » de matrice d'argile cuite, il nous semble plus que probable que ces grains de quartz proviennent de la désagrégation des briques et tuiles. Si traitement granulométrique

du tuileau il y a eu, seuls les fragments les plus grossiers ont été écartés, les « fines » ont été conservées telles quelles.

La matrice est compacte, la porosité est faible. On remarque quelques fines fissures traversant la couche dans toute son épaisseur. Les vides les plus gros montrent des revêtements de microcristaux de calcite sur leurs parois, cristallisés à la suite de circulations de fluides chargés en calcium.

2.2.2. *L'opus caementicium*

Il s'agit d'une masse homogène de cailloutis calcaire pris dans une matrice de chaux blanche, relativement pauvre en granulat fin (fig.O3).



Fig.O3. Le « béton » de l'aqueduc (échantillon ZDL 4 vu en coupe).

La teneur en fragments de roche calcaire est importante, avoisinant probablement 75% du volume total du mélange. Les éléments présentent des formes torturées, mais parfois à angles émoussés. Le diamètre varie de 1 ou 2 mm à plusieurs centimètres (quelques blocs très grossiers). La nature de la roche carbonatée est invariante, puisque c'est toujours un calcaire gris beige, fin (micrite), dur, légèrement marbré, qui est observé (origine à rechercher dans les Marnes du Ludien inférieur ou Caillasses d'Orgemont du Stampien inférieur à proximité du site).

Le granulat ne se résume pas qu'aux seuls cailloutis. La matrice est en effet fréquemment parsemée d'éléments présentant toutes les caractéristiques de nodules argilo-sableux pédogénétiques. Une analyse par diffraction des rayons X montre la présence de minéraux argileux (fig.O4). Le dégraissant de ces nodules est constitué de grains de quartz et de calcite. De rares grains montrent des revêtements argileux orangés. On observe aussi quelques limons anguleux, quartzeux, dispersés dans la matrice.

Tout ceci nous fait songer à une formation alluviale, témoignant d'un faible transport alluvial des produits du démantèlement (pédologique ?) de la formation calcaire. Le traitement du granulat par lavage ou tri, s'il y a eu lieu, n'a pu qu'être sommaire, au vu de la « pollution » de la matrice en éléments argileux ou limoneux.

Il faut aussi signaler quelques éléments de faibles dimensions (inframillimétriques surtout) de tuileau de nature proche de ceux de l'enduit. Enfin, la présence d'éléments végétaux (paille) est attestée à la fois en microscopie et à l'œil nu (fragments relativement fréquents).

La porosité est importante, avec de longs vides et fissures courant en périphérie des éléments les plus grossiers du granulat, généralement avec des précipitations de (micro)cristaux de calcite sur les parois (circulation de fluides chargés en calcium). On estime d'ailleurs mieux la complexité de l'évolution du matériau en considérant ces quelques zones de la matrice qui, présentes au contact des éléments de roche calcaire, ont subi des transformations (cristallisations secondaires, recristallisations de calcite).

2.2.3. Les concrétions carbonatées

Notre travail ne portant pas sur les concrétions carbonatées des canalisations, nous tenons simplement à signaler que nous avons aussi pu constater une fine couche de cristallisations de calcite au sommet des piédroits, sous la couverture de dalles calcaires ennoyées dans le béton.

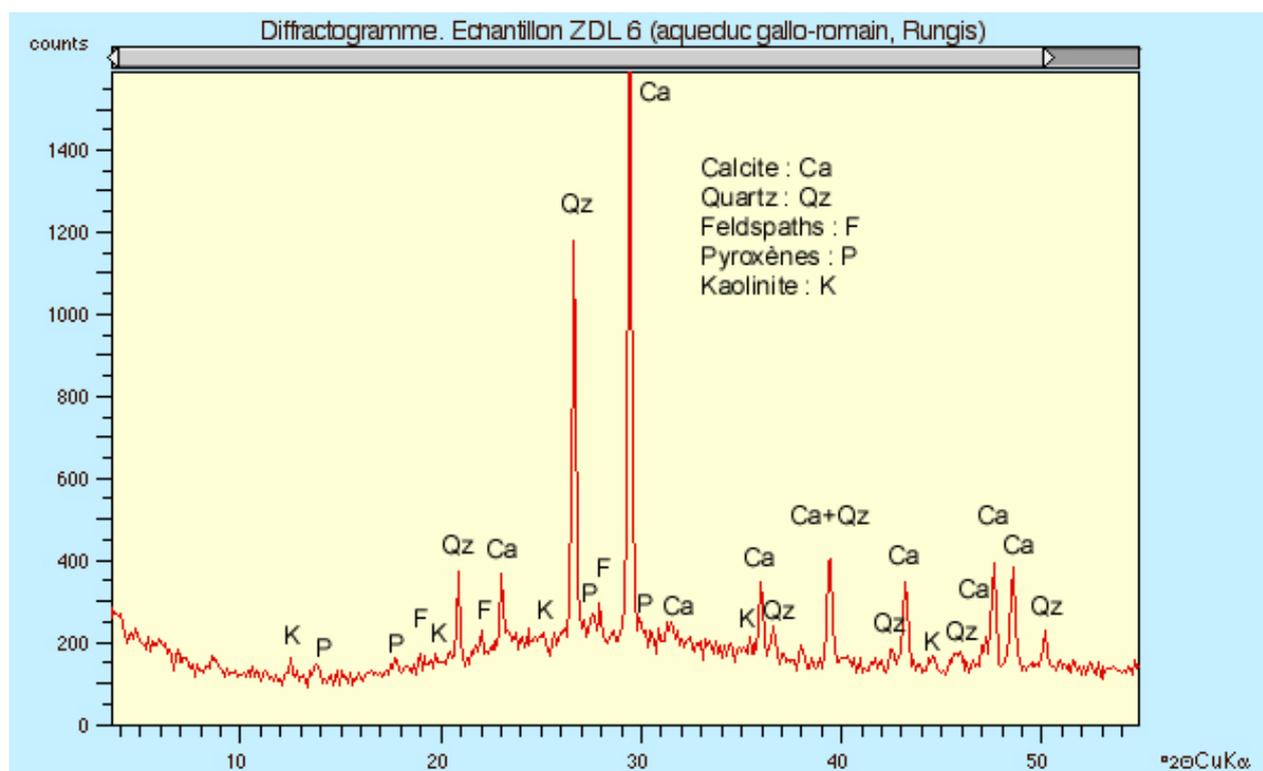


Fig.O4. Diffractogramme de l'échantillon ZDL 6.

3. Discussions

Cette rapide étude souhaite jeter les fondations d'une analyse globale des matériaux de construction (en l'occurrence ici : béton et enduit) de l'aqueduc d'Arcueil et des rigoles d'adduction. Associée à l'étude architecturale, elle pourrait éclairer à la fois le chantier d'origine (depuis le choix des matières premières jusqu'à la mise en œuvre des matériaux) ainsi que toutes les phases d'entretien ou de transformation, et ce sur l'ensemble de l'ouvrage. Reste que pour l'instant nos points de comparaisons sont inexistantes. Nous nous limiterons donc à quelques remarques.

Les matériaux et la mise en œuvre semblent tout à fait caractéristiques d'une politique de limitation des coûts. Cela se déduit de plusieurs « petits détails ». Tout d'abord l'*opus caementicium* (ou le béton) n'est pas constitué d'un ajout de cailloutis à un mortier sableux,

mais simplement du mélange d'un cailloutis (loin d'être pur) avec de la chaux. La teneur en chaux est de plus restreinte par rapport à la masse de cailloutis (ce qui n'empêche pas la solidité de l'édifice, mais favorise la porosité de la maçonnerie). Ensuite, l'enduit de tuileau est peu épais, plus présent pour régulariser le plan d'écoulement de l'eau que pour assurer une parfaite étanchéité. L'économie de moyens et de matières premières est significative si l'on considère l'étendue de l'ouvrage, visible ici sur 150 m, mais l'on peut supposer que cette pratique s'étendait sur une plus longue distance.

Mais il ne faut pas confondre limitation des coûts et perte de qualité. Il se peut en effet que cela découle d'une rationalisation des pratiques de maçonnerie, ce qu'une comparaison avec d'autres aqueducs de Gaule de même âge pourrait nous apprendre. Qu'il s'agisse du programme d'origine ou d'un ouvrage réaménagé¹⁸, la conservation de l'édifice est en soi remarquable. Deux facteurs ont pu la favoriser : faible durée de fonctionnement de l'édifice et formation de concrétions carbonatées qui améliorent l'étanchéité de l'intérieur du canal.

La fine couche de concrétions au sommet des piédroits de l'aqueduc pourrait être due au damage du matériau dans son coffrage, exsudant l'eau du mélange chargée en calcium. La cristallisation en surface de cette fine couche de carbonates de calcium a pu intervenir relativement rapidement : le temps que la couverture soit posée.

Dans le même ordre d'idées, la confirmation de la formation de concrétions calcaires à la surface du canal (phénomène déjà bien connu à l'époque) a pu influencer les architectes, dans une phase (hypothétique ici) de réaménagement, vers le choix de la pose d'une très fine couche de mortier de tuileau, vite renforcée par ces concrétions.

Références

ADAM J.-P. (1989) – *La construction romaine : matériaux et techniques*. 2^{ème} édition. Grands manuels Picard, éditions A. et J. Picard.

BARÇON J.-C., JACCOTTEY L. (1999) – L'aqueduc romain de Besançon. *Archéologia* n° 355, éditions Faton, avril 1999, 34-39.

MALINOWSKI R. (1979) – Concretes and mortars in ancient aqueducts. *Concrete International* / January, 66-76.

¹⁸ La réfection serait probablement intervenue assez tôt dans la vie de l'édifice, les auteurs la signalant ne mentionnant pas de changement de matériaux de construction.

MEGNIEN C. (1989) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Corbeil, n° 219, 3^{ème} édition.

PHILIPPE M., VIRÉ M. et VERGISSON-ROZIER G. (2001) – L'aqueduc antique de Lutèce, dit "d'Arcueil" : Historiographie des recherches sur le segment suburbain. In NAUDET F. et Laboratoire départemental d'archéologie 94 – *Val-de-Marne (94)*. Carte archéologique de la Gaule. Paris, Fondation Maison des Sciences de l'Homme, 56-72.

P/ Le mausolée gallo-romain de Faverolles (Haute-Marne)



Carte d'identité

Site découvert en 1980.

Coordinateur : Serge Février.

Bâtiment étudié : Mausolée.

Datation : 20-30 ap. J.-C.

Nombre d'échantillons : 3 de mortier, 1 de haldes de four à chaux.

Prélèvements effectués par l'analyste.

1. Introduction

Le village de Faverolles (Haute-Marne) se situe en limite méridionale du Bassin de Paris, sur le plateau calcaire du médiojurassique, sur un versant de la vallée de la Suize. Le mausolée de Faverolles a été bâti entre 20 et 30 ap. J.-C. contre la voie romaine qui va de Langres à la vallée de la Blaise. Il était richement décoré, construit en blocs de grand appareil assemblés à joints vifs. L'étude des mortiers s'est portée sur la base du massif de blocage intérieur qui présentait notamment un niveau discontinu de chaux et d'argile. Nous avons par ailleurs analysé un résidu de haldes de four à chaux. L'échantillonnage comprend en stratigraphie trois échantillons de mortier numérotés FAV 1 à FAV 3, le premier étant le plus bas. FAV 4 correspondant aux haldes du four à chaux n°2 (non daté).

2. Résultats

Les analyses ont été effectuées par observations à l'œil nu sur échantillons bruts, par observations de lames minces en microscopie optique en transmission, et par diffraction des rayons X pour l'échantillon FAV 1.

FAV 1

Il se présente macroscopiquement comme un mortier sableux de matrice couleur beigeâtre, aux teintes jaune orangé, à cailloutis calcaires. Il est dur bien que d'apparence caverneux.

En microscopie, la matrice est de texture proche de celle d'un sol. Quelques limons anguleux sont visibles dans le fond de la lame, de la calcite principalement mais aussi quelques quartz.

Le granulat comprend quelques éléments anguleux de calcite de la dimension des sables. Ces éléments anguleux proviennent sans doute de la désagrégation des fragments de roches calcaires. En effet, le granulat est essentiellement constitué d'éléments arrondis de roches calcaires (identification en cours). Teneur d'environ 40 %, mais sans compter les graviers pouvant atteindre les 2 cm de diamètre. Nombreux entre 250 µm et 1,5 mm.

On voit aussi quelques nodules d'argile crue (éléments de sol pédologique ?) brun clair à sombre, arrondis, avec charge limoneuse.

Le diagramme de diffraction des rayons X (fig.P1) confirme la présence de quartz. La strontianite (carbonate de strontium) a aussi été identifiée.

FAV 2

C'est un échantillon « charnière », présentant une stratigraphie : le mortier beige précédent surmonté d'un mortier blanc à gravillons, avec, par endroit, une couche d'argile rouge entre les deux (fig.P2).

Les observations en macroscopie et microscopie n'ont pas révélé la présence de fragments de calcaires dans la couche blanche : les gravillons du mortier seraient des résidus de cuisson, des éléments mal cuits. On ne peut malheureusement pas pousser les analyses plus en avant, l'échantillon ayant mal résisté à la préparation.

La couche argileuse est antérieure à la couche blanche, elle est recoupée et recouverte par celle-ci. Elle est rubéfiée, rouge à brune. Elle contient une charge, à hauteur de 25 % environ, constituée de sable fin et limon de roches calcaires.

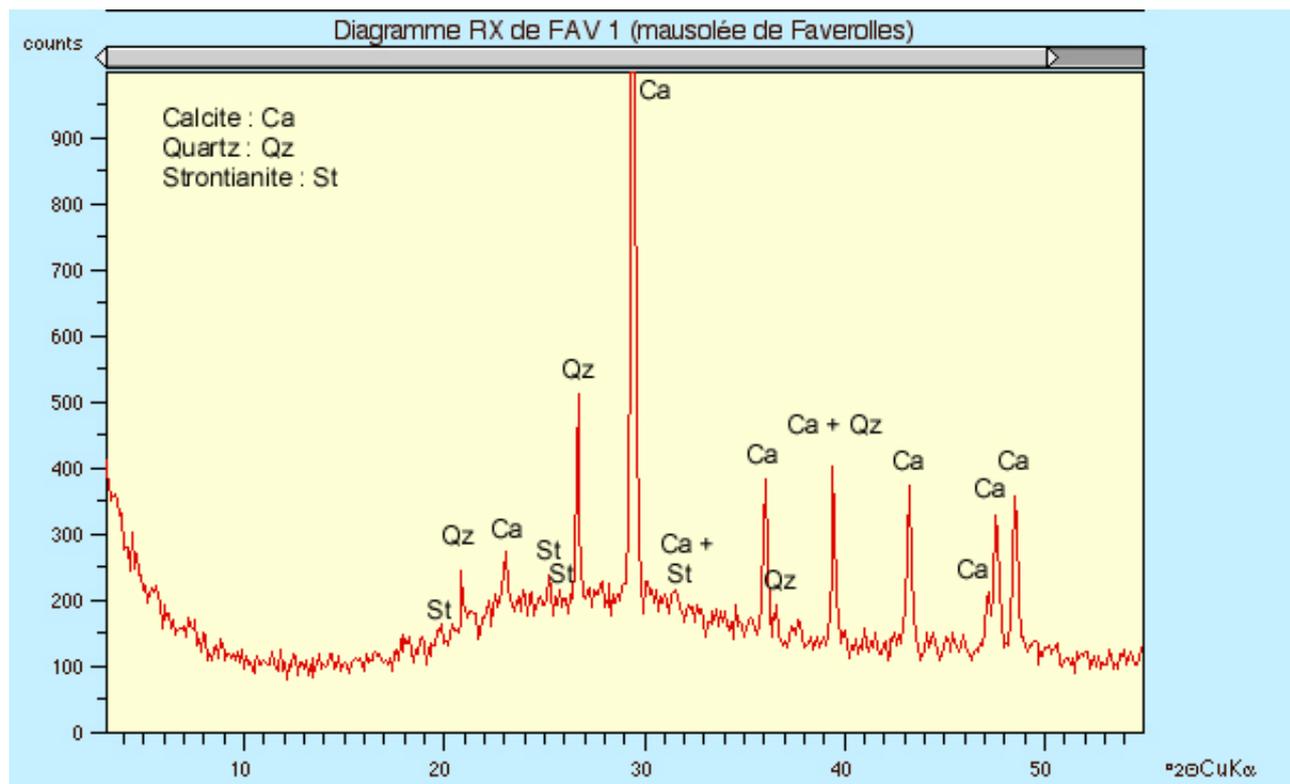


Fig.P1. Diffractogramme de l'échantillon FAV 1, mausolée de Faverolles, témoignant notamment de la présence de strontianite.



FAV 2

Fig.P2. Blocage du mausolée de Faverolles et niveau de chaux et d'argile.

FAV 3

On retrouve la même composition que FAV 1. On remarque une concentration des sables fins et limons calcaires sur certaines faces des plus gros graviers de roches calcaires (particularité due au malaxage du mélange). Les éléments calcaires du granulat correspondent aux pellets* arrondis que l'on retrouve dans les fragments grossiers de roches calcaires.

FAV 4

Il s'agit d'un mélange, dans une gangue de chaux, de résidus de cuisson (incuits), de charbons de bois et de nodules d'argiles rouges (à dégraissant de fragments de roches calcaires fraîches). Une série d'analyses des éléments traces, afin de comparer mortiers, chaux et calcaires, est fortement compromise, du fait de l'hétérogénéité de ces « déchets » de cuisson. La découverte de fragments ne contenant que de la chaux est à espérer (on peut noter ici l'importance de la couche blanche qui pourrait servir d'intermédiaire).

3. Environnement géologique et conclusions

L'ensemble de la base du massif est maçonné avec un mortier identique. On restitue une proportion de 1 volume de chaux pour 2 volumes de charge (cailloutis nombreux). La composition est due à l'exploitation, pour le granulat, d'une formation meuble mêlant à la fois éléments grossiers (graviers et sables) et fins (limons et argiles). On envisage de suite une formation liée au démantèlement des roches calcaires environnantes, aux éléments ensuite colluvionnés, voire alluvionnés. Une formation de surface est à rechercher dans l'environnement proche.

La seule formation géologique susceptible d'être exploitée dans la région pour fournir ces éléments est justement une grouine périglaciaire : chaque affleurement cartographié sur la carte géologique au 1/50 000 (uniquement lorsqu'elle atteint quelques décimètres d'épaisseur ; Maubeuge 1982) signale la présence d'une carrière de sable calcaire. Cette formation, équivalente à la « grèze » en Côte d'Or (cf. étude de Molesme), est une liée aux alternances de gel et de dégel. Elle se présente parfois litée, oblique, avec des éléments dont la grosseur varie depuis de petites pierrailles à de très fins grains calcaires, mêlés à une phase argileuse jaunâtre. Le premier affleurement cartographié est à moins d'un kilomètre de distance du site (fig.P3).

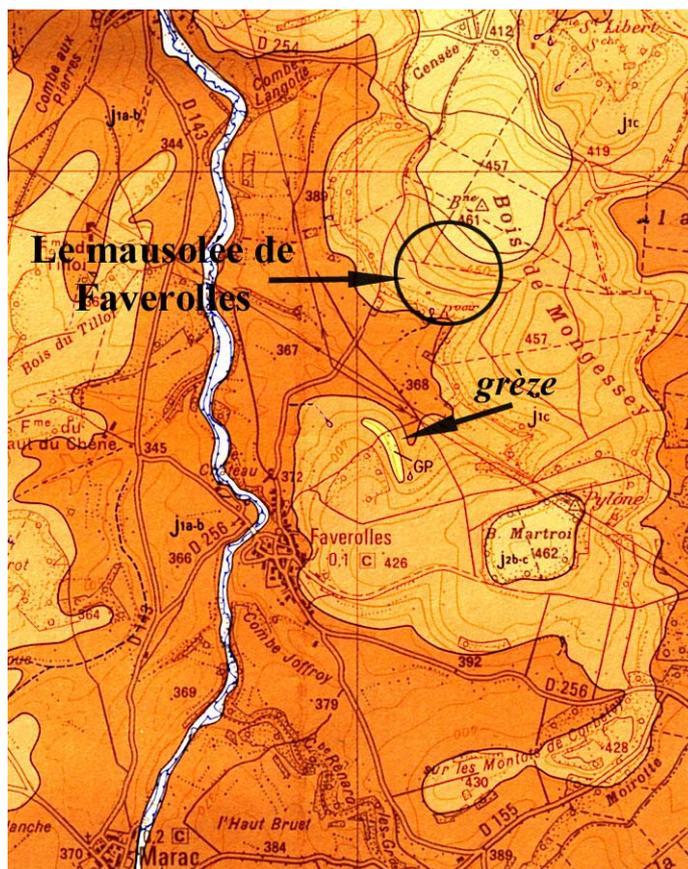


Fig.P3. Localisation, sur le plateau calcaire du médiojurassique, du mausolée de Faverolles et du premier affleurement de « grèze » (carte au 1/50 000 n°372 ; Maubeuge 1982).

Le traitement du granulat semble de fait avoir été inexistant (pas de lavage, ni de criblage), ce qui pourrait se comprendre vue l'utilisation du mortier dans un blocage.

La double-couche chaux et argile renvoie à une pratique décrite par J.-P. Adam (1995, p.81), une couche de chaux pure venant recouvrir chaque étape du travail de coffrage, soulignant ainsi les limites de banchées (strates de mise en œuvre du matériau). Ce niveau serait donc une couche de protection du blocage ou un niveau de repère, disposé entre deux étapes ou deux campagnes de l'édification, avec un curage partiel de cette couverture à la reprise de la construction.

Références

MAUBEUGE P.-L. (1982) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Nogent-en-Bassigny, n° 372.

II.3. Q/ Les mortiers de chaux du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (Somme)



Carte d'identité

Nouveau programme de fouille depuis 1990 d'un sanctuaire daté du III^e s. av. J.-C. au IV^e s. ap. J.-C.

Coordinateur actuel : Jean-Louis Brunaux (CNRS-ENS, UMR *AOROC* 8546).

Bâtiments étudiés : sanctuaires (temples et quadriportiques).

Datation : fréquentation de la fin du I^{er} av. J.-C. au IV^e ap. J.-C.

Nombre d'échantillons : 37 d'enduits peints, 37 *in situ* de mortiers de maçonnerie, 1 de joint de parement, 4 de joints de toiture.

Prélèvements effectués par l'analyste.

1. Introduction

Le site de Ribemont-sur-Ancre est localisé à dix-sept kilomètres à l'est d'Amiens. Découverts par prospection aérienne en 1963 par Roger Agache, les seuls vestiges visibles ont d'abord été interprétés comme une vaste *villa* gallo-romaine. Les études ultérieures ont révélé une vaste agglomération se répartissant sur près d'un kilomètre, érigée suivant un système de terrasses sur un versant de la vallée de l'Ancre, avec des thermes, un théâtre et un sanctuaire (fig.Q1).

Un programme de recherches est mené depuis 1990 sur le sanctuaire, montrant la présence au III^e s. av. J.-C. (Tène moyenne) d'un trophée constitué des restes de plusieurs centaines d'individus et de milliers d'armes. Un temple (édifice 15) est construit sur le même lieu vers 30 av. J.-C., après nettoyage du site (phase I du sanctuaire ; Brunaux *et al.* 1999). Ce temple est reconstruit au début de notre ère (phase II) et restauré au milieu du I^{er} s. ap. J.-C. (phase III). Il est doté à la fin du I^{er} s. ap. J.-C. d'un double quadriportique (phase IV). Un nouveau temple sur podium (édifice 16), monumental, est construit plus au nord dans la seconde moitié du II^e s., entouré d'un nouveau portique (phases Va et Vb), délimitant une deuxième aire sacrée (fig.Q2 et Q3).

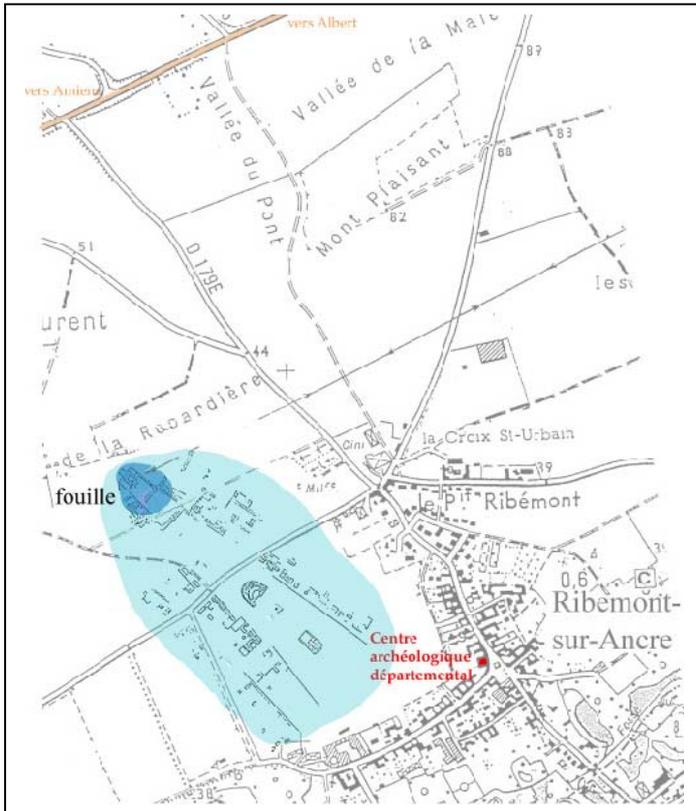
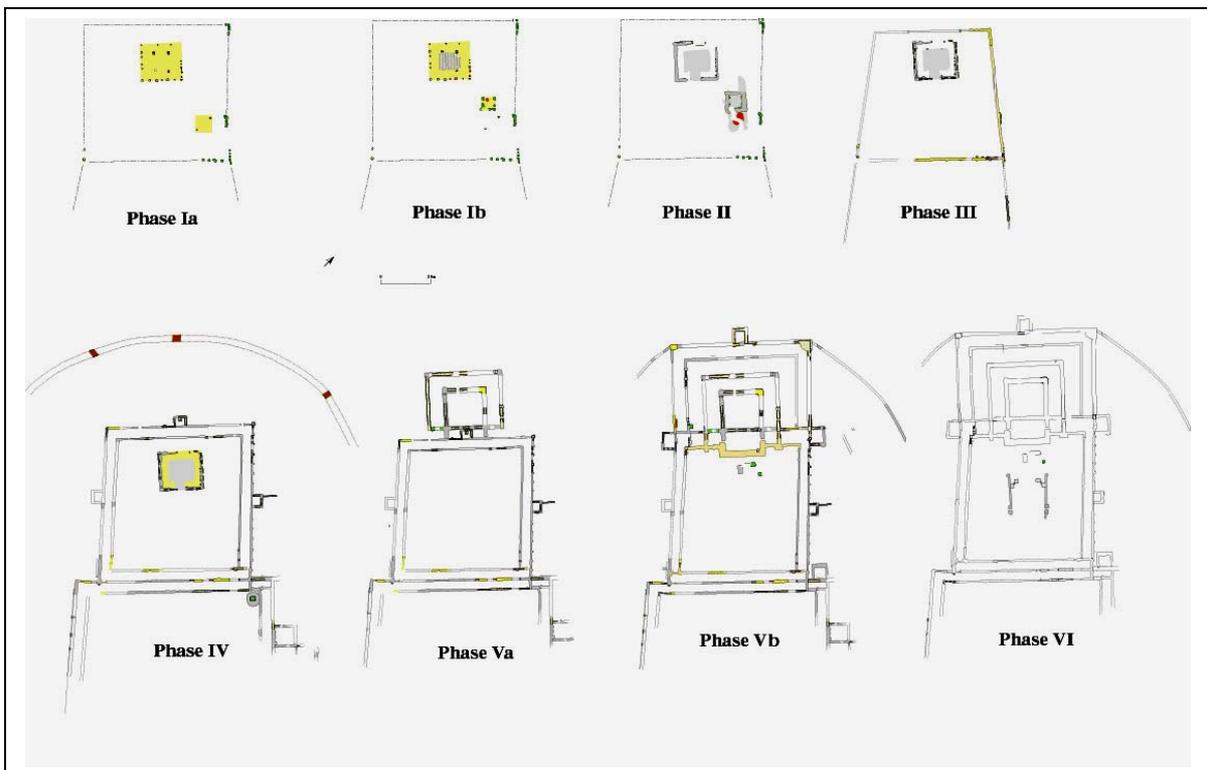


Fig.Q1. Plan général du site de Ribemont-sur-Ancre (G. Fercoq du Leslay).

Fig.Q2. Evolution du site de la fin du I^{er} s. av. J.-C. au III^e s. ap. J.-C. (G. Fercoq du Leslay).



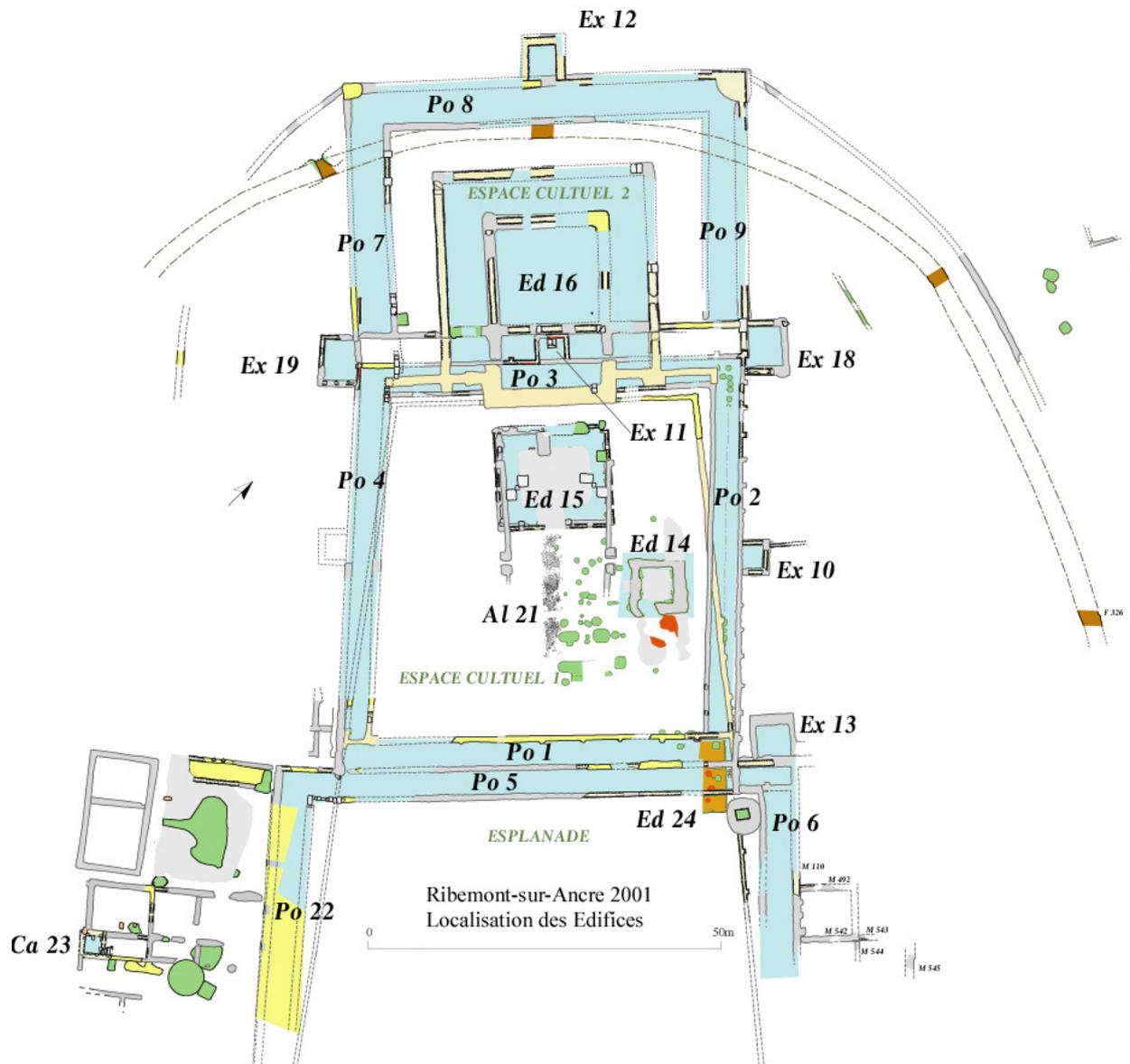


Fig.Q3a. Localisation des édifices et des espaces cultuels du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (G. Fercoq du Leslay).

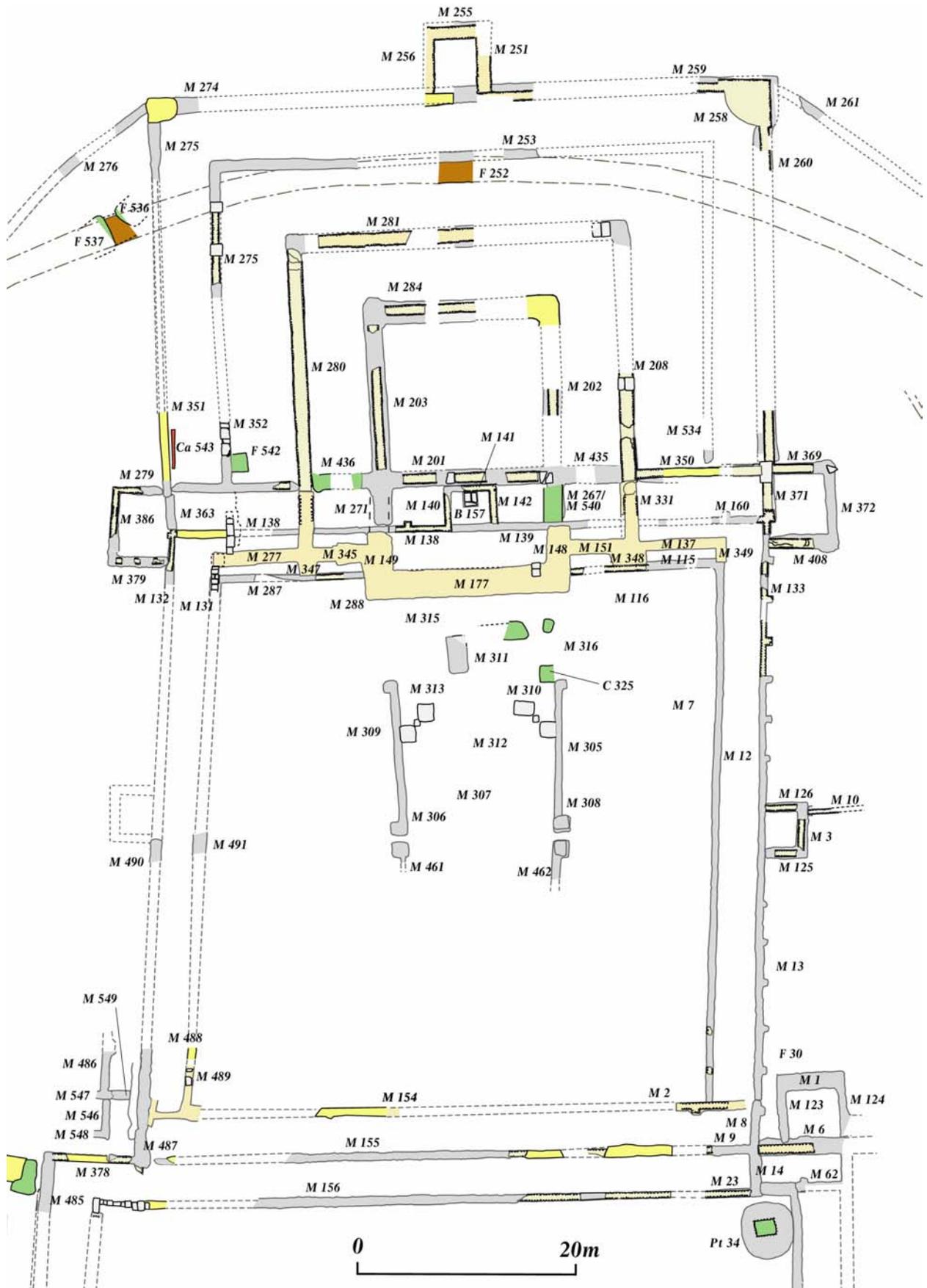


Fig.Q3b. Numérotation des murs du sanctuaire (G. Fercoq du Leslay).

De nombreux prélèvements de mortier furent effectués au printemps et en été 2000. Il s'agit de trois ensembles distincts correspondants à des mortiers de maçonnerie prélevés *in situ*, à des éléments d'enduit peint en position secondaire et à des fragments divers (dont des éléments de toiture) eux aussi non en place. Le sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre est le seul, actuellement, à bénéficier d'une étude conjointe de mortiers de support de peintures murales et de mortiers de construction.

2. Résultats et discussions

2.1. Cas des enduits peints

Trente-trois échantillons ont été conditionnés dans dix-huit sacs (tabl.Q4)¹⁹. Ces éléments d'enduit peint ont été exhumés en plusieurs points sur le site (fig.Q5), toujours en position secondaire :

- La *cella* de l'édifice 15 (**RSAEP 1 et 3-6**), phase I.
- Le chemin d'accès au temple (Ed. 15) (**RSAEP 11-13**), phase I.
- L'exèdre 11 (portique flavien) (**RSAEP 2 et 14-17**), phase II.
- Les remblais sous l'exèdre 18 (**RSAEP 18-24 et 28-32**), issus de la démolition du portique flavien Po3 et de la *cella* de l'Ed. 15 (?), tout deux datés de la phase IV.
- Les remblais devant l'exèdre 18, au sud-ouest (**RSAEP 25**), issus de la destruction du portique flavien (Po3) daté de la phase IV.
- Le portique de la deuxième aire sacrée (**RSAEP 26-27**), démolition du portique Po3 de la phase IV.
- La terrasse sous la cour entre le portique Po9 et le podium de l'édifice 16 (**RSAEP 33**) ; destruction de Po3 (de la phase IV) ?
- Un niveau de démolition sur l'aire de travail de la construction du temple 16, provient de la démolition du portique Po3 (**RSA 4**, US 11-19, au nord de M.264), fin de la phase IV.
- La fosse 17 au nord de l'exèdre 13 (**RSAEP 7-10**), comblée au milieu du II^e s. ap. J.-C., lors de ou après la phase V (phase VI ?).

¹⁹ Entre parenthèses la couleur ou la description de la couche picturale (Cp) : rouge (R), noir (N), jaune (J) et vert (V). Le symbole (a) désigne la couche d'épiderme, son absence -(a), ou sa présence +(a), s'il y a eu besoin de préciser.

ECHANTILLONS (Cp)	N° de sac	Lame mince	Provenance	Phase
RSAEP 1 (Bleu)	1		03.606, cella temple (édifice 15)	I
RSAEP 2 (Bleu)	2	X	05., portique flavien, exèdre 11	II
RSAEP 3 (R)	3	X	03.514, cella temple (édifice 15)	I
RSAEP 4 (Ove)	3	X	03.514, cella temple (édifice 15)	I
RSAEP 5 (N+(a))	3		03.514, cella temple (édifice 15)	I
RSAEP 6 (N-(a))	3	X	03.514, cella temple (édifice 15)	I
RSAEP 7 (R)	4		04.274, fosse 17 (au nord de l'exèdre 13)	V/VI
RSAEP 8 (N)	4	X	04.274, fosse 17 (au nord de l'exèdre 13)	V/VI
RSAEP 9 (R)	5	X	04.274, fosse (au nord de l'exèdre 10)	V/VI
RSAEP 10 (N)	5	X	04.274, fosse (au nord de l'exèdre 10)	V/VI
RSAEP 11 (bandes)	6	X	03.38, allée au sud de l'édifice 15	I
RSAEP 12 (N)	6	X	03.38, allée au sud de l'édifice 15	I
RSAEP 13 (N passé)	6	X	03.38, allée au sud de l'édifice 15	I
RSAEP 14 (R)	7	X	05., portique flavien, exèdre 11	II
RSAEP 15 (N)	7	X	05., portique flavien, exèdre 11	II
RSAEP 16 (J)	7	X	05., portique flavien, exèdre 11	II
RSAEP 17 (V)	7	X	05., portique flavien, exèdre 11	II
RSAEP 18 (R)	8		14.72 sous exèdre 18, contre M.371	IV
RSAEP 19	9	X	14.78 sous exèdre 18, contre M.408	IV
RSAEP 20 (R)	10	X	14.58 sous exèdre 18, contre M.369	IV
RSAEP 21 (R passé)	10	X	14.58 sous exèdre 18, contre M.369	IV
RSAEP 22 (R+(a))	11	X	05.442 sous exèdre 18, contre M.371	IV
RSAEP 23 (R-(a))	11	X	05.442 sous exèdre 18, contre M.371	IV
RSAEP 24 (N)	11	X	05.442 sous exèdre 18, contre M.371	IV
RSAEP 25 (R)	12	X	05.441, remblai devant l'exèdre 18	IV (destruction du portique flavien Po3)
RSAEP 26 (R)	13		11.271, remblai dans cour nord	IV (démolition du portique Po3)
RSAEP 27 (N)	13	X	11.271, remblai dans cour nord	IV (démolition du portique Po3)
RSAEP 28 (R)	14		14.59 sous exèdre 18, contre M.372	IV
RSAEP 29 (R)	15	X	14.24 sous exèdre 18	IV
RSAEP 30 (Blanc)	16		14.28 sous exèdre 18	IV
RSAEP 31 (N)	16	X	14.28 sous exèdre 18	IV
RSAEP 32 (R)	17		14.1 sous exèdre 18	IV
RSAEP 33 (N)	18	X	11.211, cour nord au temple (Ed. 16)	IV ? (destruction de Po3 ?)
RSA 4	-	X	11.19, au nord de M.264	V ? (démolition de Po3)

Tabl.Q4. Liste des échantillons d'enduits peints du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre.

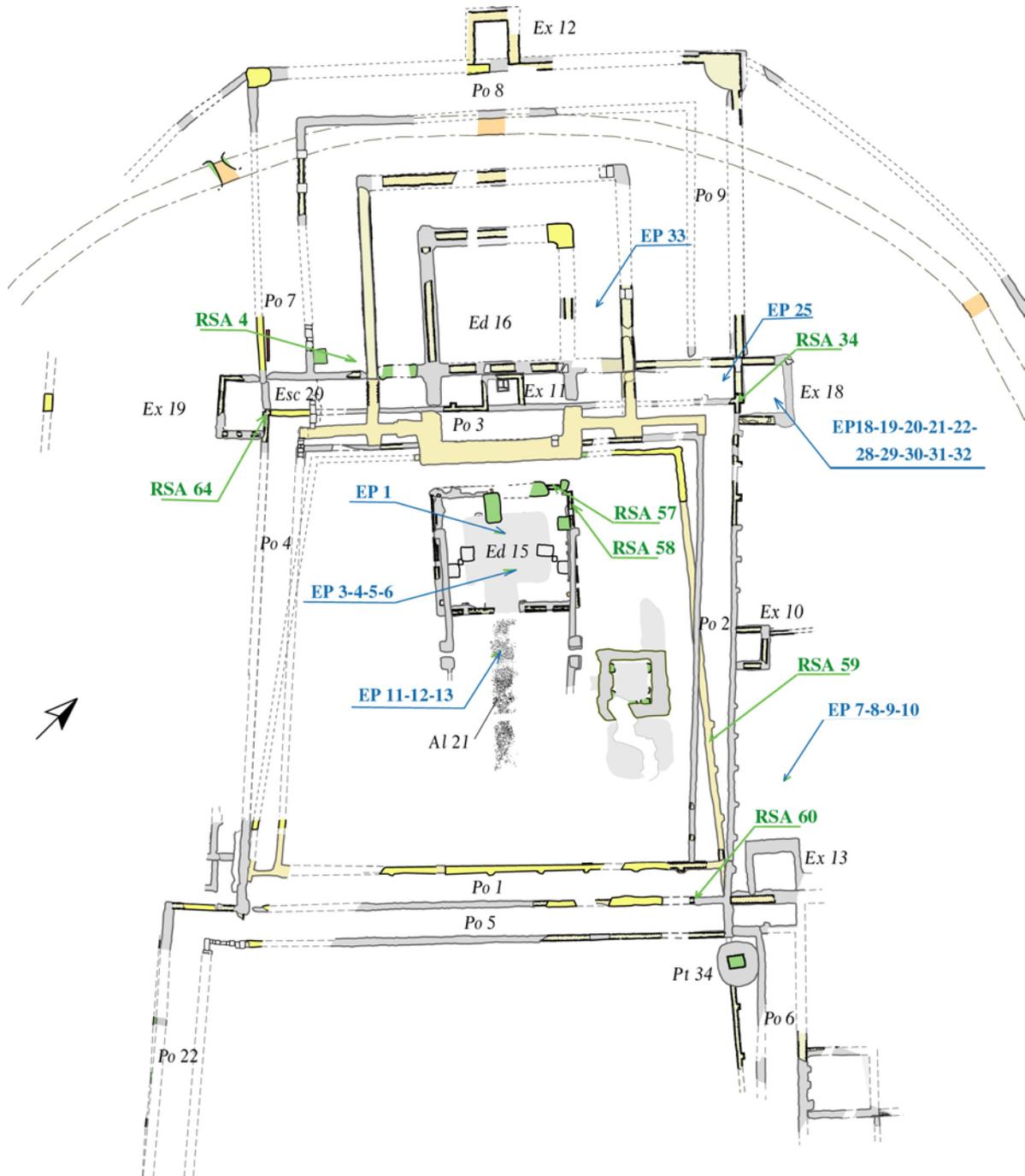


Fig.Q5. Principaux échantillons de mortier de construction (RSA) et d'enduit peint (EP) (d'après G. Fercoq du Leslay).

2.1.1. Typologie

Les types de mortier peuvent se classer suivant deux familles : les mortiers « sableux » (MS) et les mortiers de tuileau et de « sable » (MTS). Le tableau Q6 résume les principales caractéristiques des types de mortier de support.

Types	Couleur de la matrice	Cristaux de calcite	Craie	Sable quartzeux	Silex	Limon	Tuileau	Remarques	Strate(s)
MS1	Blanc cassé	Variable, 20 à 50%	+	+	tr	-	-		(a)
MS2	Beige crème clair	tr	50%	tr	+	+	-	Fabriques de sols. Paille fréquente. Quelques coquilles	(a) ou (b)
MS3	Blanc	10-15%	-	+	+	-	-		(a)
MS4	Beige crème foncé	-	10-15%	+	40%	< 5%	-	Quelques coquilles	(b)
MS5	Blanc beigeâtre	-	-	5 %	25-30%	+	-		(a)
MS6	Beige crème sombre	-	15%	+	25-30%	< 5%	-	Beaucoup de paille	(c)
MS7	Beige terreux	+	35-40%	15 %	+ à 20%	< 5%	-	Granulométrie variable	(b)
MS8	Marron terreux	+	20%	20 %	< 5%	< 5%	-	Quelques coquilles	(a)
MTS1	Rose foncé	-	-	+	< 5%	< 5%	30%	Paille	(a)
MTS2	Beige rosé	-	+	+	15-20%	< 5%	40%		(b)
MTS3	Beige rosé	+	35%	5%	< 5%	< 5%	20-25%	Plusieurs coquilles	(b)

Tabl.Q6. Principales caractéristiques des types de mortier constituant le support des peintures murales du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre.

- : absence

tr : présence rare (en « traces »)

+ : présence en faible quantité, non quantifiable

Deux types de mortier montrent des teneurs variables pour une famille de granulat : les monocristaux de calcite pour MS1 et le silex pour MS7. Ces variations n'entraînent pas de définition de nouveaux types. Elles sont le résultat d'un tri granulométrique ou d'un allègement de la charge, tel que MS1 est moins riche en cristaux de calcite en surface (pour les derniers 500 µm de la couche) et que MS7 est plus riche en éléments grossiers (silex surtout) en base de couche (qui est d'ailleurs la première appliquée contre le mur).

Plusieurs familles de granulat ont donc été mises en évidence :

- les cristaux de calcite se présentent toujours sous la forme de cristaux anguleux, aux arêtes vives. Les grains ont la dimension des sables fins. On observe aussi de la poudre (résidu du broyage). Il s'agit presque exclusivement de monocristaux, sans extinction onduleuse, aux macles polysynthétiques peu fréquentes. On suppose donc une exploitation de veines de calcite dans les calcaires proches.
- La craie est présente, presque toujours sous forme de grains émoussés. La nature de la craie ne semble pas évoluer, seule la granulométrie varie.
- Les fragments de silex sont anguleux, aux arêtes vives. Leur nature ne change pas, seule la granulométrie varie.
- Les limons sont anguleux, quartzeux pour l'essentiel, constitués aussi de cristaux de calcite.
- Les grains de quartz sont subarrondis pour la plupart. On ne voit pas de quartz polycristallins ou hérités de structures métamorphiques. Ils sont toujours de faibles dimensions, de diamètre inférieur à 500 µm en général.
- Pour le tuileau, le problème est différent, puisqu'il s'agit d'artefacts. La diversité semble varier suivant le type de mortier. La granulométrie diffère aussi, mais la gamme granulométrique est toujours complète, depuis la poussière de tuileau jusqu'aux éléments millimétriques.
- Quelques éléments associés ont été repérés : la paille, les charbons de bois, des coquilles (fossiles ?), des éléments de sol et des grumeaux de chaux. Seule la paille est représentée de façon assez significative dans certains types pour être considérée comme un ajout volontaire de granulat.

2.1.2. Assemblages stratigraphiques

Un support de fresque est constitué d'un assemblage stratigraphique de plusieurs types de mortier. Afin de simplifier le discours, sont reportés dans le tableau Q7 les différents assemblages et les échantillons respectifs. Les assemblages stratigraphiques A, B, C et E sont illustrés fig.Q8.

Assemblage	Stratigraphie	Echantillons	Couche picturale	Zones correspondantes	Phase
A	MS1 / MS2	RSAEP 3, 4, (5) et 6 RSAEP (7) et 8 RSAEP 12 RSAEP 31 RSAEP 33 RSA 4	R, N et ove R et N N N N -	<i>Cella</i> Ed.15 Fosse 17 N. Ex.13 Allée sacrée 21 Ex.18, destruction Po3 Destruction Po3 ? Destruction Po3	I V/VI ? I IV IV IV
B	MS3 / MS4	RSAEP 9 RSAEP 20	R R	Fosse 17 N. Ex.13 Ex.18, destruction Po3	V/VI ? IV
C	MS5 / MS4 / MS6	RSAEP 10 RSAEP 13	N N	Fosse 17 N. Ex.13 Allée sacrée 21	V/VI ? I
D	MTS1 / MTS2	RSAEP 11	Bandes	Allée sacrée 21	I
E	MS1 / MS7	RSAEP 14, 15, 16 et 17 RSAEP (18), 19, 21, 22, 23, (28), 29, (30) et (32) RSAEP (26) et 27	R, N, J et V R (et blanc) R et N	Portique flavien (Ex.11) Ex.18, destruction Po3 Destruction Po3	II IV IV
F	MS2 / MTS3	RSAEP 24	N	Ex.18, destruction Po3	IV
G	MS8 / MS7	RSAEP (1) RSAEP 2	Bleu Bleu	<i>Cella</i> Ed.15 Portique flavien (Ex.11)	I II

Tabl.Q7. Les supports des peintures murales du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (entre parenthèses les échantillons non étudiés en microscopie).

Seul RSAEP 25 n'est pas indiqué, il semble que l'on ait exclusivement une couche de type MS7, mais la mauvaise tenue de l'échantillon et la mauvaise qualité de la lame mince ne nous permettent pas de l'affirmer. Nous avons ajouté dans le tableau Q7 les échantillons qui n'ont pas donné lieu à une lame mince, mais que les observations macroscopiques nous permettent de rattacher à un assemblage.

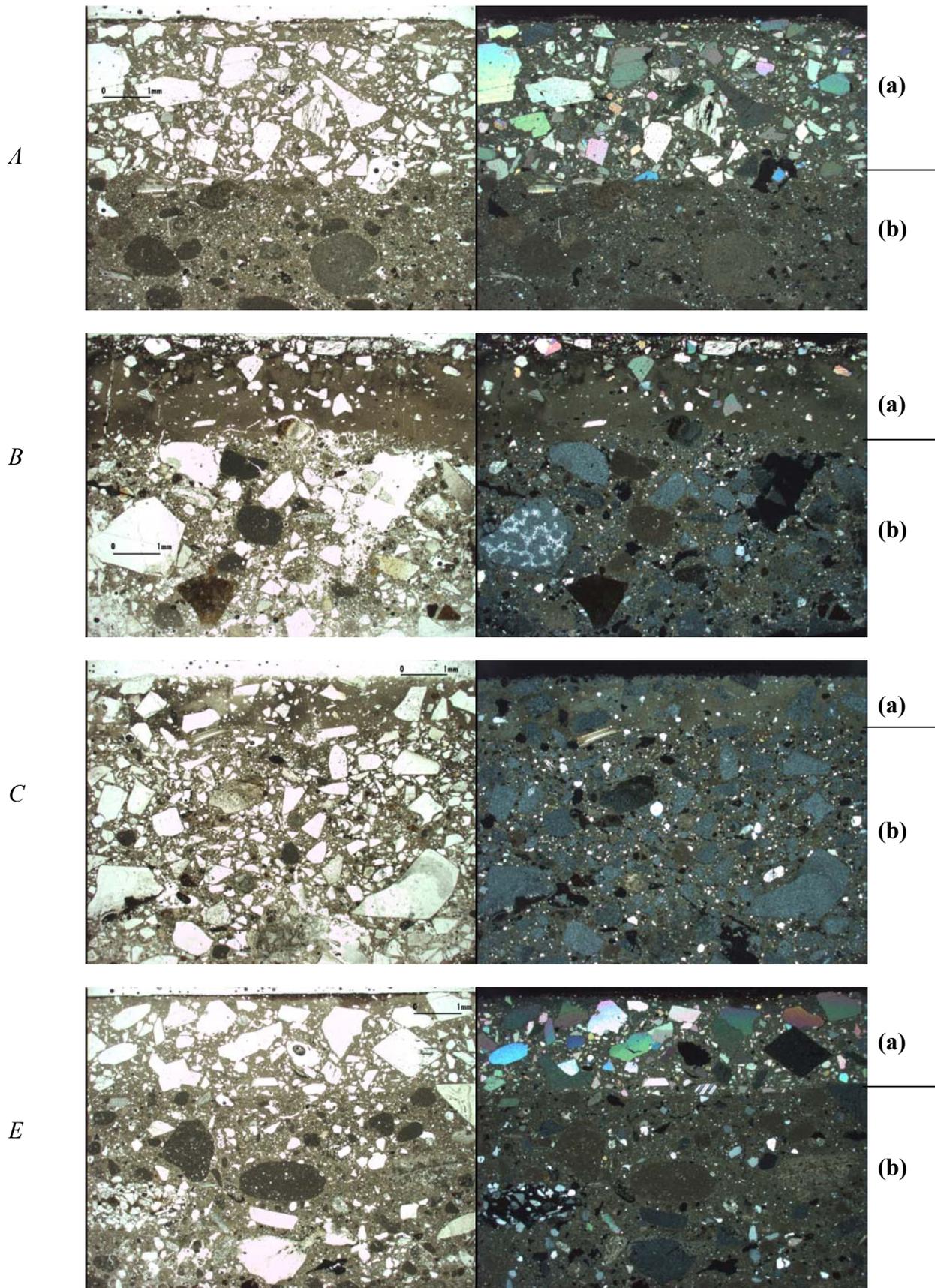


Fig.Q8. Couches (a) et (b) des assemblages A, B, C et E, en microscopie optique, LPNA (à gauche) et LPA (à droite). Grossissement x15.

2.1.3. Les ensembles

Le cas des enduits peints a la particularité de présenter essentiellement des fragments trouvés en position secondaire, provenant de la démolition ou des remblais. Le premier travail a donc été d'isoler les ensembles susceptibles de nous fournir des éléments sûrs de corrélation entre une (ou plusieurs) phase(s) de construction et une (ou plusieurs) stratification(s) des types de mortier, et ce à partir des données de la fouille.

La peinture murale du premier temple (édifice 15) a été exhumée sur l'emprise exacte de la *cella* (Brunaux *et al.* 1999, p.225). Il a été démontré que les éléments de la couche de fragments d'enduits peints, disposée sur le dallage de l'allée sud du temple, proviennent de la destruction de ce dernier, puisque des remontages ont été possibles. Ainsi, les types et assemblages retrouvés dans les ensembles « *cella* édifice 15 » et « allée sacrée 21 » sont considérés comme appartenant à l'origine aux murs de la *cella* du temple édifié durant la deuxième phase de construction du sanctuaire. Ces assemblages sont **A**, **C**, **D** et **G**, ce qui correspond aux types de mortier MS1, MS2, MS4, MS5, MS6, MS7, MS8, MTS1 et MTS2.

Les types et assemblages retrouvés dans l'ensemble « portique flavien – exèdre 11 (Ex.11) » sont considérés comme appartenant à l'origine à cette structure, édifiée durant la quatrième phase de construction, puisque les éléments y ont été retrouvés en place. Ces assemblages sont **E** et **G**, ce qui correspond aux types MS1, MS7 et MS8.

A partir de ces deux ensembles, plusieurs remarques peuvent être formulées sur les différents groupes d'échantillons et sur les structures les ayant livrés :

- deux échantillons issus de la démolition de Po3, appartenant à des niveaux de remblai de la terrasse entre le podium du temple de la deuxième aire sacrée (édifice 16) et les portiques Po9 (RSAEP 33) et Po7 (RSA 4), montrent une stratigraphie correspondant à l'assemblage A, caractéristique de la décoration primitive du temple (Ed.15) et du portique de la première aire sacrée. Ils ne peuvent donc pas, effectivement, être considérés comme représentatifs de la décoration du temple 16 de la deuxième aire sacrée.
- De même, l'assemblage E, caractéristique *a priori* de la décoration du portique flavien (phase IV de la construction), se retrouve dans les échantillons RSAEP 26 et 27, ce qui confirme que le remblai de la cour, autour du temple à podium (Ed.16), provient en partie de la destruction du portique flavien Po3.

- Les remblais sous l'exèdre 18 montrent une grande hétérogénéité. On y a découvert les assemblages A, B, E et F. Toutefois, l'assemblage E, lié au portique flavien, est majoritaire.
- Le remplissage de la fosse 17, au nord de l'exèdre 13, correspondrait aux éléments de la destruction du portique Po5 lors de la construction de l'exèdre 13. Il comprend des échantillons correspondants à différents assemblages : A, B et C.

2.1.4. Discussions et interprétations

La *cella* du premier temple (Ed.15) est représentée par deux assemblages, A et G. Le premier, de par sa récurrence, peut être considéré comme celui employé pour la décoration de l'intérieur du temple. La composition particulière du support de l'assemblage G et l'emploi systématique d'un pigment bleu nous font penser à une utilisation de cette stratigraphie uniquement pour le plafond ou pour les parties hautes de la paroi (cf. III.1.5b). Le portique flavien est lui aussi caractérisé par deux assemblages, E et G. Le premier correspondrait à la décoration intérieure du quadriportique, le deuxième aux zones supérieures du décor.

Ces deux ensembles bien circonscrits nous permettent d'envisager le remplissage de la couche à enduits peints de l'allée sacrée 21 (aux assemblages A, C et D) comme ne résultant pas de la destruction d'un décor unique, mais de plusieurs. Ceci n'exclut pas que les spécimens de supports C et D puissent provenir du recouvrement du premier temple (Ed.15), mais sur d'autres surfaces, par exemple en extérieur (ou pour la galerie ?) puisque les couches d'épiderme ne présentent pas de marbre, peut-être réservé pour les compositions les plus élaborées. Le dépôt de cette couche à enduits peints est vraisemblablement intervenu avant la destruction du décor du portique flavien Po3, puisque aucun prélèvement d'assemblage E n'a été observé (par nos soins)²⁰.

Les deux ensembles « *cella* Ed.15 » et « Exèdre 11 » montrent une certaine continuité, l'assemblage G étant chaque fois présent et le type MS1 étant employé pour la préparation de la couche d'épiderme des enduits des murs latéraux. Il s'agit ici de deux traits techniques particuliers. En effet, il est fort probable que la préparation d'un enduit de plafond ou de zone supérieure ait bénéficié d'une composition originale qui aurait perduré dans la région plusieurs années ou décennies (assemblage G). De même, l'emploi de cristaux de calcite dans une couche d'épiderme était *a priori* la marque d'une mise en œuvre de qualité. Nous avons déjà

repéré, notamment dans les échantillons de Vichten (Grand Duché du Luxembourg), ce type d'assemblage constitué d'une couche de préparation de faible qualité (mortier presque terreux) recouverte d'une couche de finition soignée, chargée en monocristaux de calcite. La résistance des échantillons semble suffisante pour une bonne tenue dans des conditions environnementales peu agressives, c'est-à-dire à l'intérieur du bâtiment. Il n'est donc pas étonnant de retrouver ce type de stratigraphie pour la décoration intérieure du sanctuaire (*cella* et exèdre). La composition de la couche d'épiderme, au même titre que la technique de préparation de l'enduit des zones hautes ou de plafond (?), peut avoir bénéficié d'une codification à l'origine d'un emploi prolongé à l'échelle de l'agglomération ou de la région²¹.

Les assemblages A et E diffèrent peu en somme, car les types de mortier MS2 et MS7 sont de compositions relativement proches. Les teneurs en silex et en grains de sable quartzeux sont plus importantes dans MS7 qui montre aussi une ségrégation des éléments les plus grossiers du granulat, relégués en base de couche, en accrochage sur le mur. La décroissance du diamètre des grains du revers vers l'avant correspond aux prescriptions que nous ont rapportées les auteurs antiques (principalement Vitruve). L'application en deux étapes du mortier de type MS7 est parfois flagrante, avec une limite nette entre la sous-couche fine et sa précédente. La ressemblance entre les deux types s'explique par l'emploi des mêmes matières premières (même formation géologique source), avec une recette quasi identique (proportion du granulat un peu plus importante dans MS7). Leurs différences pourraient s'expliquer par une relative hétérogénéité de la formation source, entraînant une variation d'un point d'extraction à l'autre ou pour un même lieu d'exploitation si le volume extrait est important.

Les autres ensembles d'échantillons, provenant de la fosse 17 au nord de l'exèdre 13, du portique flavien (remblais sous l'exèdre 18) et du remblai de la cour du temple 16 de la deuxième aire sacrée, montrent les assemblages (A et E, mais aussi C et D) appartenant à la première, deuxième et quatrième phase de construction, ou contenant dans leur stratigraphie un type de mortier observé dans ces premiers assemblages (MS2 et MS4, pour les assemblages B et F).

Nous sommes donc face à un problème ; si l'on se fonde exclusivement sur les types de mortier, il ne semble pas y avoir dans nos échantillons²² des éléments qui puissent être

²⁰ Il est à noter toutefois que ce portique Po3 est relativement éloigné de l'allée ; les matériaux de démolition se retrouvent généralement localisés à proximité de leur position d'origine.

²¹ Il est difficile d'évoquer, sans autre comparaison, l'existence d'un seul atelier ayant officié durant plusieurs décennies (courant I^{er} siècle ap. J.-C.) sur le sanctuaire.

²² Pourtant soigneusement choisis car recouvrant l'ensemble des supports connus sur le site.

attribués à la décoration de la deuxième aire sacrée des II^e-III^e siècle. La présence sur tout le sanctuaire des assemblages apparemment caractéristiques du premier sanctuaire pourrait s'expliquer par une continuité dans les recettes et les matières premières, mais cela implique une technique de préparation n'évoluant pas durant près d'un siècle (milieu I^{er} au milieu II^e ap. J.-C.). Autre hypothèse, le temple et les portiques de la deuxième aire n'auraient pas été recouverts de peintures murales. Cela pourrait sembler difficile à admettre. Pourtant, l'intérieur de la *cella* du temple à podium (Ed.16) était apparemment richement décoré de placages de marbre. La totalité des murs des portiques pourrait avoir bénéficié du même traitement décoratif.

2.2. Cas des mortiers de construction

Bien que l'échantillonnage ait été guidé par une volonté d'exhaustivité, les structures visibles et fouillées en août 2000 ont entraîné une surreprésentation des fragments de mortier du deuxième sanctuaire (phase V). Au total, trente-sept échantillons ont été prélevés sur maçonnerie, dont seulement six pour le premier sanctuaire : RSA 34, 57, 58, 59, 60 et 64 (fig.Q5).

2.2.1. Compositions et typologie

Tous les échantillons de mortier du sanctuaire présentent des compositions extrêmement proches, les mêmes familles de granulat s'y observant. Il s'agit de mortiers assez argileux voire terreux, beigeâtres, pulvérulents, avec une charge constituée pour l'essentiel de gravelles de craies et de gravillons de silex. Les grumeaux de chaux sont peu abondants. L'orientation des grains les plus allongés est assez récurrente. La porosité est généralement importante.

Quatre types de mortier de maçonnerie ont été définis²³. La numérotation des types prend la suite de celle des mortiers de support des enduits peints (tabl.Q9).

²³ La description détaillée des types de mortiers de maçonnerie est reprise en annexe en fin de chapitre.

Types de mortier	Couleur de la matrice	Proportion chaux/granulat	Craie	Quartz	Silex	Remarques
MS9	10YR8/2	1:3 (à 1:4 ?)	40%	20% surtout limon	10%	Nombreux traits pédologiques
MS10	10YR8/2	1:2	40%	10% surtout limon	10%	Nombreux traits pédologiques
MS11	10YR8/2 (moins jaune que les autres MS)	1:3	30-35%	25% sable et limon	< 5%	
MS12	10YR8/2	1:1	15%	30% limon	-	

Tabl.Q9. Types de mortier de maçonnerie du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre.

2.2.2. Répartition chronologique des types

Le nombre d'échantillons par type de mortier est parfaitement inégal. Le type MS10 est défini par RSA 34, le type MS11 est représenté par RSA 57 et 58, et au type MS12 ne correspond que l'échantillon RSA 64. Ces quatre prélèvements appartiennent au premier sanctuaire. RSA 59 et 60 n'ont pu être observés en microscopie, car aucun de ces échantillons n'a présenté un volume assez important pour la préparation d'une lame mince (difficulté d'échantillonnage et faible résistance du matériau). Toutefois, l'observation macroscopique permet de lier RSA 59 à MS11 et de rapprocher RSA 60 du type MS10. Tous les autres échantillons (deuxième sanctuaire : Ex 18, Ex 19, Ed 16, etc.) appartiennent au type MS9 (fig.Q10).

Une double question se pose : comment expliquer le nombre de types de mortier pour le premier sanctuaire alors que le deuxième montre toujours le même matériau ? Il semble qu'il faille voir ici le témoignage de la succession des phases de construction du I^{er} au II^e siècle après J.-C. Le mortier MS11 est caractéristique de l'édification du premier temple (édifice 15) et du portique de la phase III du premier sanctuaire, le mortier MS10 étant utilisé pour la construction du premier quadriportique (phase IV). Le type MS12 est assez original dans le groupe des mortiers de construction avec sa granulométrie fine. Sa présence est limitée au contrefort du mur 132, ce mortier s'insère dans une phase de reconstruction logique du sanctuaire. Pour le deuxième sanctuaire, des II^e-III^e siècle, la relative homogénéité du mortier utilisé conforte l'idée d'un programme architectural unique réalisé en un temps

relativement « court ». Les décalages architecturaux entre les maçonneries de fondations ne seraient donc pas significatifs de changements d'états de la construction.

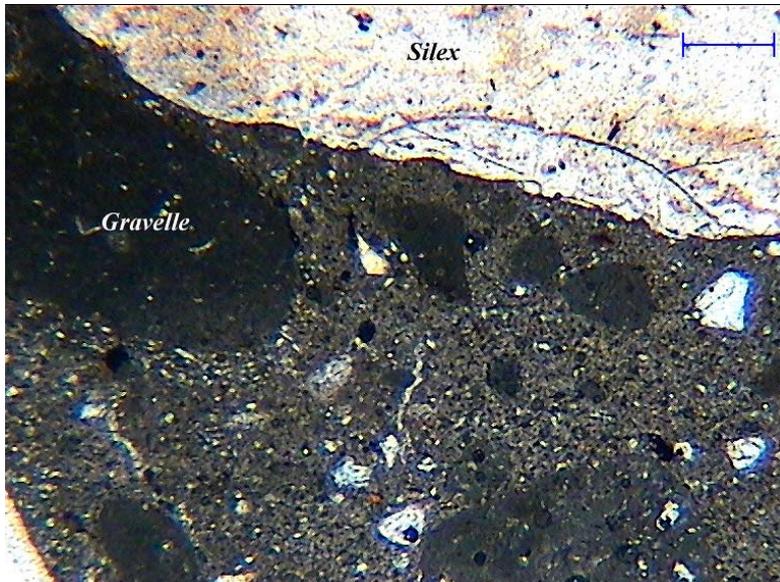
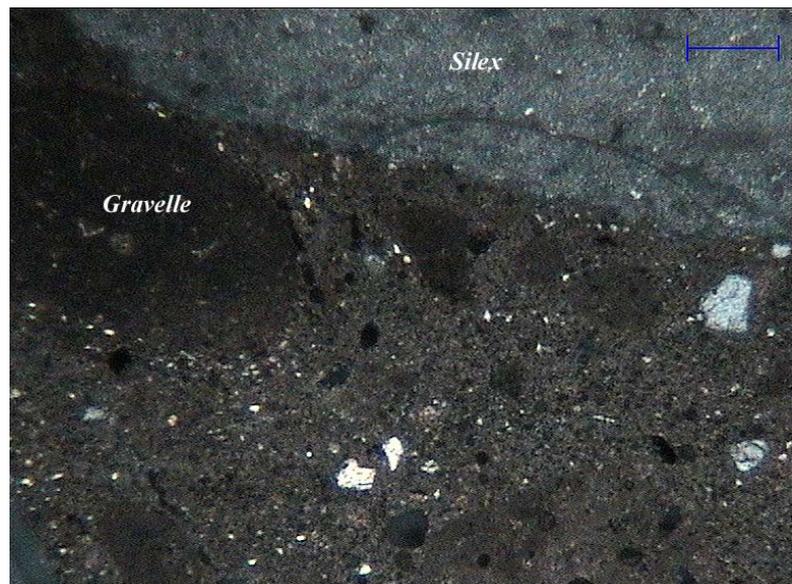


Fig.Q.10a. Charge grossière et fine d'un mortier de type MS9. Echantillon RSA 37, mur 208, temple édifice 16. LPNA (l'échelle mesure 500µm).

Fig.Q.10b. Idem. LPA.



2.3. Cas des autres mortiers

Un certain nombre de fragments de mortier a été exhumé en position secondaire, dans des couches de remblai, de démolition ou plus particulièrement en remplissage de fosses. Tous n'ont pas été étudiés, du fait du manque de données sur leur position primaire, leur fonction et leur datation. Plusieurs ensembles ont tout de même retenu notre attention.

2.3.1. Les joints de parement

La quasi-totalité des maçonneries ne montre aucune différence de liant architectural entre le blocage du mur et les joints des moellons des parements. L'exception, le stylobate M.2, a fourni des éléments correspondant à des joints préparés spécifiquement pour cette application, avec une composition différente de ce qui a pu être mis en évidence dans le cœur du mur et ailleurs sur le sanctuaire. Il s'agit d'un mortier blanc, qui ne contient aucun élément siliceux (fig.Q11). Il semble que le granulat soit constitué de sable (et gravillons) calcaire, mais l'aspect des grains renvoie plutôt à des nodules de chaux mal mélangés au reste du mortier, ou bien à des « mal cuits ». Il semble que ce soit une réfection du mur lors de la phase IV, par une technique de joint regarni (voir chap.III.1.1a).



Fig.Q11. Joint de parement du mur 2 du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre.

2.3.2. Les mortiers de toiture

Les liants de *tegulae* et *imbrices* ont une forme caractéristique alliant un côté convexe (moulage de l'intérieur de l'*imbrex*) et une partie basale en T (insertion entre deux rebords de *tegulae*). Nous en avons observé plusieurs, et d'autres échantillons montrent des formes dérivées : RSA 6 (niveau de démolition du portique flavien Po3, US 11-19), RSA 7 (remblai de démolition du temple 16 (?) à l'ouest du podium, US 11-113) et RSA 20 (fosse 17, US 04-274). L'échantillon RSA 21 (fosse 17, US 04-274) apporte des renseignements précieux sur l'origine de ces formes (fig.Q12). On trouve un mortier sableux englobant des fragments

d'*imbrices* de grandes dimensions (une dizaine de cm environ à chaque fois). Ces bouts de terre cuite sont disposés grossièrement, *grosso modo* parallèlement entre eux.

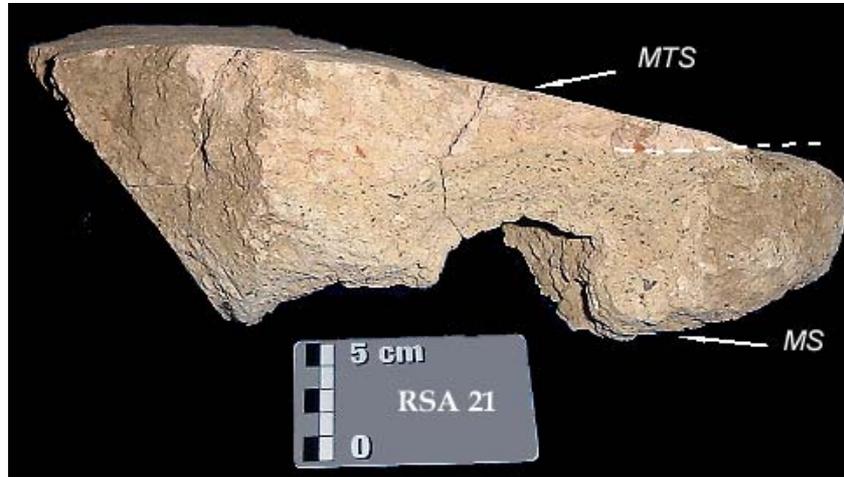


Fig.Q12. Echantillon RSA 21

Le mortier de ces quatre échantillons est identique. Il s'agit d'un mortier beige crème. On observe 25-30 % de silex anguleux de la dimension des limons jusqu'à 2 mm de diamètre maximum, quelques grains de quartz inférieurs à la centaine de μm , ou de la dimension des limons, associés à de fréquents gravillons émoussés de craie et de rares tuileaux. La composition est relativement proche des types MS4, 5 et 6, sans y correspondre parfaitement.

Ce mortier se rapproche donc de plusieurs types employés pour la préparation des enduits, il montre une toute autre qualité que les mortiers de maçonnerie. Cela dénote une réelle volonté d'adaptation des produits en fonction des différents emplois, afin, sans doute, d'obtenir le meilleur rapport entre la résistance et la durabilité du matériau par rapport aux possibilités d'approvisionnement, à la quantité de matières premières mises en œuvre et éventuellement à l'importance de leur traitement – en un mot, le meilleur rapport qualité-prix.

L'échantillon RSA 21 présente une stratigraphie. Le volume constitué du mortier sableux (à silex) se termine par une surface plane. Aucune courbure n'est détectée. Ce volume est recouvert d'une couche de mortier rose, contenant 25-30 % de tuileau de diverses natures, entre 750 μm et plusieurs mm de diamètre pour les plus gros, associés à de la poussière de tuileau. Quelques grains de quartz et fragments de silex sont aussi visibles. La particularité de

l'échantillon tient dans l'angle que forme la base de cette couche de mortier de tuileau avec sa surface extérieure, égal à 10° environ. Un tel angle est peu compatible avec un contact stratigraphique d'enduit mural, ce que l'épaisseur importante de la couche à silex (sûrement plus d'une dizaine de cm, mais l'échantillon n'est pas complet) et la présence de fragments de tuiles viennent renforcer. Il pourrait s'agir d'un élément de la structure maçonnée supportant directement les tuiles de la couverture ou correspondant à la partie extérieure du plafond par-dessus lequel était disposée la charpente. Le fragment est limité sur un côté par un bord droit, qui fait un angle de 35° environ avec la surface externe. On serait tenté de voir ici l'angle de la toiture. Mais c'est conclure un peu vite, car il reste plusieurs problèmes : la couche de mortier rose se biseaute jusqu'à disparaître au bout d'une vingtaine de centimètres seulement, et l'angle entre le bord droit et la surface du mortier beige est globalement de 50° (!), ce qui signifierait, de plus, que les *imbrices* auraient été posées avec un angle de plus de 45°. Il nous manque des éléments de comparaison pour mieux comprendre la position initiale de l'échantillon.

3. Les ressources de l'environnement géologique

Ribemont-sur-Ancre se situe dans la Picardie crayeuse. Le sanctuaire s'étend sur le versant septentrional de la vallée de l'Ancre, depuis le plateau picard caractérisé par un fort recouvrement en limons des plateaux (LP), jusqu'à la rivière et ses alluvions « récentes » relativement grossières (Fz).

Les formations crayeuses ont pu être cartographiées à proximité de Ribemont grâce à la présence de vallées sèches entaillant le plateau. Les craies blanches du Coniacien sup. (C4_c) et du Santonien inf. (C5_a), relativement pauvres en silex et pauvres en fossiles, sont les plus représentées. Les craies du Santonien moyen et supérieur (C5_{b-c}) et du Campanien supérieur (C6_b) ont elles aussi été identifiées à proximité. Toutes ces formations sont susceptibles d'avoir été exploitées durant l'Antiquité pour la fabrication de la chaux.

La seule formation sableuse de la région est d'âge tertiaire, thanétienne (e₃). Près d'Amiens, cette formation est subdivisée en deux, avec des sables inférieurs quartzeux, glauconieux, très fins, parfois argileux, et des sables supérieurs blancs quartzeux, moins fins que les précédents (Dupuis *et al.* 1972). Dans la région correspondant aux limites de la feuille Albert (Mennessier *et al.* 1976), la stratigraphie de bas en haut montre des argiles sableuses,

surmontées par des sables verts argileux puis des sables et argiles sableuses rouges. Les horizons signalés de « sables gris ou fauves » du Thanétien, à silex anguleux ou bien roulés, pourraient correspondre au granulat des types de mortier à silex dominant. Cette formation meuble a été reconnue en sondage à Ribemont, sur le plateau, au sud-ouest de la « ferme d'en haut ». Elle est présente sous les 4 m de limons quaternaires, avec une puissance de 4,4 m environ. Elle affleure en plusieurs points non loin du village, connus et exploités à la fin du XIX^e siècle, comme l'atteste la carte géologique au 1/80 000 (Gosselet et Cayeux 1894 ; fig.Q.13).

L'essentiel des mortiers montre des mélanges riches en gravelles de craie et des colorations de la matrice en beige. Les limons de versant, datés du Wurmien, correspondent parfaitement à cette description. Ils sont caractérisés par des successions de lits limoneux et de lits de presle crayeuse fine (limons beiges à granules de craie millimétriques et fragments de craie et silex centimétriques). Les colluvions sont de composition proche par endroits. Ces ensembles mêlant apports éoliens, altérations de la craie et colluvionnements nous semblent être ceux exploités pour fournir le granulat des principaux mortiers du sanctuaire.

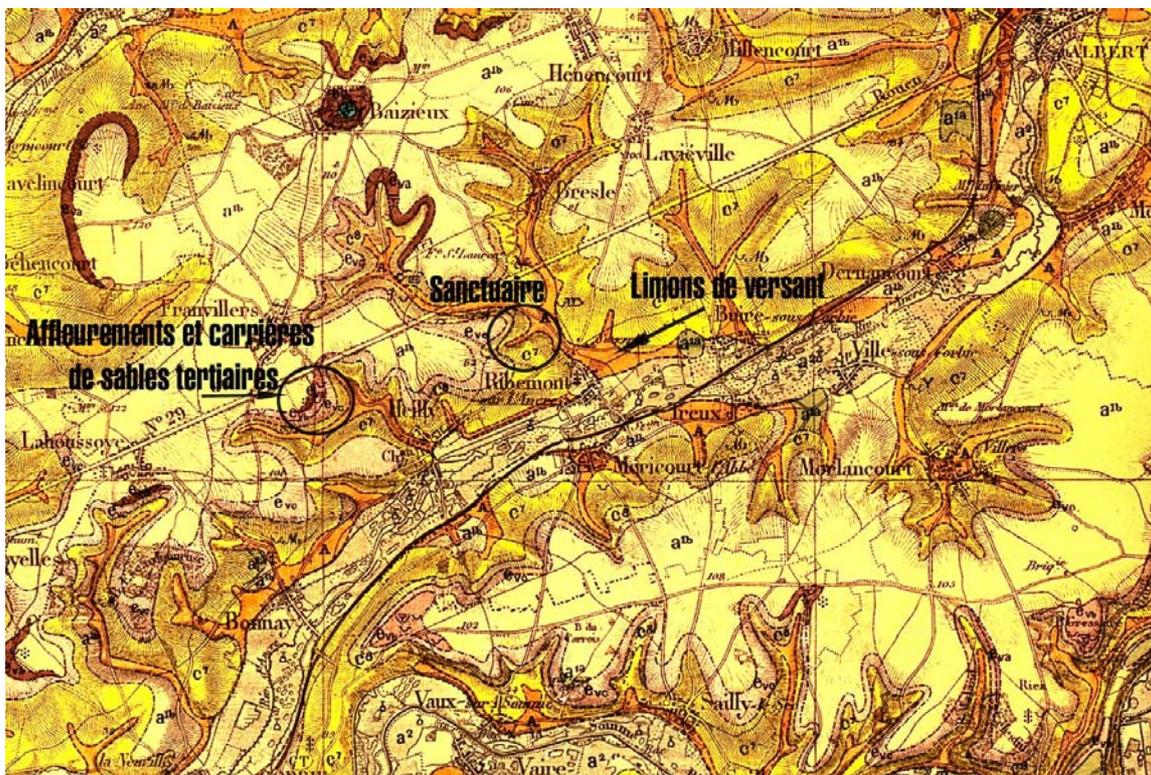


Fig.Q13. Extrait de la carte géologique au 1/80 000 (Gosselet et Cayeux 1894). Le sanctuaire se développe en partie sur la formation des limons de versant (« A » sur la carte). Les plus proches affleurements de sables tertiaires, exploités au XIX^e siècle, sont indiqués à 1 km à l'ouest du site.

4. Conclusion : quelques remarques sur la préparation et l'emploi du mortier à Ribemont-sur-Ancre

Que ce soit dans le domaine de la construction ou de la décoration, on retrouve fréquemment des matériaux assez frustes masqués par d'autres de qualité supérieure. La perception de ces différences nous est possible grâce à la relative pauvreté de l'environnement géologique en formations purement sableuses, ce qui obligea les constructeurs et décorateurs à chercher des solutions pour assurer et améliorer la pérennité et l'aspect de leurs ouvrages.

Pour la construction, le meilleur exemple reste le rejointoiement des murs du portique sud-est (Po1) de la première aire sacrée. Outre les avantages évidents pour le maintien de la maçonnerie, l'aspect esthétique était peut-être recherché, puisque le matériau se rapproche de ceux employés pour les stucs (aspect esthétique largement suffisant puisqu'il s'agit d'un mur de stylobate, donc à fonction de fondation). Pour le cas particulier de la toiture on observe un changement de mortier sableux, plus résistant, associé à un mortier de tuileau. Il s'agissait ici d'améliorer la résistance d'une structure dont la moindre perturbation pouvait se révéler désastreuse. Or, il est clair que les mortiers de maçonnerie utilisés dans le sanctuaire, avec leur teneur importante en argile²⁴ (fig.Q14), sont dangereux d'emploi dans une partie de l'édifice susceptible d'être exposée à de fortes humidités.

Pour la peinture murale, nous l'avons signalé, la finition est particulièrement travaillée. L'essentiel des supports se conclut par une couche d'épiderme mêlant chaux et cristaux de calcite (on suppose issus de veines de calcite). L'échantillon RSAEP 14 par exemple montre un poli parfait (n'ayons pas peur du mot), proche de celui obtenu lors du polissage d'un bloc de marbre. Sa couche de finition est épaisse, près de 5 mm, avec une zone de 400 µm sur l'extérieur moins riche en calcite. Elle est recouverte de la couche picturale, épaisse elle aussi (200-300 µm), contenant quelques cristaux. Quelques autres échantillons montrent des épaisseurs et des compositions comparables, mais tous n'ont pas le même poli, ce qui pourrait marquer la « patte » du stucateur. Les assemblages présentant les mêmes types de stratigraphie mais avec du silex (C) ont des polis relativement proches. Seuls les échantillons sans couche d'épiderme de bonne qualité ont une couche picturale abîmée ou d'aspect rustre. Il semble finalement évident que les équipes qui sont intervenus sur le sanctuaire maîtrisaient au mieux les techniques de préparation des peintures murales, mais qu'elles durent composer

²⁴ Mise en évidence notamment d'un minéral argileux, la kaolinite, par diffractométrie des rayons X (DRX) pour l'échantillon RSA 67. Un autre phyllosilicate est détecté : la muscovite est supposée après son observation en microscopie.

avec les matériaux locaux, à savoir des formations sableuses souvent « polluées » par des limons et argiles, au sable siliceux rare, constitué surtout de fragments de silex, et au sable calcaire abondant mais grossier. De fait, les couches épaisses de préparation, demandant un grand volume de matières premières, sont composées de mortiers grossiers, argileux, sans traitement apparent du granulat ; alors que les fines couches d'épiderme ont bénéficié d'un choix particulier du dégraissant, local mais traité. Les traitements qui pourraient être envisageables, d'après nos observations, sont le lavage du sable pour éliminer les « fines » (argiles et limons), le criblage pour écarter les grains les plus grossiers, le tri pour privilégier les fragments de silex ou, éventuellement, le broyage. Toutefois, aucun de ces traitements ne peut être formellement reconnu, car l'ensemble des granulats peut se comprendre comme le témoignage d'une diversité des formations superficielles exploitées.

La présence conjuguée de matériaux de qualités différentes ne peut donc être entièrement comprise comme le basculement des fonds sur la mise en valeur des parties visibles de l'édifice, elle découle aussi d'une maîtrise technique qui autorise une répartition logique des efforts et des coûts. Le sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre n'en reste pas moins un excellent exemple pour l'observation des limites de l'évergétisme, de l'inextensibilité des financements qui créent des problèmes inhérents à la majorité des chantiers (délais, coûts, approvisionnements, etc.) et que l'on ne peut ignorer lors d'une étude des mortiers.

Références

BRUNAUX J.-L. *et al.* (1999) – Ribemont-sur-Ancre (Somme), Bilan préliminaire et nouvelles hypothèses. *Gallia*, **56**, 177-283.

DUPUIS C. *et al.* (1972) – Carte géologique de la France au 1/50 000 – Feuille Amiens, n° 46.

GOSSELET J. et CAYEUX L. (1894) – Carte géologique au 1/80 000 – Feuille d'Amiens (n°12), 2^{ème} édition. Réimpression en 1941.

MENNESSIER *et al.* (1976) – Carte géologique de la France au 1/50 000 – Feuille Albert, n° 47.

Diffractogramme, échantillon RSA 67

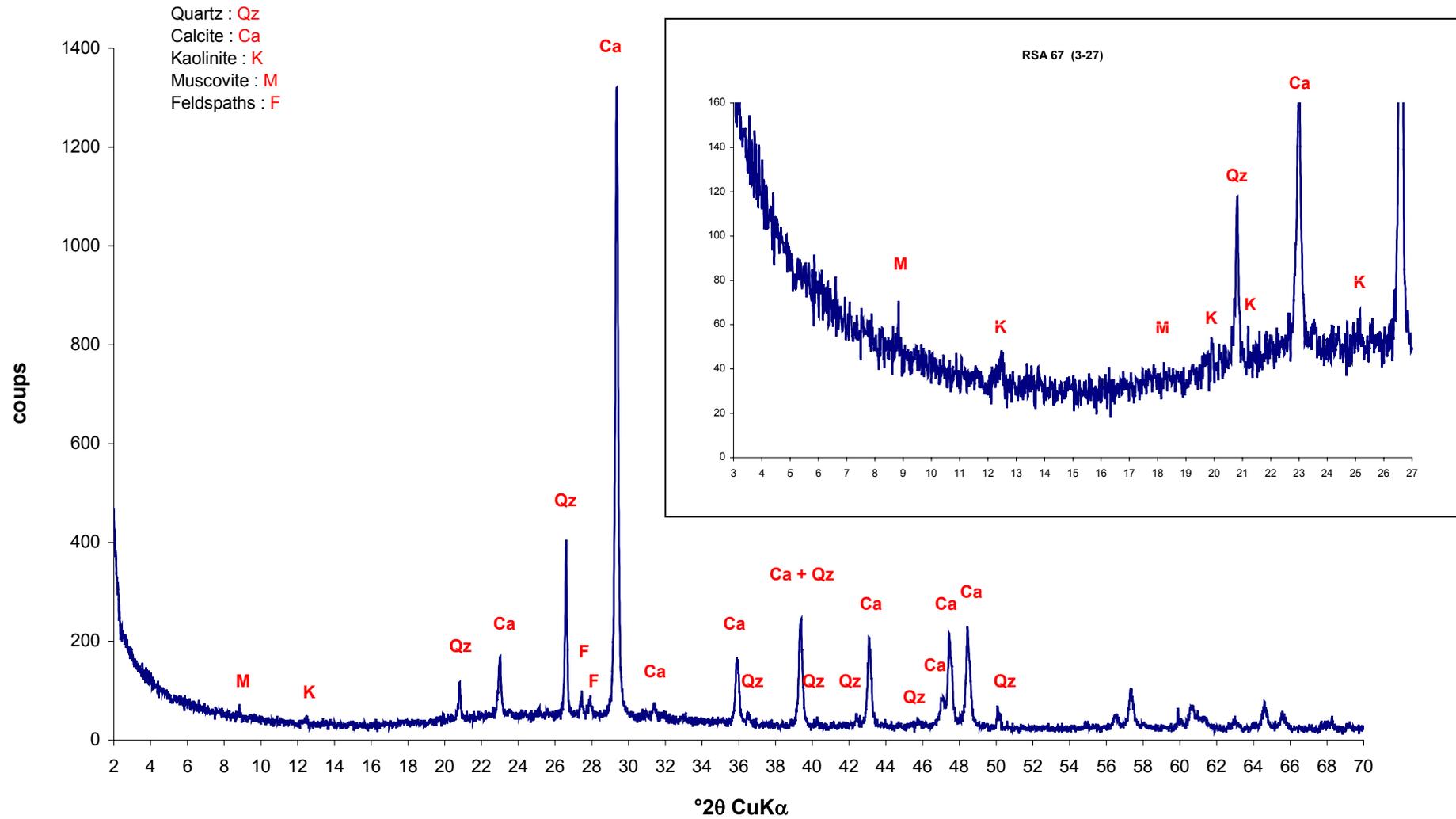


Fig.Q14. Diagramme de DRX de l'échantillon RSA 67 (type MS9).

Annexes: descriptions, en MOT, des types de mortiers de maçonnerie

➤ Type MS9

- Couleur de la matrice : 10YR8/2 (very pale orange), soit un beige crème.
- Porosité macroscopique : assez développée, avec des vides et des fissures (plus ou moins fines) polyconcaves, parfois à remplissage ou recouvrement des parois de calcite micritique.
- Orientation du granulat : grains allongés orientés.

Trois familles principales de granulat : quartz, silex et surtout gravillons de craie.

- 40 % environ de granulat crayeux. Sables et gravillons généralement bien arrondis. De plus de 1 cm de diamètre à une centaine de μm apparemment. Nombreux pluri-millimétriques (2 à 3 mm surtout) ou compris entre 200 μm et 1 mm.
- 20 % de silex. Eléments très grossiers, nombreux pluri-millimétriques. Généralement anguleux. Silex de la craie. Quelques-uns montrent des signes d'altération pédologique. Parfois sont conservés des vestiges de revêtements argileux.
- 10 % de quartz. Eléments très fins, plusieurs entre 750 μm et la centaine de μm , sinon très nombreux de la dimension des limons. Anguleux. Monocristallins, parfois à extinction onduleuse.

Remarques :

On observe, pour des éléments de silex très grossiers, la concentration de limon quartzeux sur un des côtés du grain, ce qui pourrait marquer la polarité de l'échantillon, le damage étant sans doute à l'origine du phénomène.

Plusieurs éléments de roche tectonisée sont visibles.

Quelques paillettes de micas peuvent être observées.

On note aussi quelques fragments de coquilles fossiles et des cristaux de calcite.

On remarque parfois des éléments arrondis de tuileau, roux, à dégraissant fin, de 1 mm de diamètre environ.

Rares éléments d'oxyde et nodules oxydés de sol argilo-sableux. En revanche, fréquentes plages de sol pédologique, riche en limons, à revêtements, papules et remplissages argileux, orange plus ou moins clair.

➤ Type MS10

- Couleur de la matrice : 10YR8/2 (very pale orange), soit un beige, plus clair et moins crème que le type précédent.
- Porosité macroscopique : apparemment importante, marquée par une forte proportion de vides polyconcaves de plusieurs centaines de μm de diamètre. Quelques vides tapissés de calcite micritique.
- Orientation du granulat : grossière, pour les éléments les plus allongés.
- 40 % de granulat crayeux. Sable et gravillons aux angles parfaitement émoussés, mais rarement de forme complètement ovale. Une seule nature. Quelques éléments très gros, jusqu'à 9 mm de diamètre maximum. Quelques-uns de plusieurs mm de large, mais surtout nombreux entre 200 μm et 1 mm.

- 10 % de silex et roches métamorphiques. Fragments anguleux, voire en esquilles. Quelques éléments très gros, dépassant les 5 mm de long, mais essentiellement compris entre 1 et 2 mm de diamètre.
- 10 % au plus de quartz. Quelques-uns atteignant les 500 µm, rarement le mm, aux formes plutôt arrondies. Mais essentiellement de la taille des limons, et anguleux. Monocristallins.

Remarques :

Fréquents cristaux de calcite dispersés dans la matrice, généralement anguleux.

Quelques éléments de sol limoneux. Parfois pluri-millimétriques. Présence de papules argileuses jaunes dedans, ainsi que les mêmes éléments quartzeux limoneux que dans la matrice du mortier.

Plusieurs coquilles fossiles observées dispersées dans le liant.

➤ Type MS11

- Coloration de la matrice : 10YR8/2 (very pale orange), soit un beige crème.
- Porosité macroscopique : importante, fissurale.
- Orientation du granulat et tri : familles de granulats mal triées. Les grains les plus gros et/ou allongés sont parallèles entre eux.
- 30-35 % de gravillons calcaires. Jamais parfaitement arrondis. Toujours même nature micritique (crayeuse), peu fossilifère. Quelques-uns pluri-millimétriques, mais de dimensions inférieures à 5 mm. Nombreux autour de 250-750 µm.
- 25 % environ de sable et de limon quartzeux, avec aussi quelques fragments de roches métamorphiques (répartition granulométrique bimodale). Anguleux pour la plupart. Le sable est un sable fin, quelques centaines de µm seulement.
- Quelques éléments de silex, de dimensions réduites (quelques mm au maximum) généralement, ou au contraire pluri-centimétriques. Anguleux.

Remarques : rares tuileaux, plusieurs cristaux de calcite (fragments de coquilles ?).

➤ Type MS12

- Coloration de la matrice : 10YR8/2 (very pale orange), soit un beige crème foncé. Il est à noter que la matrice montre une teinte roux grisâtre en Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA).
- Porosité macroscopique : faible, quelques vacuoles.

15 % environ de sable (et gravillons) calcaire, de nature variant peu : micritique, peu fossilifère. Formes peu régulières, aux angles parfois non émoussés. De la centaine de µm à plusieurs mm (jusqu'à 5 mm environ). Nombreux entre 100 et 300 µm.

30 % de quartz de la dimension des limons, quelques dans la gamme granulométrique des sables fins.

Remarques : de rares grumeaux (à biréfringence bleutée prononcée), 5 x 5 mm.

II.4. Corpus, conclusions

II.4.1. Chronologies relatives, phases de construction et de décoration

L'ensemble des études répondait à un développement des données, à l'acquisition d'un corpus de résultats nous permettant de réfléchir à une échelle plus vaste de temps et d'espace sur les pratiques de maçonnerie et de décoration à la chaux. Mais, pour que les résultats soient transposés à cette réflexion « inter-site », il fallait que les données soient discutées et validées dans leur cadre archéologique et chronologique. Les objets ont donc été replacés dans l'histoire de chaque édifice.

Si toute réflexion sur la correspondance entre type de mortier et phase de construction s'est révélée fructueuse pour l'élaboration de notre corpus, il a aussi été systématiquement répondu à l'attente d'un éclairage particulier de l'enchaînement des étapes d'édification et de décoration des sites au travers de l'analyse des mortiers. Ces résultats ne revêtent pas tous la même forme ; ils dépendent directement de l'histoire du site, de son état de conservation et de l'état de la fouille.

Plusieurs cas se sont présentés à nous pour le domaine de la construction :

- (1) Les types de mortier concordaient avec les phases de construction définies, avec un type de mortier lié à une phase de construction ; cela ne se perçoit jamais pour l'intégralité de l'occupation du site, mais plutôt pour des ensembles de phases de construction ou de transformation (c'est-à-dire des portions du diagramme typo-chronologique).
- (2) Les mortiers correspondaient grossièrement aux phases de construction, avec des chevauchements entre les deux, soit qu'un même type de mortier débordait sur plusieurs phases, soit que plusieurs types se retrouvaient pour une même phase.
- (3) Les types de mortier et les phases de construction ne présentaient que peu de correspondances.

Le dernier de ces trois points correspond aux thermes de l'Esplanade (Arles) et à Molesme. Il ne s'agit pas d'un manque de cohérence entre les matériaux employés et les étapes de la construction, ou d'une erreur soit dans l'établissement de la typologie soit dans la définition des états de construction, mais plutôt de la résultante d'un fait qui s'observe dans une moindre mesure pour d'autres édifices : la pérennité d'une même recette pour l'ensemble

des phases de construction/adjonction/transformation. Cela s'est révélé sur ces deux sites où les différentes étapes interviennent dans un laps de temps réduit, ne laissant pas aux artisans toute latitude pour se démarquer techniquement ou « économiquement » des matériaux et matières premières choisis à l'origine. Le découpage de l'édifice n'est donc pas confirmé par l'étude des mortiers, mais celle-ci vient en revanche confirmer la rapidité de l'évolution du bâtiment, ou peut permettre de regrouper dans un même état de construction des structures qui, techniquement, ne sont pas « contemporaines » mais résultent plutôt d'un enchaînement.

De même, dans le cadre des deux premiers points évoqués plus haut, les changements de type en concordance avec les changements de phase de construction ne sont pas systématiquement le témoignage d'une mutation technique, mais aussi celui de phénomènes d'évolution du matériau en parallèle avec la poursuite de l'exploitation d'une formation sableuse hétérogène (tels les exemples du Vieil-Evreux et d'Allonnes). La pérennité de la recette n'empêche pas, dans ce cas, de suivre l'enchaînement des phases de construction, *a priori* là aussi rapide, cela grâce à une caractéristique relativement fréquente pour tout chantier de construction, qu'il soit antique ou moderne : la temporisation.

Les thermes du Vieil-Evreux, pour exemple, ont été érigés avec différents mortiers correspondant à une même recette d'origine. La variation du matériau est due à une exploitation massive et prolongée de la formation source du granulat. Bien que l'on ait une variation d'apparence continue, de nombreuses étapes ont pu être définies. La première famille de mortier, nommée BR pour « beige rosé », disparaît une fois finies les fondations de la partie thermale centrale. De fait, l'une des interprétations possibles était la mise en œuvre d'un lot particulier de liants architecturaux pour la première étape de la construction, à savoir les fondations des murs de la partie thermale.

Cependant, deux éléments nous guident vers une toute autre conclusion : la filiation des mortiers tout d'abord, ce qui est déjà un critère fort, et la présence en stratigraphie, dans les fondations, des deux types de mortier de la famille BR, ce qui signifie qu'il y a déjà une dualité du liant au sein même de la fondation. Ces deux points sont évidemment liés, et mettent en lumière la prédominance de l'évolution continue et « naturelle » de la composition du mortier dans l'explication des changements de liants architecturaux. Mais pourquoi cette apparence d'abandon de la famille BR à la fin de l'édification des fondations ? Cette apparence est liée à l'absence de mortier jouant les transitions entre le dernier type de BR (BR 2) et le premier type (RO 3) de la famille suivante, nommée RO pour « rose orangé ». Elle peut être liée à un changement plus « brutal » de faciès entre deux niveaux du profil, ou

s'expliquer par un arrêt dans la construction des thermes et une poursuite de l'exploitation de la source de granulat pour un ou d'autres chantiers dans le sanctuaire du Vieil-Evreux. L'arrêt de la construction fut sans doute très court dans le temps, et voit sa probable origine dans une temporisation saisonnière, ou un financement segmenté, étant prévu que les fondations seraient une première étape de la construction et non le début d'une phase de travaux continue jusqu'à l'édification complète du bâtiment.

Plus généralement, dans le cas où les phases de construction déduites de la fouille et de l'étude des maçonneries sont relativement espacées dans le temps, un changement de type de mortier de mur est toujours observé. Ce changement se traduit rarement par l'apparition d'une recette profondément différente et/ou des matières premières nouvelles ; tel l'exemple de Ribemont-sur-Ancre, les mortiers apparaissent très proches d'un siècle à l'autre, mais l'étude montre de possibles individualisations des familles de matériaux. Seuls les thermes du Vieil-Evreux et ceux de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille possèdent plusieurs familles de mortiers de construction : des mortiers sableux (MS) et des mortiers à tuileau (MT et MTS) pour le Vieil-Evreux, et des mortiers gravillonneux (MSG), des mortiers sableux et des mortiers à tuileau pour Escolives. Le domaine des mortiers à tuileau pose un problème quant à leur possible fonction (cf. *infra*). Pour le domaine du sable naturel, il apparaît que dans notre corpus seule la *villa* d'Escolives nous a réellement montré des bouleversements de recette par modification de la nature du granulat (sable quartzeux ou graves calcaires).

Quant au cas de la présence de plusieurs types de mortiers de maçonnerie au sein d'une même phase de construction, peut-être faut-il l'interpréter, suivant les cas, comme la possibilité d'effectuer un sur-découpage d'un état supposé homogène, ou comme la présence contemporaine de deux (ou plusieurs) recettes et/ou sources de matières premières. Cette dernière hypothèse, si on peut l'évoquer, est difficile à prouver et à comprendre : spécialisation d'une recette pour un type de structure du bâtiment ou pour une zone précise du site, présence de plusieurs équipes de *structores*, différentes sources de matières premières, etc. ?

La préparation de diagrammes stratigraphiques appliqués aux mortiers de construction, à l'occasion de l'établissement de la typochronologie, se transpose difficilement à l'étude des enduits peints, pour une raison très simple : il faut être en présence de plusieurs décors bien datés ou, à la rigueur, de supports présentant un enchaînement de plusieurs phases de décoration. La comparaison des supports permet alors, parfois, de lier entre eux plusieurs

décors, grâce à la récurrence d'un ou plusieurs mortiers (couches), ce qui autorise la construction d'un diagramme stratigraphique, un schéma des relations chronologiques relatives des assemblages (cf. Roz Avel). Mais nos résultats montrent avant tout la grande diversité des assemblages stratigraphiques, ce dont témoigne la fig.II.3, reprenant l'ensemble des supports, excepté ceux de Roz Avel.

II.4.2. L'identification des matières premières dans l'environnement géologique

La recherche de l'origine des matières premières voit son intérêt dans l'acquisition des données amenant à la définition de la typologie des mortiers du site et dans la compréhension de la connaissance des Anciens de leur environnement proche et de la qualité de ses ressources. Il s'agit donc d'identifier à la fois la nature des matières premières et leur provenance.

Nous n'avons pas axé notre travail sur une analyse systématique de la chaux en vue de reconnaître la pierre à chaux. Ce travail pose d'énormes problèmes méthodologiques, puisque les méthodes chimiques, telle que l'étude des éléments traces, nécessiteraient des comparaisons avec la formation calcaire *a priori* banc par banc. Nous avons simplement tenté de profiter de la multiplication des lames minces pour repérer les fragments de calcaire mal cuits ; cela nous a permis de mettre en évidence l'exploitation du calcaire lutétien pour fournir la chaux des mortiers des thermes du Vieil-Evreux.

La nature et l'origine du granulats sont à la fois plus riches en informations et plus accessibles à l'analyste. L'observation des lames minces offre l'avantage de permettre l'identification des minéraux ou fragments de roches constituant le sable, mais aussi de repérer les indices rappelant leur source (voir tabl.II.4 pour les mortiers de maçonnerie). La comparaison des données concernant le granulats aux informations fournies par les prélèvements dans l'environnement et par les cartes géologiques renvoie en règle générale vers une et une seule source probable de sable. Il s'agit toutefois uniquement de l'identification de la formation source, et non du lieu précis de prélèvement. Ce lieu d'extraction ne sera parfaitement pointé que lorsque la connaissance des carrières anciennes le permettra.

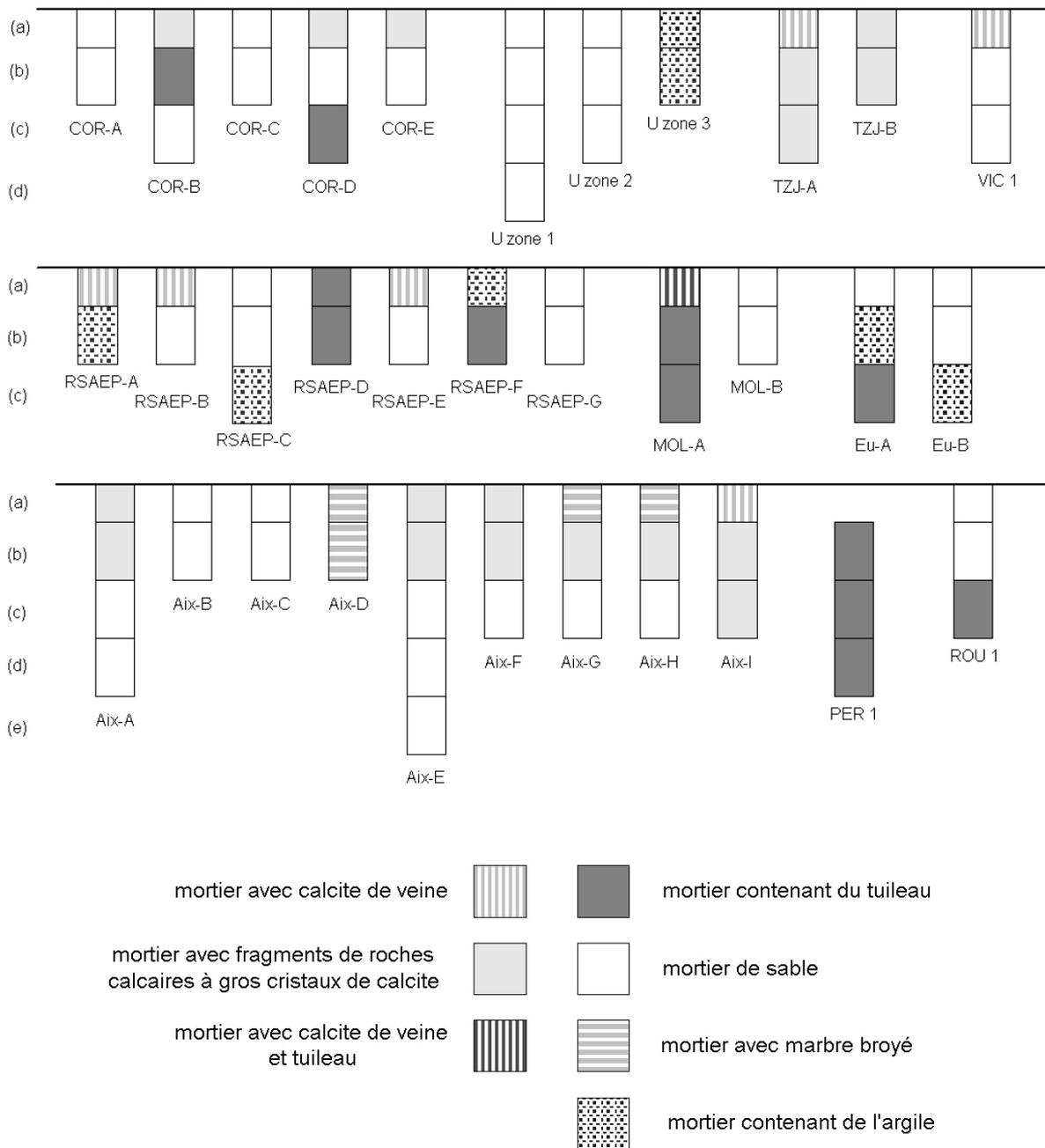


Fig.II.3. Représentations schématiques des assemblages stratigraphiques, hormis ceux définis pour le site de Roz Avel (voir figure A3a). Aucune distinction n'a été effectuée pour cette figure entre les mortiers au sable siliceux et ceux au sable calcaire ; la présence de tuileau, même en faible quantité, est signalée ; la présence d'argile, associée au sable, est indiquée lorsque la teneur est importante.

Site	Edifice et Datation	Type	Composition	Proximité de la source de granulat
Le Vieil-Evreux (Eure)	Thermes construits dans la 2 ^e moitié du II ^e s. ap. J.-C.	TVE-BR1 à JB1	MS – 1:2 Quartz	Au plus près du site (formation superficielle présente sur le plateau)
Arles	Cryptoportiques, théâtre Epoque augustéenne	QDE-MS2	MS – 1:2 Quartz	Alluvions anciennes, à quelques centaines de mètres
	Amphithéâtre Fin I ^{er} s. ap. J.-C.	AMA-MS1	MS – 1:2 Quartz	Alluvions anciennes, à quelques centaines de mètres
	Thermes de l'Esplanade Fin I ^{er} s. ap. J.-C. au début II ^e s. ap. J.-C.	QDE-MS1	MS – 1:2 Quartz	Alluvions anciennes, à quelques centaines de mètres
	Cirque, milieu II ^e s. ap. J.-C.	QDE-MS4	MS – 1:2, quartz	Alluvions anciennes, à quelques centaines de mètres
Thermes de la villa d'Escolives-Sainte-Camille (Yonne)	Etat I, I ^{er} s. ap. J.-C.	ESC-MSG4	MSG – 1:1:2 Gravelles (1) et quartz (2)	Au plus près, voire sur le site (graves sous-jacentes)
	Etat II, fin I ^{er} s. ap. J.-C.	ESC-MS2	MS – 2:3 Quartz	Au plus près (quelques centaines de mètres). Choix hors du site délibéré.
	Etat III-IV, II ^e -III ^e s. ap. J.-C.	ESC-MS1	MS – 1:2 Gravelles et quartz	Au plus près, voire sur le site (graves sous-jacentes)
	Etat V, fin III ^e , début IV ^e s. ap. J.-C.	ESC-MSG1	MSG – 2:1:3 Gravelles (1) et quartz (3)	Au plus près, voire sur le site (graves sous-jacentes)
Sanctuaire d'Allonnes (Sarthe)	<i>Fanum</i> , époque augustéenne	ALL-MS5	MS – 1:4, quartz et limon	Formation sableuse à moins de 1 km
	Temple à podium et quadriportique, 1 ^{ère} moitié II ^e s. ap. J.-C.	ALL-MS1 et 2	MS – 1:2 à 1:3 Quartz	Formation sableuse à moins de 1 km
Molesme « Sur-les-Creux » (Côte d'Or)	Bâtiment Maçonné Sud-Est (BMSE), début I ^{er} s. ap. J.-C.	MOL-MS1	MS – 1:2 Gravelles, limons et argile	Au plus près, voire sur le site (formation superficielle)
Rungis (Val-de-Marne)	Rigole de Rungis, II ^e s. ap. J.-C. ?	« ZDL »	BG – 1:3 à 1:4	???
Faverolles (Haute-Marne)	Mausolée, 20 à 30 ap. J.-C.	« FAV 1 »	MS – 1:2 Gravelles, limons et argile	Au plus près, voire sur le site (formation superficielle)
Sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (Somme)	Premier sanctuaire, temple et portique Milieu I ^{er} s. ap. J.-C.	RSA-MS11	MS – 1:3 Craie, quartz, limon	Au plus près du site (formation superficielle)
	Premier sanctuaire, quadriportique Fin I ^{er} s. ap. J.-C.	RSA-MS10	MS – 1:2 Craie, silex, limon et argile	Au plus près du site (formation superficielle)
	Deuxième sanctuaire, 2 ^e moitié I ^{er} s. ap. J.-C.	RSA-MS9	MS – 1:3 à 1:4, craie, quartz, silex, limon et argile	Au plus près du site (formation superficielle)

Tabl.II.4. Les principaux types de mortier de construction, leur composition et la proximité de la source du granulat.

TROISIEME PARTIE :

LES MORTIERS DE CHAUX GALLO-ROMAINS

III. Les mortiers de chaux gallo-romains

III.1. Compositions et destinations : la spécialisation des matériaux en rapport avec leur fonction architecturale

Les différentes études du corpus présenté étaient dirigées en priorité vers la détermination de la composition des mortiers et vers l'établissement d'un cadre typochronologique et fonctionnel de ces matériaux. Il est maintenant nécessaire de développer entre les sites des éléments de synthèse. Celle-ci pourrait s'articuler de différentes manières, suivant un axe chronologique, suivant la fonction et le statut de l'édifice, suivant les environnements géologiques, etc. Ces points sont d'importance et seront évidemment envisagés ; mais nous axerons notre bilan en premier lieu selon un découpage fonctionnel. En effet, le premier résultat qui ressort de l'ensemble de nos travaux est la pluralité d'utilisations du mortier à l'intérieur d'un même site et pour un même état de construction. Chaque « possibilité architecturale » de spécialisation du matériau va être discutée, suivant un découpage en fonctions architecturales primaires et secondaires. Le découpage est présenté dans le tableau III.1.

Nous avons souhaité compléter le corpus avec l'essentiel des travaux « pétroarchéologiques » publiés. Le choix s'est voulu drastique, pour ne sélectionner que les publications permettant d'avoir une vue précise des mortiers du ou des site(s), aussi complète que possible, à la fois dans la datation et pour les questions de fonctionnalité des matériaux. Il s'est avéré que très peu de références se prêtaient à ce travail comparatif, pour diverses raisons : sur-représentation de l'aspect méthodologique et analytique aux dépens du nombre d'échantillons et des informations archéologiques (c'est le cas des travaux préalables aux restaurations) ; données archéologiques complètes mais descriptions des matériaux limitées ; étude des matériaux complète (avec de nombreux échantillons) mais cadre archéologique mis en second plan. Au final, quelques références ont été sélectionnées, auxquelles nous feront appel au moment opportun. Les deux principales seront Balmelle *et al.* 1999, avec l'étude des mortiers par J.-C. Paicheler, et Frizot 1975 dont le travail s'avère toujours constituer à l'heure actuelle une référence, avec une série d'études intégrant systématiquement la fonction du matériau (mais oubliant parfois de s'étendre sur le cadre archéologique ; tabl.III.2).

« Fonctions primaires »	« Fonctions secondaires » associées
Murs	Fondations / Elévations Blocages / Parements
Composants architecturaux des élévations	Vitrages Arcs et voûtes Toitures
Caves	
Emmarchements	Escaliers monumentaux Emmarchements Seuils
Sols	Sols de circulation de salles sèches Sols de circulation de salles humides Bourellets d'étanchéité Supports de mosaïque
Foyers	Sole Voûte
Hypocaustes	Sols inférieurs <i>Suspensurae</i> Joints de pilettes Enduits d'hypocauste
Bains	Toutes les composantes : parois, sols, enduits, marches, banquettes, etc.
Canalisations	Canalisations et égouts Conduits d'aqueduc
Enduits de protection	
Enduits peints	Intérieur / Extérieur Parois verticales / Plafonds Zones hautes / Zones basses...

Tabl.III.1. Principales fonctions architecturales primaires et secondaires des mortiers et bétons de chaux gallo-romains.

Les études de notre corpus étaient tournées vers l'établissement du cadre typochronologique, afin d'asseoir les interprétations dans un cadre temporel sûr ; certaines impasses ont été faites concernant la discussion, site par site, de certaines fonctions architecturales ; certains résultats sur les sols, enduits de protection et autres fonctions « annexes » ont pu ne pas être signalés. Dans ce chapitre nous reprendrons toutes les informations, même celles non discutées précédemment, ce qui peut expliquer des développements plus importants pour certains paragraphes.

Nom du site	Département	Structure	Datation présumée	Familles de matériaux	Frizot 1975, page
Champallement	Nièvre (58)	Forum		MM	143
		Atelier de tailleur d'os		MM et EP	143
		Habitat		MM	151
		<i>Fanum</i>		MM et sols	153
Arleuf	Nièvre (58)	Théâtre	Fin II ^e s. ap. J.-C.	MM	157
Cosne-sur-Loire	Nièvre (58)	Cave	II ^e s. ap. J.-C.	MM et EP	165
Escolives-Sainte-Camille	Yonne (89)	Thermes d'une <i>villa</i>	I ^{er} -V ^e s. ap. J.-C.	MM, EN, EP, sols, ainsi que PH, SU et BE	167
Alésia	Côte-d'Or (21)	Quartier d'habitation et d'artisanat		MM et EP	179
Malain	Côte-d'Or (21)	Centre public et culturel		MM, EP et JT	185
Pouilly-sur-Loire	Nièvre (58)	<i>Villa</i>	Epoque flavienne (I ^{er} s. ap) et II ^e au IV ^e	MM, EP, sol (et mosaïque), foyer	199
Villeneuve-Loubet	Alpes-Maritimes (06)	Monument de « Vaugrenier »		MM et chaux	207
Autun	Saône-et-Loire (71)	Divers édifices, dont : - théâtre - enceinte - « pierre de Couhard » - temple de Janus	I ^{er} s. ap. J.-C. Augustéenne Sous Vespasien I ^{er} s. ap. J.-C. (av. Hadrien)	MM, EP, sols, PH, mosaïque, SU	213
Crain	Yonne (89)	<i>Fanum</i>		MM, EP, sols et JT	225
Entrains-sur-Nohain	Nièvre (58)	Quartier d'habitation et d'artisanat		MM et EP	233

Légendes : Mortiers de maçonnerie (MM), Enduits (EN), Enduits peints (EP), Joints de tuiles ou mortier de toiture (JT), Pilettes d'hypocauste (PH), *Suspensura* (SU) et Bourrelet d'étanchéité (BE).

Tabl.III.2. Sites étudiés par M. Frizot (1975).

Les édifices thermaux, publics et privés, offrent la gamme la plus importante de fonctions architecturales et la plus riche diversité de matériaux, chaque pièce ou structure, par son contact avec des environnements chauds ou froids et humides ou secs, pouvant bénéficier d'un traitement différent de sa voisine. La discussion des procédés de maçonnerie fera donc souvent référence aux trois sites thermaux plus particulièrement étudiés : les thermes de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille (Yonne), les thermes de l'Esplanade (Arles, Bouches-du-Rhône) et les thermes du Vieil-Evreux (Eure). Toutefois, afin de cerner la particularité de ces bâtiments, et d'intégrer toutes les spécificités architecturales mises en évidence, ce sont tous les types de monument étudiés qui seront envisagés.

III.1.1. Le « gros-œuvre »

a) Les murs

1) Les fondations et les élévations

Il s'agit ici de discuter des maçonneries dont les fondations ont été construites avec un liant de mortier. Bon nombre de murs possèdent un niveau de préparation constitué soit de cailloux plus ou moins disposés de chant (type radier), soit d'une couche de roches tendres damée (craie pour Ribemont-sur-Ancre ou de fragments de calcaires à Molesme). Vient ensuite la construction proprement dite du mur avec, dans la majorité des cas qui nous ont été soumis, un premier ensemble d'assises correspondant à la fondation, maçonné sur une plus grande largeur que la portion sus-jacente du mur, c'est-à-dire l'élévation. La transition entre les deux parties du mur se marque alors par une semelle débordante. Lorsqu'il était évident que celle-ci n'avait jamais existé, une distinction arbitraire a été effectuée entre la portion sous le niveau du sol d'origine et celle au-dessus, bien qu'il ne soit pas rare de constater une différence de niveau entre le sol d'origine et la semelle débordante, des rattrapages de planéité étant souvent opérés suite à des problèmes de variations topographiques du substrat, pas forcément bien amorties lors de l'implantation des murs.

La question d'une différenciation entre un mortier de fondation et un mortier d'élévation prend toute son importance lorsque l'on considère que l'essentiel des maçonneries conservées jusqu'à nos jours ne laisse apparaître que leurs fondations, leurs parties supérieures ayant été récupérées et/ou arasées. De fait, la mise en évidence de matériaux

différents suivant la hauteur amènerait à envisager avec une extrême vigilance toutes les tentatives de comparaisons entre des volumes de maçonnerie. Si les qualités de conservation sont inégales, l'analyste sera amené à confronter des matériaux aux destinations différentes (fondations et élévations), et donc pas nécessairement comparables ; si les qualités de conservation sont identiques, la typochronologie des mortiers ne correspondra pas à la typochronologie générale du site mais à celle plus particulière des mortiers de fondation, biaisant ainsi la vision des procédés de maçonnerie.

Les problèmes posés, qu'en est-il de la réalité archéologique ? En fait, s'il n'est pas rare de voir des variations de mortiers suivant la hauteur du mur, à l'heure actuelle aucun des sites que nous avons étudié ne montre une variation de mortier susceptible d'être rattachée à une pratique de spécialisation de matériau pour la mise en œuvre des fondations ; il s'agirait à chaque fois de changements de phase de construction, avec reprise des murs précédents, ou le résultat d'une temporisation dans le déroulement du chantier (cf. II.4.1).

2) Le blocage et les joints de parements

C'est le diptyque le plus célèbre de la maçonnerie antique, il renvoie directement à la technique de construction romaine la plus courante pour les murs en petit appareil : la maçonnerie tripartite. Dès la fin du III^e s. av. J.-C. de nombreux édifices publics romains sont construits ainsi. Pierre Gros nous résume ce qu'est cette maçonnerie concrète (Callebat 1999, p.86) : « La *structura caementicia* est en effet une maçonnerie damée en coffrage (tranchée de terre en fondation, pieux et planches de bois en élévation) dont les parements sont faits de moellons ou de briques cuites. Le massif de remplissage, qui constitue le cœur du mur, est fait de moellons (pierres non taillées, que les maçons appellent le « tout-venant », et qui sont les *caementa* du latin) mêlés à un mortier (*materies* ou *materia*) composé de sable et de chaux ». Le mur ainsi obtenu se compose donc de deux séries de parement et d'un blocage interne (fig.III.3).

Le blocage possède deux images contradictoires qui sont souvent mises en avant. La première est celle de la vitrine de la maîtrise technique de mise en œuvre du mortier, le fameux « mortier romain » capable de résister à tous les outrages du temps, plus que la pierre constituant les parements, ce qui nous laisse des vestiges étonnants de massifs internes dépourvus d'enveloppe, ou aux joints de mortier mis en relief, tels que ces murs de la *villa* d'Hadrien à Tivoli, où les moellons de tuf trop tendre ont été rongés (fig.III.4).

La deuxième image est, à l'opposé, celle d'un « tout-venant » aussi bien pour la charge que pour le liant du remplissage, donnant ainsi au blocage de piètres qualités de résistance mécanique et de durabilité. La chaux, trop faiblement employée, ne peut jouer son rôle pour la concrétion. La tenue du mur s'obtient dans cette configuration par une qualité de mise en œuvre accrue pour les deux parements et/ou pour les enduits, qui assurent de fait un coffrage permanent à la structure. J.-P. Adam a décrit et illustré ce type de maçonnerie abondamment employé à l'époque impériale à Pompéi (fig.III.5).

Ce deuxième aspect du mur tripartite est à l'origine de suspicions systématiques de choix de mise en œuvre de matériaux différents en blocage et en parement. Nous avons donc repris ces doutes à notre compte et vérifié méthodiquement¹ toutes les maçonneries, pendant ou après la phase d'échantillonnage.

Il ressort de l'ensemble des études de notre corpus et des résultats ou observations archéologiques compulsées que cette pratique est marginale pour la Gaule romaine. Le mortier de jointoiment des parements est quasi invariablement identique à celui du blocage. Les assises de moellons ont été érigées dans une même lancée que le blocage, sans décalages temporel et vertical.

Un seul cas de différenciation s'est présenté à nous : le mur 2 (et peut-être ceux qui lui sont associés chronologiquement ?) du sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre, dans la Somme. Il s'agit d'un mur de la première phase de construction du portique de la première aire sacrée, que l'on peut donc dater du milieu du I^{er} s. ap. J.-C. (Brunaux *et al.* 2000). Le mortier du blocage du mur est proche des mortiers mis en œuvre pour les murs érigés lors des autres phases de construction du site. Mais ce mur a fourni des éléments correspondant à des joints de parement, aisément reconnaissables par leur forme (voir fig.Q11), de composition totalement originale pour le site. Il s'agit d'un mortier blanc ne contenant aucun élément siliceux. L'aspect de la charge ferait penser à des nodules de chaux mal mélangés au reste du mortier, ou à des incuits. Il est étonnant de voir un matériau de cette qualité (bonne résistance mécanique), de composition apparemment uniquement de chaux. Le matériau obtenu étant d'aspect proche de celui des stucs, on peut se demander si la préparation n'a pas fait appel aux mêmes techniques que pour ces derniers, avec éventuellement ajout de composés organiques ?

¹ A chaque fois que cela était possible.

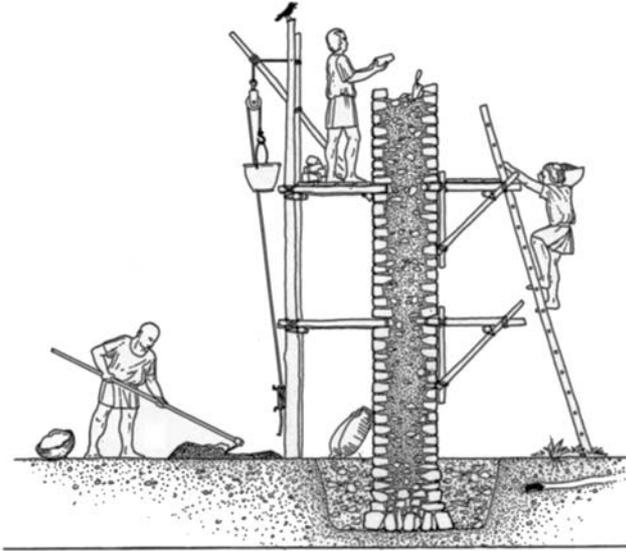


Fig.III.3. Mur tripartite avec les deux séries de parements et le blocage interne en *opus caementicium*. Illustration d'un chantier de construction (In Adam 1995, p.90).



Fig.III.4. Joints de parement mis en relief après érosion des moellons de tuf. Mortier de chaux et de tuf volcanique. *Villa d'Hadrien* (Tivoli).

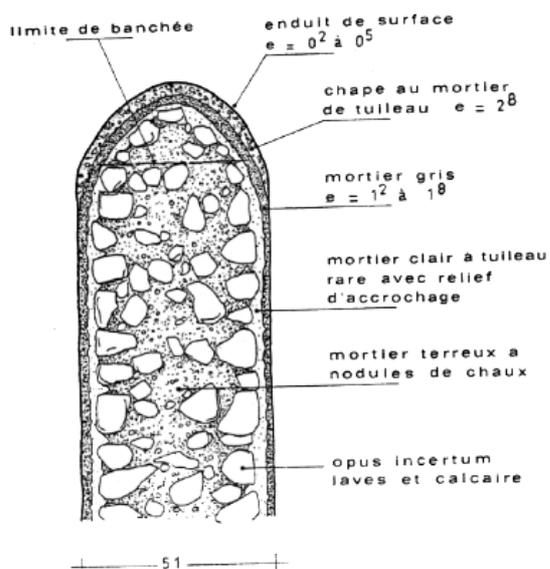


Fig.III.5. Maçonnerie pompéienne, via dei sepolcri, tombe 20 Sud (In Adam 1995, p.80).

Ces éléments de jointolement ne semblent pas avoir eu tout à fait le même rôle que les mortiers de parement des maçonneries tripartites de Pompéi. Ce ne sont pas les deux séries de parement qui font la cohésion de la maçonnerie avec ce mortier de qualité supérieur, mais bien celui du blocage, car ce matériau proche d'un stuc semble être venu combler les joints après édification du mur (ou d'une série de parement), comme pour s'assurer une meilleure cohésion des moellons et une plus longue durabilité des faces de la maçonnerie. Il est probable qu'il ne s'agissait que d'une consolidation ponctuelle, postérieure, à « joints regarnis » (voir Ginouvès et Martin 1985) ; on a ailleurs sur le site une pratique de « débordement » du mortier de blocage sur la zone de parement, voire sur les arêtes mêmes des moellons.

Michel Frizot a trouvé des éléments analogues à Malain (Côte d'Or), pour un centre public et culturel, des joints de maçonnerie portant des traces de passage au fer et composés de chaux presque pure (Frizot 1975, p.191). Mais ce site est aussi remarquable car il s'agit d'un exemple avéré de variation de qualité entre le cœur du mur et son parement. Le granulat est de même composition, mais les mortiers du blocage sont plus terreux et globalement plus grossiers que ceux des joints.

Le procédé architectural de blocage terreux à nodules de chaux avec « coffrage » de parements ou d'enduit nous est donc actuellement peu connu, et il semble bien qu'il ne faille pas s'attendre à le rencontrer régulièrement en Gaule. Mais si son absence paraît relativement assurée pour les grands édifices publics, il s'avère au contraire probable que la construction moins monumentale ou domestique l'ait employé, d'où une surveillance accrue souhaitée afin de pouvoir reconnaître ce procédé s'il se présente.

b) Les composants architecturaux des élévations

L'élévation des maçonneries s'accompagne de la mise en place de structures complémentaires, avec le percement des ouvertures (portes et fenêtres), la disposition du plafond et de la toiture. L'identification de ces provenances s'est effectuée, pour plusieurs échantillons récoltés en fouille, grâce à leurs formes souvent particulières. Associés à quelques prélèvements *in situ*, ils nous livrent la possibilité de discuter ces fonctions secondaires.

1) Les vitrages

Les échantillons de mortier associés aux vitrages (et huisseries correspondantes) sont particulièrement rares, car aucune forme n'est réellement liée à cette application, il est donc difficile de les identifier. Le seul échantillon de notre corpus qui s'y rattacherait est ARC 44, un élément provenant des thermes du Vieil-Evreux, liant entre elles deux dalles de terre cuite ayant peut-être servies de rebord de fenêtre. Il s'agit d'un mortier sableux de composition relativement proche des mortiers sableux des murs, mais au sable plus grossier et avec une certaine richesse en grumeaux. C'est apparemment le seul exemple sur le site de l'emploi de ce mortier.

Un système particulier de vitrage mérite toutefois d'être décrit : les *claustra* de maçonnerie sur lesquels sont fixées des vitres. H. Broise (1991) a reconstitué la structure des vitrages des thermes du Sud de Bosra (en Syrie), visible figure III.6. Les *claustra* étaient réalisés à l'aide de briques. Les vitres étaient appliquées sur les deux faces. Elles « étaient probablement maintenues par des crochets métalliques fixés dans les joints des *claustra*, avant d'être définitivement scellées par un enduit de plâtre qui assurait la cohésion et la finition de l'ensemble » (Broise 1991, p.74). Il est possible que l'enduit seul ait été employé pour assurer la fixation des vitres. Les thermes du Sud ont permis d'observer les restes des jetées de plâtre à la base de la structure, au dos des vitres extérieures. Le plâtre, fréquent en Syrie antique, est le matériau de prédilection pour cette catégorie d'utilisation, ponctuelle, limitée dans l'espace et nécessitant une prise rapide². Ce système de vitrage a été retrouvé dans des contextes du IV^e-V^e siècle à Jerash et à Jérusalem.

Les thermes du Forum, à Ostie, et plus précisément l'abside construite au IV^e siècle pour abriter la piscine sud du *caldarium* 5, présente sur des colonnes corinthiennes les traces d'arrachement de *claustra*, sous formes d'adhérences de mortier parallèles et verticales, correspondant à l'épaisseur des *claustra* disparus (Broise 1991, p.77).

Certaines traces ou échantillons de formes particulières peuvent donc se raccrocher à une utilisation de mortier pour les huisseries des vitrages. Il n'y a pas encore de synthèse possible, mais l'on devine d'ores et déjà des choix de matières premières ou de matériaux pouvant être différents de ceux de la construction des murs.

² Nous pouvons par exemple citer l'emploi du plâtre pour la réparation des blocs de grand appareil du temple hellénistique de Zeus, à Jerash (Jordanie), avant l'application d'un enduit peint à support constitué de plusieurs couches de mortier de chaux.

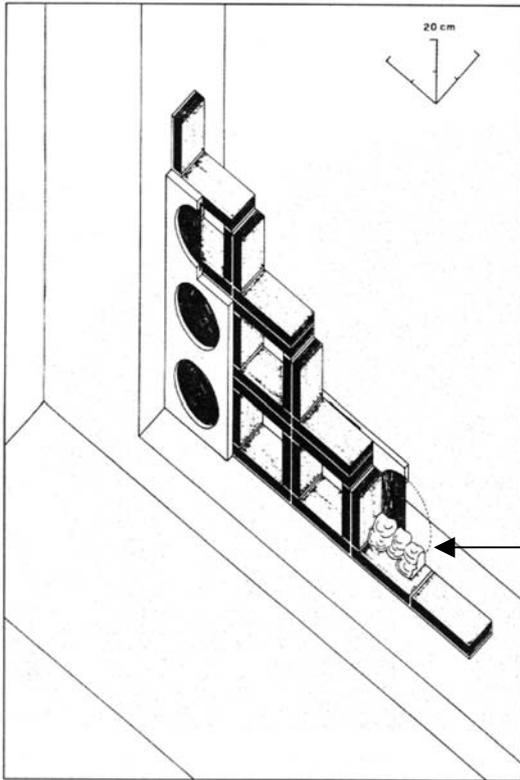


Fig.III.6. Restitution axonométrique du *claustra* avec des vitres soufflées en couronne, Bosra (Syrie), thermes du Sud (In Broise 1991).

→ Joints de plâtre permettant l'application des vitres sur l'armature de terres cuites



Fig.III.7. Carottage vertical au travers de la voûte de l'escalier d'accès au « promenoir » dans l'amphithéâtre d'Arles.



Fig.III.8. Départ de l'arc inclus dans le mur 3 des thermes de l'Esplanade, Arles.

2) Les arcs et voûtes

Les voûtes et plafonds posent de nombreux problèmes d'échantillonnage, leur conservation dans nos contrées étant chose peu fréquente. Sinon, les prélèvements nécessitent un outillage souvent loin d'être rudimentaire, en fonction de l'accessibilité (échafaudages) et des restaurations récentes (carottage : voir figure III.7).

Les voûtes peuvent être constituées uniquement d'un *opus caementicium* ou d'une structure de moellons ou briques liées avec un mortier, à la façon des arcs. Ces derniers nous sont fréquemment apparus, effondrés ou encore en place. L'arc élargi de l'entrée nord-ouest du portique des thermes du Vieil-Evreux est une structure de briques liées avec un mortier sableux qui n'a pas été employé pour d'autres œuvres sur le site. Les thermes de l'Esplanade à Arles nous ont permis de prélever en trois endroits des matériaux d'arcs présents en séparation de salles ou en couverture de foyer. L'échantillon QDE 39 appartient à l'arc surplombant la sortie du foyer qui chauffait la pièce P.3 (état piscine chaude). Le mortier est de type QDE-MS1, le même mortier sableux (quartzeux) employé dans les autres maçonneries de l'édifice, et notamment dans le mur 3 dans lequel l'arc est inclus (fig.III.8). Un autre arc, présent sous la pièce P.3, appartenant à un état postérieur (?), est en revanche préparé avec un mortier de tuileau et de sable (échantillon QDE 36). Enfin, entre les pièces P.8 (*caldarium*) et P.9 (*laconicum*), un arc de la largeur du mur est constitué de briques liées avec un mortier sableux (quartzeux), proche du type QDE-MS1. On s'aperçoit donc que ces structures n'ont pas bénéficié d'un liant particulier, tout au moins pour les primitives, bien qu'elles soient parfois en contact assez marqué avec une forte source de chaleur. La structure dont est issu le prélèvement QDE 36 étant peu claire, nous éviterons toute hypothèse.

La voûte en berceau à moellons calcaires du premier étage de l'amphithéâtre d'Arles est liée avec un mortier sableux (quartzeux) de type AMA-MS1, employé par ailleurs pour toutes les maçonneries du bâtiment. Pour Arles toujours, le cryptoportique, exceptionnellement conservé, est couvert pour chaque souterrain de deux voûtes en berceau jumelées, retombant chacune de leur côté sur l'un des murs et de l'autre sur une série de piliers carrés, échelonnés dans l'axe de la galerie et reliés entre eux par des arcs en plein cintre (Picard 1964, p.50). Nous avons récolté un échantillon dans un des arcs du deuxième état de construction (Flavien). Il est de type QDE-MS1, le mortier sableux (quartzeux) que l'on retrouve dans les thermes de l'Esplanade. Le mortier employé pour une voûte en berceau datée de la même phase de construction est de même composition. Celui employé pour la

première phase, datée de la période augustéenne, est lui aussi constitué de chaux et de sable, mais il se démarque par sa légèreté et la finesse de son granulat.

La légèreté des voûtes et plafonds est une caractéristique préjugée fortement souhaitée et recherchée. Mais il ne faut pas généraliser, un tel intérêt intervient surtout pour les voûtes préparées uniquement avec un *opus caementicium* et ne supportant aucun autre recouvrement de poids. Dans ce cas la pouzzolane apparaît de loin comme le meilleur agrégat, par les qualités qu'elle confère au mélange et par sa légèreté (il s'agit de « ponces » et de cendres volcaniques).

De nombreuses régions de Gaule ne possèdent pas de pouzzolane naturelle. Il a fallu agir autrement. La *domus* de Rouen (station *Metrobus*-Palais de Justice) est en cela exemplaire. Il s'agit d'une voûte d'arêtes datée du III^e s. ap. J.-C. par la technique d'application de la couche picturale (Bertrand et Lefèvre 1996, p.12). La structure est à armature de *tubuli*, noyées dans un mortier de blocage sableux (voir figure G1). Son côté concave est recouvert d'un enduit peint dont la première couche est à tuileau ; son côté convexe (extérieur) est rendu étanche par un mortier de tuileau d'une dizaine de centimètres d'épaisseur. Le résultat obtenu est une structure épaisse, étanche et d'un poids allégé.

Ces exemples révèlent plusieurs techniques et divers matériaux. Si peu de cohérence apparaît, il n'en reste pas moins que les liants architecturaux dévolus aux arcs sont le plus souvent de composition identique à celle des liants des murs contemporains qui les supportent ou qui les englobent (arcs de décharge) ; il en est de même pour les voûtes lorsqu'elles sont clavées. Lorsqu'elles sont structurées de façon particulière, en *opus caementicium* uniquement ou à structure interne composite, on voit l'apparition de matières premières différentes. La voûte de la station Métrobus à Rouen en un bel exemple... mais le meilleur reste la coupole du Panthéon à Rome (construit sous Hadrien entre 118 et 125 ap. J.-C. ; fig.III.9), dont J.-M. Roddaz rappelait récemment : « le béton de celle-ci était de composition variable et toujours plus légère (de la pierre à la pierre ponce en passant par la brique et le tuf) quand elle s'élevait et s'approchait de l'oculus » (Roddaz 2002).



Fig.III.9. La voûte à caissons du panthéon de Rome.

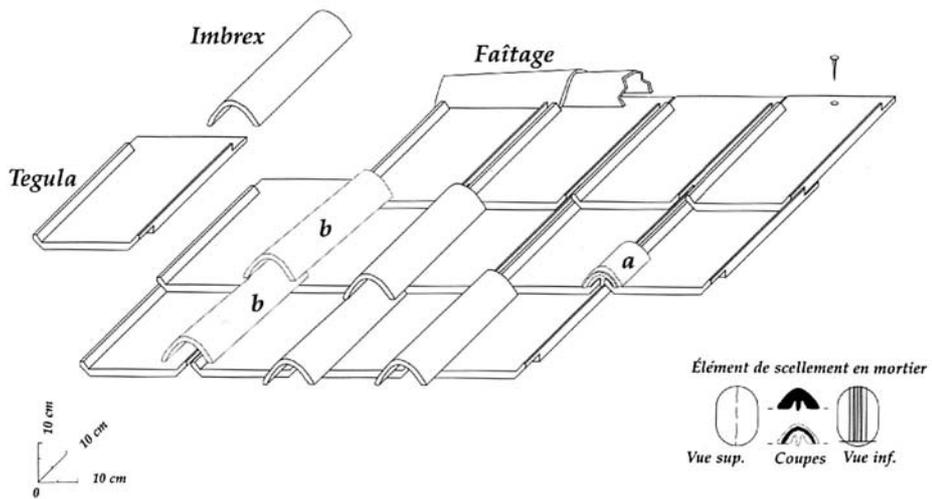


Fig.III.10. Schéma de disposition des éléments de toiture (In Vipard 1999).

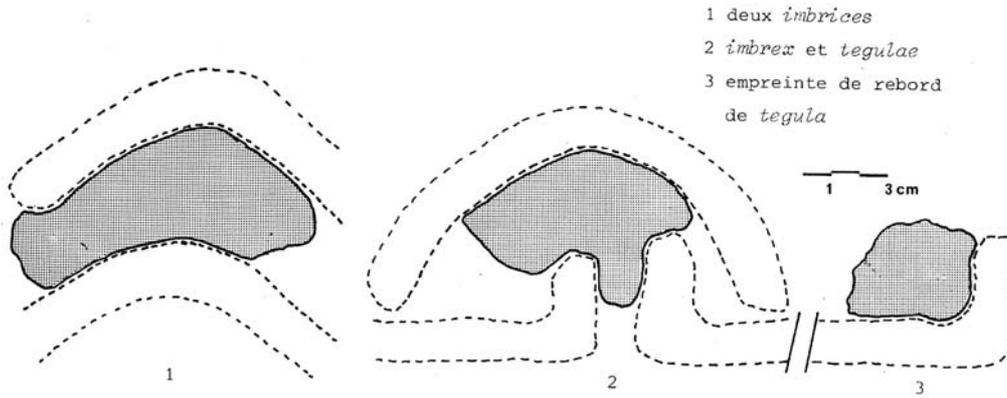


Fig.III.11. Joints de tuiles en mortier de chaux (In Frizot 1975, p.229).

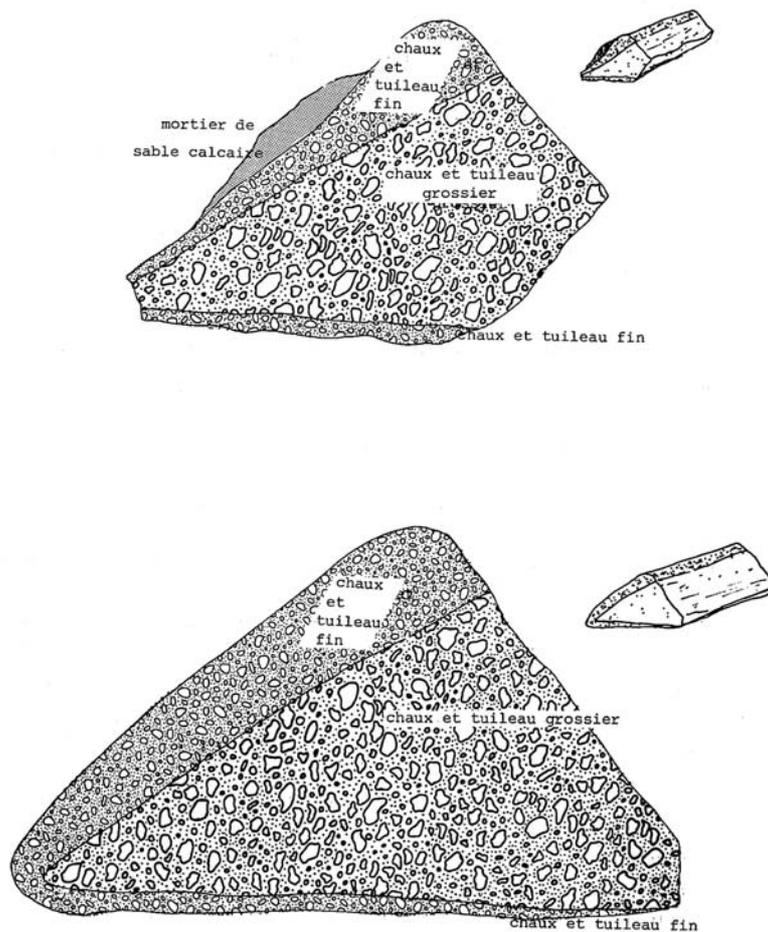


Fig.III.12. Prismes en mortier de tuileau de *Mediolanum* (In Frizot 1975, p.188).

3) Les toitures

Les toitures des bâtiments gallo-romains, fréquemment recouvertes de tuiles, ont pu faire appel à des liants architecturaux. Les objets que l'on retrouve sont de deux types : les joints de tuiles et les « prismes ».

Les joints de tuiles en mortier présentent les formes les plus caractéristiques de tout le cortège des échantillons de mortier. Ils sont aisément reconnaissables car ils gardent les empreintes des courbures et des interstices des terres cuites. Leur découverte lors de la fouille permet de reconstituer la toiture, même si aucun élément de tuile n'est présent, tel le cas de la *domus* du « Bas de Vieux » (Calvados), datée du II^e-III^e siècle ap. J.-C. (fig.III.10 ; Vipard 1999, p.213). M. Frizot a été confronté à plusieurs fragments provenant de la fouille du *fanum* de Crain, dans l'Yonne (Frizot 1975, p.229). Plusieurs variantes de formes sont visibles (fig.III.11), on retrouve aussi bien les fragments présentant la forme caractéristique alliant un côté convexe (moulage de l'intérieur de l'*imbrex*) et une partie basale en T (insertion entre deux rebords de *tegulae*) que le moulage de deux *imbrices*. Le mortier est chargé d'un sable quartzueux bien lavé, sans doute puisé dans les alluvions de l'Yonne. Sa composition est comparable à celle des enduits, fort éloignée de celle des mortiers de maçonnerie à sable calcaire.

Nous avons, pour notre part, rencontré par deux fois ces éléments de jointolement de tuiles. Les premiers sont apparus sur le site des thermes du Vieil-Evreux, en présentant la forme d'un joint de *tegula* et *imbrex*. Nous ne les avons pas analysés, mais leur aspect visuel les rapprochait soit du mortier employé pour les huisseries, soit du mortier ayant servi au jointolement des briques de l'arc de l'entrée nord-est du portique. Le sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre a fourni un nombre assez important de spécimens de mortier de toiture aux formes caractéristiques, dont certains avec la base en T. De nos échantillons (RSA 6, 7 et 20), aucun ne possède la forme mêlant un côté convexe et une base en T, mais chacun fait référence à des joints de tuiles, RSA 20 montrant même la double empreinte d'*imbrices*. Le mortier employé est un mortier sableux, contenant principalement du silex, ce qui le rapproche de certains mortiers de support des enduits peints du site, et ce qui le distingue des mortiers de maçonnerie, pulvérulents, chargés principalement de gravillons de craie.

D'autres formes d'éléments en mortier renvoient à une utilisation pour la construction des toitures : les « prismes ». Deux spécimens provenant du centre culturel et public de *Mediolanum* (Malain, Côte d'Or) ont été décrits par M. Frizot (fig.III.12). Il s'agit de blocs de

mortier de tuileau relativement grossier, en forme de prisme droit à base triangulaire, avec un angle de 90°. Le bloc est enduit sur deux faces d'un mortier de tuileau plus fin. L'interprétation de leur fonction découle d'une comparaison avec d'autres échantillons de formes relativement semblables, portant l'empreinte de *tegulae* et *imbrex* (Frizot 1975, p.197). Le site de Ribemont-sur-Ancre (Somme) a révélé plusieurs fragments complexes de formes sensiblement équivalentes. On ne retrouve pas exactement le prisme avec son angle de 90°, mais l'échantillon n'est pas complet. Le corps du bloc est composé d'un mortier sableux (même composition que les éléments de jointoiement de tuiles précédemment décrits) englobant divers fragments de *tegulae* et *imbrices* (apparemment jamais complets). La surface du bloc est enduite d'un mortier fin de tuileau, dont la surface forme un angle de 10° environ avec la limite du mortier sableux.

Nous avons pu analyser d'autres fragments en provenance des sites de Ribemont-sur-Ancre (Somme) et de Molesme (Côte d'Or), des petits prismes de formes apparemment complètes. Ils sont toujours composés de mortier de chaux et de tuileau, souvent peints sur une face (à l'ocre rouge). Les échantillons présentent la forme du moulage des zones de rebords chanfreinés des *tegulae* (fig.III.13). Le système de rebords permettait le recouvrement et le blocage des *tegulae* les unes sur les autres et par les autres (fig.III.10). Les essais de métrologie de P. Vipard (Vipard 1999) sur les terres cuites architecturales de la *domus* du « Bas de Vieux » ont montré que le taux moyen de recouvrement de deux *tegulae* successives était d'environ 10,8 cm. Ce résultat numérique ne concerne bien sûr que ce site, mais il montre toute la considération qui était appliquée à ce système d'emboîtement, puisque les tuiles plates de la *domus* mesurent entre 32 et 38 cm de longueur. La question qui se pose est de savoir quelle pourrait être la nécessité d'un système complémentaire de joints en mortier ajoutés entre ces tuiles plates qui se maintiennent déjà les unes les autres ? Ces éléments en mortier ne devaient se retrouver que dans des zones localisées de la toiture, éventuellement au faîtage, plus vraisemblablement en bordure des versants du toit, là où un vide subsistait en limite des dernières *tegulae*.

Il semble donc qu'il y ait deux ensembles relativement distincts d'emploi de mortier pour les toitures. Les éléments de jointoiement de tuiles sont chaque fois composés d'un mortier de recette proche de celle des mortiers d'enduit, à charge sableuse, sans tuileau. Les prismes, qu'ils soient de corps en mortier sableux ou en mortier de tuileau, sont toujours enduits d'un mortier de tuileau. Ces deux ensembles d'échantillons, de forme et de

composition différentes, témoignent d'un emploi double des liants de chaux pour la mise en place des toitures. Les joints ont pour fonction d'obturer les interstices afin d'éviter le passage de l'air (isolation thermique) et d'assurer la fixation des tuiles pour prévenir les dégâts du vent, voire les effets de la gravité pour une pente plus importante que les 15 % généralement admis (Vipard 1999, p.214). Les prismes correspondent vraisemblablement à des joints de protection contre les infiltrations d'eau dans la charpente (Frizot 1975, p.197), disposés au niveau du faîtage et/ou en rive latérale du toit.

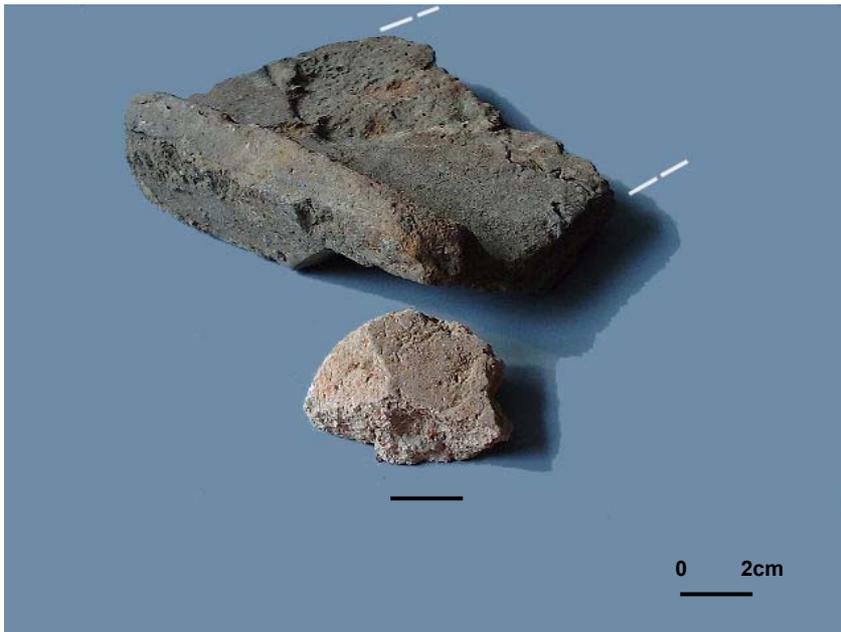


Fig.III.13. Prisme de mortier de tuileau : joint de mortier disposé sous les *tegulae*.

c) Les caves

Les substructions que sont les caves constituent des ensembles de maçonneries de première importance, car il s'agit parfois des seules structures possédant encore leur « élévation ». Il est par ailleurs fréquent de découvrir des habitations aux murs de terre ou briques crues montés sur solins de pierre ; seule la cave a bénéficié entièrement d'une maçonnerie de moellons liés au mortier de chaux, pour assurer une parfaite durabilité du sous-sol.

Le site de Molesme « Sur-les-Creux » (Côte d'Or) nous a donné la possibilité d'échantillonner les maçonneries d'une pièce semi-enterrée sur une profondeur voisine de

0,50 m du niveau de sol d'origine. Il s'agit d'un aménagement au sein d'une première pièce, qui a rendu nécessaire l'aménagement d'un accès sous forme de marche monolithique.

Le surcreusement de la pièce s'est accompagné d'une réfection intégrale des maçonneries (Petit et Wahlen 2000). La nouvelle structure se distingue des murs d'un premier état de l'habitation par un type d'appareillage radicalement différent : les moellons calcaires de moyen appareil, taillés avec très grand soin, présentent une face quasiment lisse ainsi que des arêtes vives rectilignes. Ils sont agencés en rangs réguliers parfaitement horizontaux et liés par un fin joint au mortier. Les constructeurs ont ainsi privilégié l'aspect interne de la pièce semi-enterrée. Bien qu'il s'agisse d'une deuxième phase de construction, la recette de préparation du mortier ne change pas, et l'on retrouve de nouveau un mortier relativement grossier et très argileux. La qualité de fabrication du mortier ne semble pas suivre le soin apporté à l'ouvrage, ce qui dénote soit un manque de savoir-faire, soit une technique propre privilégiant le plus faible coût en utilisant le moins de chaux possible.

La cave E du site du 14-16 de la rue des Moissons à Reims (Marne ; Balmelle 1999, p.10) fournit un premier point de comparaison. L'analyse minéralogique a montré que les murs sud (prélèvement P29), nord (P30), ouest (P33) ainsi que le sol avaient la même composition, un mortier riche en gravelles de craie, secondairement en tuileau et en quartz. L'escalier était vraisemblablement en bois.

Les sites bourguignons d'Alésia, Malain et Entrains-sur-Nohain nous donnent un lot de références plus important, via les travaux de M. Frizot. Pour un quartier au sud-est du *forum (insula F)* d'Alésia (p.178), deux sous-sols montrent des échantillons de maçonnerie de compositions identiques (U 10, 13 et 14), équivalents au mortier des pièces « supérieures ». La différence entre U 10 et U 11 (tous deux du sous-sol 314) s'explique par leur appartenance à deux phases distinctes de construction, U 11 se raccordant aux autres mortiers de maçonnerie du même âge que lui. Il s'agit chaque fois de mortiers sableux (sable calcaire) riches en argile. Trois caves ont été échantillonnées pour le site de Malain (centre public et cultuel ; p.187). Il apparaît que la phase principale de construction est homogène dans l'emploi de son mortier de maçonnerie, les caves ne faisant pas exception. Il s'agit de mortier de sable et gravillons calcaires, dont la granulométrie s'affine lorsqu'il a pour objet le jointolement des parements. Enfin, pour Entrains-sur-Nohain (quartier artisanal ; p.235), une étude complète de la cave 3 en liaison avec l'habitat 3 montre une homogénéité entre les différents murs pour le premier état, puis une homogénéité de la cave 3 dans son état final. Il s'agit chaque fois d'un mortier de chaux et de sable siliceux fin. Les seuls échantillons de la

cave présentant du tuileau correspondent à une réfection du mur qui est sous-jacent à une canalisation d'eau longeant la chaussée.

De fait, il ne semble pas y avoir de disposition particulière pour maçonner les caves avec des mortiers autres que ceux employés pour la construction des élévations.

d) Les emmarchements

1) Les escaliers et emmarchements maçonnés

Il nous semblait intéressant de comparer les escaliers monumentaux présents dans les grands édifices publics aux escaliers plus petits ou aux emmarchements présents dans les édifices plus réduits, publics et privés. Les différences observées ne témoignent pas de la diversité du statut des bâtiments, mais du cadre fonctionnel de l'œuvre.

Deux ensembles de matériaux apparaissent. Le premier correspond aux mortiers sableux. Ils sont employés pour la construction des escaliers monumentaux, à la fois pour les murs d'échiffre (Allonnes) et pour le blocage interne (Allonnes et Amphithéâtre d'Arles), et pour la construction des escaliers plus modestes (tel le mortier de la descente de la cave 3 à Entrains-sur-Nohain, étudié par Frizot, p.239). Leurs compositions ne varient pas de celles des mortiers employés pour les murs du site. Le deuxième ensemble correspond aux mortiers de tuileau, choisis pour maçonner les marches d'accès (et banquettes) menant aux bains. Parfois mis en œuvre seulement pour revêtir les dalles de pierre ou de terre cuite, les mortiers (ou béton) de tuileau sont aussi employés pour assurer la liaison de ces dalles, recouvertes ou non, tel l'échantillon ARC 54, type TVE-MT1, dans les thermes du Vieil-Evreux, pour accéder au bassin froid O2'. Le type MT1 a été utilisé par ailleurs comme enduit et sol.

2) Les mortiers de seuil

Il s'agit d'une catégorie un peu à part de matériaux car, par définition, leur emploi est ponctuel et fortement localisé. L'intérêt majeur de leur découverte est de fournir le niveau de circulation des salles, à supposer qu'ils ne constituent pas un niveau de séparation surélevé par rapport aux sols. Leur composition, quant à elle, est rarement prise en considération. La présence d'une dalle ou d'un bloc est appréciée pour le caractère significatif de la découverte ; la présence d'un niveau de mortier peut au contraire poser problème car, lorsque le matériau

ne présente pas de surface lisse et homogène, il n'est pas possible d'établir très exactement le niveau d'origine, ni de percevoir les éventuelles empreintes de dallage. Les thermes de l'Esplanade (Arles, Bouches-du-Rhône) et les thermes du Vieil-Evreux sont les deux seuls sites à nous avoir fourni des mortiers de seuil³.

Outre une marche, se présente entre les pièces 3 (piscine froide) et 4 (vestibule puis *frigidarium*) des thermes de l'Esplanade un seuil confectionné avec une quintuple recharge de béton de tuileau, chaque niveau étant de composition légèrement différente du précédent (ensemble d'échantillons QDE 30 A à E). Un niveau de briques est visible entre le premier et le deuxième niveau de béton. L'épaisseur totale est relativement faible au vu de la stratigraphie, et doit atteindre la dizaine de centimètres. La composition n'est pas surprenante puisque ce type de matériau se retrouve abondamment sur le site, à la fois pour les sols et les enduits. L'emploi d'un béton de tuileau s'explique par la nécessité d'obtenir un matériau résistant et hydraulique (milieu humide) ; la multiplication des recharges semble liée à des travaux de restauration, plus qu'à une double, ou triple, ou supérieure, pose de sol en vue d'assurer dès l'origine la qualité de l'ouvrage, car les matériaux diffèrent d'une couche à l'autre⁴. Le premier ensemble « béton de tuileau et briques » doit vraisemblablement correspondre à la première phase d'utilisation de la pièce 3, lorsque celle-ci était une pièce chauffée (piscine chauffée). Pour la suite il devient impossible d'affirmer la présence d'un recouvrement du béton par un niveau de dalles en terre cuite ou en pierre, mais nous penchons plutôt pour une succession de réparations ponctuelles, en vue de préserver le seuil de la désagrégation. L'utilisation d'un béton sans aucun recouvrement est attestée sur d'autres sites : un béton de chaux constitue l'unique seuil retrouvé dans la partie thermale de la *villa* de Champion (Région wallonne, Belgique), de surcroît en limite entre un vestibule et une salle froide (secteur daté du milieu du I^{er} s. ap. J.-C. ; van Ossel et Defgnée 2001, p.71).

Les thermes du Vieil-Evreux nous ont livré plusieurs exemples de seuil. Le premier se trouve justement en limite d'un vestibule (chauffé, salle ronde est) et d'une salle froide (salle H). La composition du mortier (type TVE-MTS2) est particulière pour le site. Il s'agit en effet du seul mortier de chaux présentant un mélange de sable siliceux, de sable calcaire et de tuileau, dans des proportions relativement équivalentes. Ce seuil est apparu lors d'une phase

³ Pour le bâtiment gallo-romain de Molesme « Sur-les-Creux », une marche d'escalier monolithique, encadrée de deux murets maçonnés, constitue l'accès vers une pièce semi-enterrée à l'ouest de la pièce VI.

⁴ On ne peut, évidemment, pas négliger l'hypothèse d'une succession de couches de béton à la composition pas réellement fixée, ce qui donnerait le même résultat qu'ici. Mais, même s'il s'agit toujours de béton de tuileau, la granulométrie des fragments de TCA varie trop d'une couche à l'autre et sans aucune cohérence de décroissance ou non.

de transformation des thermes, puisque les salles rondes ont été ajoutées au balnéaire dans un deuxième temps. Vu la nature « hybride »⁵ de ce matériau, il y a fort à parier que si la jonction des salles a été pensée, la présence d'un seuil au sens strict n'a pas été envisagée de prime abord. En effet, plutôt qu'utiliser un béton de tuileau ou de graviers calcaires, employés par ailleurs sur le site dans le même temps, on a mis en œuvre un mélange sans rapport, ou plutôt au carrefour de ces matériaux, pour une fonction d'ailleurs plurivalente : niveau de circulation, entre une pièce chauffée et une pièce humide. Ainsi, si la composition du mortier répond à un choix, et non à un hasard de « fin de chantier » avec récupération des matières premières restantes, il faut voir dans le caractère plurivalent du matériau l'impulsion de ce choix.

Trois autres seuils sont apparus dans les thermes du Vieil-Evreux, tous préparés avec le même mortier (type TVE-JB3). Il s'agit de seuils permettant l'accès depuis le portique aux salles périphériques (S et T en l'occurrence) et à la cour sud. Ces trois seuils sont contemporains et appartiennent à la dernière phase de construction des thermes. Ils sont maçonnés avec un mortier de chaux et de sable siliceux, proche des mortiers de maçonnerie. La particularité de ce liant vient de la finesse de son sable. Cette finesse nous semble peu compatible avec l'emploi qui est fait de ce type de mortier, à savoir mortier de seuil et aussi mortier de sol (salle S). Aucune empreinte de dallage n'est visible, même sur le sol préparé avec ce mortier, ce qui pourtant pourrait expliquer sa finesse et son emploi (cf. *infra*). On remarque toutefois que la dernière phase de transformation des thermes ne fait appel qu'à la seule famille des mortiers sableux jaune beige, pour toute la gamme d'utilisations : mortiers de maçonnerie, de sol et de seuil. Nous considérons donc qu'il faut voir l'emploi du type TVE-JB3 pour la préparation des seuils (et du sol) comme le témoignage d'un défaut de spécialisation des matériaux, lié soit à une perte de compétence, soit à la fonction des pièces périphériques, qui sont sans rapport avec le bloc thermal, et donc sans nécessité de mise en œuvre de qualité (ce qui n'est pas le cas des pièces du balnéaire qui doivent pouvoir résister aux conditions parfois extrêmes de température et d'humidité).

En résumé, les seuils maçonnés ne semblent pas faire appel à une technique prédéfinie. La nature du matériau varie parfois suivant les structures qu'il délimite et suivant les types de matériaux employés par ailleurs à la même époque sur le site.

⁵ On ne peut parler de tout-venant pour la charge du mortier, mais il n'en demeure pas moins qu'il s'agit d'un mélange sans logique avec l'ensemble des liants du site et des formations sableuses exploitées jusque-là pour les mortiers.

e) *Les sols*

De nombreux sols en béton supportaient directement la circulation des personnes. Les recommandations de Vitruve pour la préparation des revêtements de sol (*De Architectura*, VII, 1) sont de mélanger à la chaux des cailloux en proportion chaux/granat de 1 pour 3 avec des pierres neuves, ou 2 pour 5 avec des pierres de réemploi. Il fallait ensuite recouvrir ce premier niveau par un *nucleus*, composé de 1 partie de chaux pour 2 de tuileau, qui recevait le carrelage. Ce dernier pouvait éventuellement être recouvert par un nouveau mélange de chaux et de sable, chargé avec des fragments de marbre. Vitruve conseille pour le premier niveau des sols en espace découvert d'ajouter un volume de tuileau au mélange à cailloux neufs, avant de recouvrir ce *rudus* avec le *nucleus* et le carrelage.

J.-P. Adam explicite la technique de préparation du sol, en remarquant qu'il n'y a pas de différence particulière entre un sol recouvert d'un dallage et un autre découvert, s'ils sont de qualité (Adam 1995, p.253). Sur un radier de cailloux posés à sec (le *statumen*), on étend le *rudus*, sorte de béton épais de chaux, sable et graviers ou cailloux. La dernière couche est le *nucleus*, composée d'un mortier de tuileau.

1) Les sols de circulation des salles sèches

Tout sol maçonné ne possède donc pas de revêtement type dallage ou mosaïque. Ces ouvrages doivent alors résister à une attaque singulière pour ce genre de matériau, l'érosion mécanique créée par la circulation des personnes.

Le plus ancien exemple de sol nous vient du bâtiment gallo-romain de Molesme « Sur-les-Creux », daté de la première moitié du I^{er} s. ap. J.-C. Il s'agit des sols des salles, plus ou moins bien conservés suivant les endroits, constitués d'un béton de chaux à cailloutis calcaire coulé sur un hérisson de petites pierres posées de chant. Cette technique simple se retrouve sur d'autres sites. Le sol du portique ouest du sanctuaire de la Forêtterie (Allonnes), qui est daté du milieu du II^e s. ap. J.-C., correspond à un béton de chaux à cailloutis calcaires, légèrement enrichi en sable siliceux. Les mortiers du site ne contiennent jamais de granulat calcaire, seuls les bétons (avec ou sans tuileaux) en possèdent. On peut faire la même réflexion pour le béton du sol de la galerie du *fanum* de Champallement (Nièvre), étudié par M. Frizot. Le béton est un mélange de chaux, sable granitique et cailloutis centimétriques de calcaire (Frizot 1975, p.153), alors que tous les mortiers du site (*fanum*, mais aussi *forum* et

bourgade) ne contiennent jamais de fragments de calcaire. L'auteur a aussi étudié les sols de la galerie et de la *cella* du *fanum* de Crain, dans l'Yonne. Le sol de la *cella* est composé d'un béton de chaux et cailloutis calcaires ; celui de la galerie se rapproche plus des mortiers du site par sa granulométrie, mais il contient quelques tuileaux alors que les mortiers des murs ne présentent qu'un granulat calcaire. Le sol de la galerie est de faible épaisseur, de 1 à 2 cm, ce qui peut (ou que peut) expliquer le choix d'un granulat fin. Ce sol, en mortier grossier, est posé sur une couche composée d'un mélange d'argile, de chaux et de tuileau, elle-même recouvrant une couche charbonneuse étendue sur un hériçon ; on retrouve un peu les prescriptions de Vitruve (*De Architectura*, VII, 4) recommandant pour les sols des lieux humides une couche de charbons entre la première et la deuxième couche de mortier de chaux.

La présence d'un mortier en surface du sol non revêtu, bien que surprenante, n'est pas une rareté. Les thermes du Vieil-Evreux (II^e-III^e s. ap. J.-C.) nous donnent deux exemples de matériaux employés à cette fin. Le premier correspond au type TVE-MT4, un mortier de tuileau grossier (voire un béton fin), utilisé dans le chaufferie N' (échantillon ARC 10), peut-être pour les vertus réfractaires du tuileau, au même titre que les sols inférieurs et suspendus des hypocaustes (cf. *infra*). Le deuxième correspond à l'emploi d'un mortier sableux fin dans les pièces annexes accolées aux portiques, de composition proche des mortiers employés pour la construction des murs des mêmes structures (échantillon TVE 21). Mais ces salles sont des rajouts, leurs dimensions sont réduites et l'on peut supposer la circulation des personnes moins dense que celle dans les galeries précédemment décrites. D'ailleurs, les latrines et les portiques encadrant la palestres de ce site, appartenant à la première phase de construction (II^e s. ap. J.-C.), montrent un sol constitué d'un radier de béton de chaux et cailloux calcaires (du Lutétien) englobant des rognons de silex, recouvert par quelques centimètres d'un béton lissé de chaux et cailloux de Lutétien. Ces cailloux ne se retrouvent ailleurs sur le site que dans le blocage des murs, participant au « tout-venant ».

Pour les thermes de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille (Yonne), nous avons prélevé le sol des salles EG et KR, en liaison lors du premier état de construction, dont la fonction est encore peu établie (« salle froide », couloir, pièce d'habitat ?). Il s'agit d'un béton de chaux, sable siliceux et cailloutis calcaire. La présence de tuileau est anecdotique, toujours en poussière, sauf en surface où des fragments de terres cuites ont été disposés au même titre que des fragments de schiste, à des fins esthétiques. La présence d'un béton de tuileau sous le sol

de la salle EG pourrait marquer une première phase d'utilisation de la pièce, à fonction alors de salle froide.

Il se dessine donc un schéma très simple de la préparation des sols soumis à une circulation des personnes : la pose d'un radier, simple ou complexe, à béton de chaux ou cailloux posés à sec, recouvert ensuite par une couche préférentiellement de béton de chaux à cailloutis calcaires. Pourquoi le choix de ce granulats calcaire ? Cette matière première fut vraisemblablement préférée à d'autres. Les environnements géologiques des exemples présentés sont richement pourvus de formations calcaires, bien plus abondantes que les formations siliceuses. La décomposition *in situ* des calcaires et l'entraînement des fragments par les agents d'érosion (surtout les eaux courantes) fournit plusieurs possibilités d'approvisionnement ; mais il s'agit avant tout de facilités de traitement de la matière première qui ont fait des roches calcaires le gravier de prédilection.

Il faut garder à l'esprit que les sols maçonnés, au même titre que les murs à liant de chaux, font partie d'un système de construction relativement privilégié, nombre de bâtiments privés faisant appel à des modes de construction en matériaux périssables (terre, bois). De fait, il n'est pas surprenant de voir les sols des structures du 14-16 rue des Moissons à Reims (Balmelle *et al.* 1999) présenter des sols en terre battue chargée de craie pilée, excepté pour les supports de mosaïque ou les sols inférieurs d'hypocauste.

2) Les sols de circulation des salles humides (hors *suspensurae*)

Nous avons défini ce type de fonction en premier lieu pour les salles thermales. A proprement parlé, les pièces froides, tièdes ou chaudes ne sont pas des bains, elles peuvent posséder des piscines ou mener à elles. Lorsque la salle n'est pas pourvue d'un hypocauste, le rôle du sol est de permettre la circulation des personnes tout en résistant à une atmosphère humide et parfois chauffée.

Deux familles de matériaux sont associées à cette fonction dans les thermes de l'Esplanade (Arles, II^e-III^e s. ap. J.-C.). D'une part, on retrouve dans la salle 9 (*laconicum*) un mortier sableux proche de celui des murs, et dans la salle 11 (*caldarium* et *frigidarium*) un béton de graviers calcaires, sans sable et seulement quelques poussières de tuileau. Ailleurs, pour les pièces 4 (entrée et *frigidarium*, échantillons QDE 12 à 14) et 15 (salle semi-circulaire accolée au *caldarium* 8, échantillons QDE 47 et 49), c'est un mortier ou un béton de tuileau qui est mis en œuvre, plus ou moins enrichi en sable siliceux. Le tuileau est majoritairement

fin, les fragments centimétriques sont peu présents. Les matériaux sont colorés, d'un rose plus ou moins clair, et très résistants. La proportion chaux/granatol tourne autour de 1 pour 2. Pour comparaison, on retrouve dans les salles H et H' (état *frigidarium*) des thermes du Vieil-Evreux un matériau ressemblant, relativement fin, un mortier rose de tuileau avec quelques fragments millimétriques, sans sable. Ce mortier supportait un niveau de dalles de calcaire fin.

Hors thermes, l'exèdre C du portique du sanctuaire de la Forêtterie (Allonnes, milieu I^{er} s. ap. J.-C.) présente à la fois un bourrelet d'étanchéité (ALL 64) et un béton de sol à base de tuileau. Le bourrelet est en mortier de tuileau et de sable (type ALL-MTS3) ; le sol reprend le même matériau auquel sont ajoutés des cailloutis de roche calcaire (ALL-BTSG1). La fonction de la salle n'est pas définie, mais une utilisation en conditions humides (ou simplement une absence de couverture) est fortement envisageable.

3) Les bourrelets d'étanchéité

Ces bourrelets dits d'étanchéité se retrouvent toujours en base de mur, formant un boudin en quart de rond protégeant la jonction entre le sol et le mur. Nous avons pu étudier plusieurs de ces éléments et différents auteurs les ont signalés et analysés. La quasi-totalité des échantillons est composée d'un mortier ou parfois d'un béton de tuileau, avec ou sans sable. Il s'agit généralement d'une « extension » du béton de sol, soit à composition identique (c'est le cas pour la pièce A du site 14-16 de la rue des Moissons à Reims, datée de la première moitié du II^e s. ap. J.-C. ; Balmelle *et al.* 1999, p.6), soit d'une recette identique mais avec un granulat plus fin pour le bourrelet (voir le cas de l'exèdre C du sanctuaire d'Allonnes, échantillon QDE 64). Bien que cela ne soit pas absolu, il apparaît que la majorité des bourrelets que nous avons eu à analyser ou étudier provenait de salles possédant un sol dallé ou à mosaïque. L'absence de continuité entre les parois de la pièce et le sol devait être perçue, sans doute à juste titre, comme génératrice de futurs problèmes d'étanchéité en périphérie de la structure (piscines ou autres salles « humides »).

Le seul échantillon se démarquant dans notre corpus est QDE 72, provenant de la canalisation 170 des thermes de l'Esplanade à Arles (fig.III.14). Il mérite d'être signalé car il s'agit d'un mortier sableux. Pas un seul témoignage de « mortier hydraulique » n'est visible sur cette structure. Les piédroits de la canalisation sont maçonnés avec des briques liées au mortier sableux. Le sol de la canalisation est une succession de dalles calcaires dont le support est un mortier sableux. Le tuileau n'a paru nécessaire pour aucun élément de cette structure.

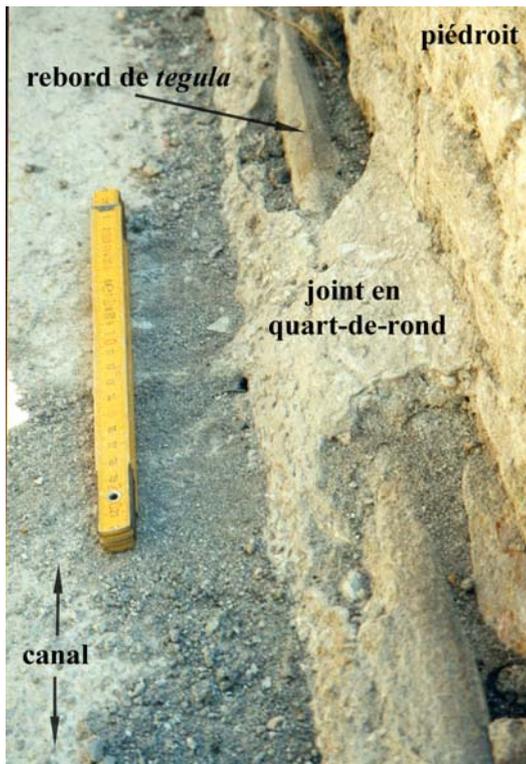


Fig.III.14. Canal 170 des thermes de l'Esplanade (Arles) au bourrelet « d'étanchéité » en mortier de chaux et de sable siliceux.

4) Les supports de mosaïque

Nous n'avons pas recherché à étudier plus particulièrement les supports de mosaïques, au contraire des supports de peintures murales. De fait, un seul de nos prélèvements correspond à cette fonction : QDE 3, support de mosaïque dans la pièce 5 des thermes de l'Esplanade en Arles. Il s'agit de la « dernière » couche, dans laquelle les tesselles ont été disposées ; peut-être d'autres couches préparaient sa pose en profondeur. Le matériau est un mortier de tuileau et de sable siliceux, riche en petits grumeaux de chaux, très dur. L'utilisation de matériau à tuileau et sable est signalée pour la mosaïque du *triclinium* de la *domus* de la rue des Moissons à Reims (Balmelle *et al.* 1999 ; pièce datée de la première moitié du I^{er} s. ap. J.-C.). Le béton de tuileau et sable serait de composition identique au sol de l'hypocauste de la pièce adjacente.

D'autres exemples se retrouvent chez M. Frizot. L'auteur a étudié le support d'une mosaïque d'hypocauste provenant de Pouilly-sur-Loire (Frizot 1975, p.201) qui était constituée d'une stratigraphie à 3 couches : un béton de tuileau grossier sans sable (c) recouvert par un béton de tuileau plus fin (b) et finalement par un mortier de tuileau (toujours

sans sable, (a)). L'auteur suppose une utilisation du tuileau plus tournée vers un besoin d'étanchéité que de résistance thermique. La ville d'Autun a permis l'étude de trois supports de mosaïque. La technique varie peu entre ces trois exemples, avec une couche (a) de chaux presque pure, une couche (b) en mortier de tuileau (sans sable) et, pour deux supports, une couche (c) en béton de tuileau (là aussi sans sable). L'assemblage (b) + (c) se retrouve pour une *suspensura* où l'absence de la couche (a) s'expliquerait par l'emploi de dalles.

Ces exemples tendraient à associer le tuileau à la préparation des sols mosaïqués. Il faut sans doute replacer cet objet dans son contexte architectural : il s'agit surtout d'exemples provenant d'hypocauste et de thermes. La couche de chaux pure présente à Autun serait la marque de la pose des tesselles après l'avancement du durcissement de la couche de mortier.

Ce qui est à signaler, c'est la décroissance de la granulométrie des fragments de tuileau qui apparaît comme une règle, de la première couche posée jusqu'à la dernière, facilitant la disposition finale des tesselles. Pour les compositions des matériaux de pose, de nouveaux prélèvements de provenances variées s'avèrent nécessaire pour envisager l'existence de « codifications antiques ».

III.1.2. Les systèmes d'hypocauste et les bains

L'aménagement intérieur de l'édifice après l'érection de la superstructure dépend de la fonction des salles, certaines nécessitant une mise en œuvre différente. C'est le cas des pièces chauffées par hypocauste et des piscines. Ces deux structures peuvent être liées lorsque la piscine est chauffée.

La technique de chauffage par hypocauste est apparue à la fin du II^e s. ou au début du I^{er} s. av. J.-C. (Adam 1995). Le sol de la salle à chauffer, ou *suspensura*, est un sol double : la partie inférieure, constituée de larges dalles (60 cm) de terre cuite (Vitruve, *De Architectura*, V, 10), est recouverte d'un mortier ou béton sur lequel peut être disposé un niveau supérieur (dalles de marbre, mosaïque, etc.). La *suspensura* est suspendue en hauteur, soutenue par une forêt de pilettes, des colonnes de petites briques de deux tiers de pied, soit 20 cm de côté environ. Ces colonnes prennent pied sur le sol de la « chambre de chaleur » sous-jacente (fig.III.15). La chaleur arrive par une conduite de briques à partir du *praefurnium*, un foyer généralement recouvert d'une voûte dont la maçonnerie limite les déperditions de chaleur. Afin d'améliorer le chauffage de la pièce, des briques creuses rectangulaires à ouvertures sur les côtés (*tubuli*) sont disposées contre les murs, les unes sur et contre les autres, à partir de la

base de la *suspensura*. Elles sont éventuellement fixées sur une couche de mortier plaquée sur les parements des murs. Vient ensuite un enduit de recouvrement masquant les *tubuli*. Cette contre-cloison crée, avec la chambre de chaleur sous-jacente, un réseau de circulation pour l'air chaud. L'enduit de recouvrement est souvent porteur de décorations, telles que des peintures, des stucs ou des placages de marbre ou de calcaire. Cet enduit, comme la *suspensura*, joue le rôle de volant thermique de longue durée.

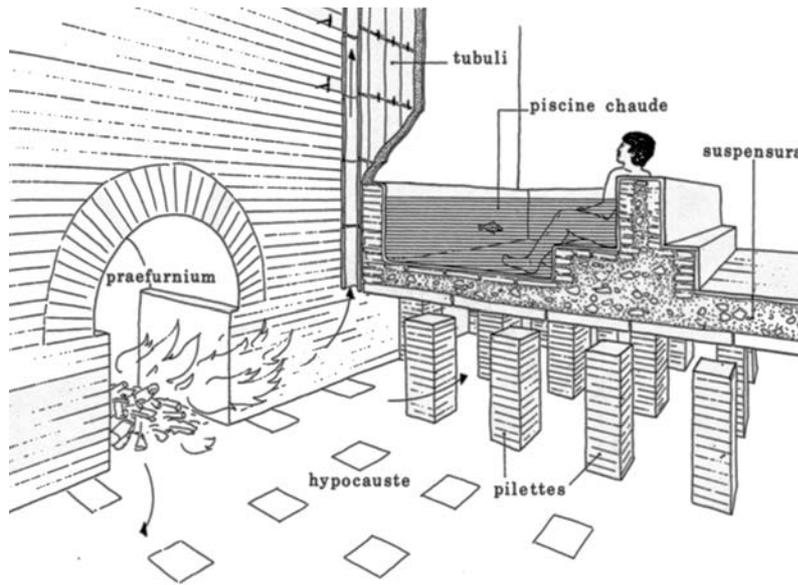


Fig.III.15. Schéma du système de chauffage par hypocauste (In Adam 1995).

a) Les foyers / praefurnia

Il faut distinguer dans ces structures la sole (et les murs d'encadrement) et le conduit de chaleur. L'étude des thermes de l'Esplanade d'Arles (II^e-III^e s. ap. J.-C.) montre bien la différence dans le choix du matériau à employer pour l'édification de ces deux parties du foyer, la sole faisant appel à un matériau particulier alors que le conduit, de par sa position en plein mur (voir fig.III.8), est maçonné avec le même mortier de chaux que la maçonnerie ; le foyer alimentant la pièce 3 en est le parfait exemple. Le conduit dans le mur 3 (murs et voûte) est préparé avec le même type de mortier que le reste de la maçonnerie (QDE-MS1), alors que les briques de la sole et des murets latéraux du foyer sont liées avec un même matériau limono-argileux, jaune pour les murets, brun pour la sole (chauffé). Cette famille de matériau argileux se retrouve aussi pour le liant des briques du foyer 177 (apparemment d'une phase différente de construction), au sud de la salle 9.

Les thermes du Vieil-Evreux (II^e-III^e s. ap. J.-C.) permettent d'observer trois familles de salles de chauffe : la salle centrale D avec ses deux foyers, les chaufferies M et M' rajoutées lors de la transformation des salles froides G et G' en salles chaudes, et les chaufferies N et N' alimentant les nouveaux vestibules J et J'. Si les soles des foyers sont restaurées, les maçonneries des salles sont encore avec leur liant d'origine. On s'aperçoit que le traitement des murs ne s'écarte pas de celui des autres murs de l'édifice, le liant architectural correspondant à celui employé par ailleurs lors de la phase de construction. Ainsi, la salle D, rendue fonctionnelle à la fin de la première étape de construction, voit ses murs et massifs internes maçonnés avec les premiers types de mortier de maçonnerie (famille des Beige Rosé et premiers types rose orangé) ; les salles de chauffes M et M', contemporaines des bassins O et O', sont maçonnées avec le même mortier que ces derniers, à savoir TVE-MTS1 (à tuileau et sable siliceux) ; les petites chaufferies N et N' sont érigées en même temps que les salles rondes, avec le même mortier que celles-ci, de type TVE-RO2.

M. Frizot ne présente qu'un seul exemple de liant de dalles de foyer, en provenance de la *villa* de Pouilly-sur-Loire. Il s'agit d'un mortier de chaux chargé du même sable siliceux que pour les mortiers des murs latéraux de l'hypocauste. L'auteur est surpris de l'emploi d'un tel mélange, il suppose plus commun la mise en œuvre de mortier de chaux contenant du tuileau (Frizot 1975, p.206).

Il faut donc voir dans la construction des structures de chauffe la dichotomie entre la sole, au contact direct avec la chaleur, et les parois de la maçonnerie qui encadre le foyer ou sert de conduit de chaleur. Un traitement différent pourra intervenir, avec prédilection de matériaux supposés résistants au feu pour la sole (argile et éventuellement mortier de tuileau), les parois de la maçonnerie répondant plus à des critères d'érection des murs et des voûtes.

b) Les hypocaustes

1) Les sols d'hypocauste et les *suspensurae*

Les sols d'hypocauste et les *suspensurae* sont deux composants architecturaux qu'il est intéressant de comparer lorsqu'ils sont contemporains (pas de reconstruction de la *suspensura*), car ils sont de même fonction primaire (béton de sol), mais dans des positions architecturales complètement différentes. Il n'est malheureusement pas toujours possible

d'échantillonner une structure d'hypocauste dont toutes les composantes architecturales d'origines seraient conservées et accessibles.

La partie thermale de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille possède encore de nombreux vestiges en place d'hypocauste et de *suspensura*. Ces éléments, résultats des enchaînements des phases de construction du site, participent à la complexité architecturale des salles. Nous avons analysé, entre autre, les bétons d'hypocauste de la salle FA. Michel Frizot aurait analysé le béton de la *suspensura* de cette salle (Frizot 1975, p.171), structure qui n'est plus observable actuellement. L'échantillon de sol correspondant au dernier état est ESC 5. Il s'agit d'un béton chargé d'éléments grossiers de tuileau (plurimillimétriques à centimétriques), avec un peu de sable quartzeux. La couleur de la matrice est d'un blanc légèrement rosé. La *suspensura* serait constituée d'un béton de tuileau, les éléments allant jusqu'à 4 cm de diamètre, à pâte blanche. Au vu de la courbe granulométrique fournie par l'auteur, il semble que l'on puisse considérer qu'une même recette a été employée pour la préparation du sol inférieur de l'hypocauste et pour le sol supérieur (la dalle maçonnée de la *suspensura*).

Une composition quasi identique (un peu plus de sable) se retrouve plus bas, sous le niveau de dalles sous-jacent ; le béton correspondrait à une première phase d'utilisation de FA. Une recette un peu identique se retrouve pour le même état de construction (le cinquième, III^e s. ap. J.-C.) dans le sol de l'hypocauste de la salle F (échantillon P 6 ; Frizot 1975), enrichi de quelques graviers calcaires et de nodules de mortier de tuileau, et pour le sol de l'hypocauste de la salle KS, apparemment un peu plus riche en gravelles calcaires. Dans la salle DB la technique du sol inférieur est toute autre, avec un mortier de sable siliceux, chargé de quelques gravelles calcaires et de fragments grossiers de tuileau. Une telle technique est assez surprenante pour le site.

Le premier état de construction des thermes de la *villa* (I^{er} s. ap. J.-C.) nous a permis d'échantillonner d'autres vestiges de *suspensurae* et de sols inférieurs. Malheureusement, les phases de construction ne correspondent pas. Les niveaux de sols proviennent de la salle ED, sous les dalles, rattachés à l'état I phase 3. Il s'agit d'un béton chargé de gravelles calcaires et de sable siliceux, recouvert par un béton de gravelles calcaires et de poussière de tuileau. La construction de la *suspensura* qui nous intéresse ici est intervenue dans un deuxième temps (état I phase 4), en prenant appui sur les dalles. Elle n'est plus représentée que dans les salles adjacentes (piscines H et GB), qui montrent des finitions différentes mais le même gros œuvre : dalle de béton en deux couches, la première épaisse en béton de tuileau grossier

pauvre en sable siliceux (doublé pour GB), recouverte par une fine couche de mortier très rose de tuileau très fin. Ce dernier mortier devait supporter un niveau de dalles de calcaire fin.

Pour les thermes de l'Esplanade (Arles) le problème de la comparaison de structures pas tout à fait contemporaines se pose de nouveau. Le sol inférieur du *caldarium* P.8 est préparé avec un béton de tuileau (aux éléments grossiers et plus fins) enrichi d'un peu de sable siliceux, alors que la *suspensura* du premier état de la salle P.3 (piscine chaude construite dans un deuxième temps) est composée d'un niveau de mortier de tuileau abondamment chargé de sable siliceux (quartz surtout). Cette finesse est surprenante. Le béton semble plus approprié que le mortier lorsqu'une seule couche est employée. C'est ce que nous avons repéré dans les thermes du Vieil-Evreux, avec deux types de béton de tuileau (sans sable) employés pour les *suspensurae*, très grossiers, dont le type TVE-MT4 qui se retrouve par ailleurs pour la confection de sols ou d'enduits, mais alors dans une version plus fine. On peut éventuellement supposer une phase de dallage pour tous ces sols en mortier.

Le site du 14-16 rue des Moissons à Reims (Balmelle *et al.* 1999) nous offre un dernier point de comparaison. Le même matériau aurait été utilisé pour la confection des sols inférieurs des hypocaustes B et F, de la *suspensura* de la salle F, et du support de la mosaïque de la salle A (structures de la première moitié du II^e s. ap. J.-C.). Il s'agit d'un béton de tuileau de teinte rose, contenant un peu de quartz.

Nous sommes faces à une réelle diversité de techniques qui laissent toutefois entrevoir plusieurs constantes. La *suspensura* est parfois simple ou à plusieurs niveaux, mais la dalle principale est toujours abondamment chargée de tuileau, en gros fragments pour l'essentiel. La présence d'un sable naturel associé semble dépendre des « habitudes » du site. Pour le sol inférieur, la composition apparaît plus variable, quelquefois en parfaite conformité avec celle du sol supérieur, mais fréquemment sans réelle coïncidence. Les nécessités d'un sol inférieur d'hypocauste, de prime abord assez floues, peuvent expliquer qu'aucune technique précise ne leur soit associée, chaque artisan jugeant au mieux, au sein de ses connaissances pratiques, du mélange adéquat pour une bonne tenue dans le temps des pilettes, ce qui d'ailleurs se traduit pour de nombreux hypocaustes par une absence de ce sol inférieur, les colonnes de terres cuites reposant directement sur un sol de terre (battue ?).

2) Les joints de pilettes (*pilae*)

Les pilettes ont un rôle architectural fondamental dans la construction des hypocaustes. Elles assurent la tenue en suspension de la pièce et de ses bassins, aucun contact direct avec les murs périphériques n'étant possible lorsque toute la paroi est recouverte de *tubuli* (ce qui, d'ailleurs, n'est pas systématique). Ces pilettes sont faites de briques rondes ou carrées superposées, liées généralement, d'après R. Ginouvès (1992), par un mortier de terre. Les écrits de Vitruve viennent étayer cette pratique :

« Sur ce dallage, on établira des piles avec des briques de huit pouces, disposées et espacées en sorte qu'elles puissent soutenir des dalles de deux pieds en carré. Ces piles auront deux pieds de hauteur et seront maçonnées avec la terre grasse mêlée avec de la bourre » (*De Architectura*, V, 10 ; traduction Perrault corrigée par Cl. Dalmas).

Nous avons rencontré plusieurs témoignages de cette utilisation d'un liant argileux pour la mise en place des colonnes de briques. Il s'agit des thermes du Vieil-Evreux (Eure) et des thermes du quartier de l'Esplanade à Arles (Bouches-du-Rhône).

La restauration des pilettes d'hypocauste des salles centrales du balnéaire des thermes du Vieil-Evreux a été effectuée très tôt dans l'histoire du site ; cela ne nous permet pas de dire quel était le matériau employé à l'origine dans cette partie de l'édifice. Mais l'ouverture de sondages dans la salle ronde ouest (datée du milieu du II^e s. ap. J.-C.), effectuée à l'occasion du récent programme de fouilles préalables à la mise en valeur du site, nous a permis d'accéder à des pilettes conservées sur une hauteur de une à deux briques et possédant toujours leur liant originel (fig.III.16). Cette salle ronde chauffée, qui abritait vraisemblablement des vestiaires, devait posséder un hypocauste de 75 cm de hauteur environ (Guyard et Roquecave 1998), reposant sur un ensemble de pilettes à briques carrées, liées avec de l'argile. Il nous paraît important de pointer cette utilisation d'argile pour cette destination architecturale, car le site des thermes du Vieil-Evreux offre par ailleurs une formidable panoplie de mortiers de chaux, sableux ou à tuileaux, parfois à emploi unique et ponctuel, et aucun autre exemple d'utilisation d'argile crue. De fait, on doit concevoir cet usage pour les pilettes comme répondant à des critères établis et en vigueur de mise en œuvre des hypocaustes⁶.

⁶ Mais est-ce pour cette époque seulement ?, localisée à cette région ou uniquement auprès de l'atelier ?.



Fig.III.16. Sondage dans la salle ronde J' des thermes du Vieil-Evreux. Le mur est récupéré à un niveau plus bas que le sol inférieur de la salle à hypocauste qui a conservé ses pilettes sur deux assises.

Nous avons effectué des prélèvements de joint de pilettes dans les thermes de l'Esplanade à Arles (II^e-III^e s. ap. J.-C.), dans les pièces 3 et 9. Les matériaux sont légèrement différents entre les deux pièces, mais il s'agit chaque fois d'un liant à base d'argile. Ce type de matériau ne se cantonne pas aux pilettes, on retrouve un liant argileux pour la construction des structures de chauffe, que ce soit pour la sole ou pour les parois des *praefurnia* en briques. On est donc tenté de faire un rapprochement entre tous ces éléments architecturaux qui combinent à la fois terres cuites, liant d'argile et exposition à de fortes températures. Le choix des terres cuites architecturales (TCA) pour les foyers n'est pas anodin, les briques ont été employées afin d'assurer la pérennité de la structure de chauffe face aux températures élevées. On entrevoit de suite l'intérêt de l'emploi de l'argile crue qui, par cuisson, se transformera en un liant aux propriétés identiques aux TCA de la maçonnerie, formant ainsi un ouvrage uniforme. Cependant, il y a loin de la théorie à la pratique, et ici en l'occurrence il faut bien noter que l'argile n'est pas cuite. Cela n'enlève en rien à la plausibilité de l'hypothèse ; il semble que l'emploi d'argile, pour des structures en TCA engagées dans la chauffe des pièces du balnéaire (les pilettes rentrent dans cette catégorie), soit préféré à celui de tout autre liant, pour ses capacités de durabilité ou de transformation à la chaleur.

Il s'agit là des seuls exemples d'emploi d'argile pour les pilettes qu'il nous ait été donné de rencontrer. Plusieurs auteurs ont signalé cette pratique ; mais il n'est pas aisé d'obtenir des informations détaillées de l'emploi de toute la gamme de matériaux à l'échelle

du site (ce qui nous permettrait de discuter cette pratique). De plus, cette utilisation étant malheureusement communément admise, on ne peut s'assurer de la véracité des affirmations, le doute quant à une identification hâtive étant toujours de mise. Nous ne présenterons donc que deux exemples : la *villa* de Champion en Belgique (Van Ossel et Defgnée 2001) et un échantillon des réserves du Musée Rolin à Autun en Saône-et-Loire (Frizot 1975).

Parmi les différents états de construction de la partie thermale de la *villa* de Champion, l'état 2, daté semble-t-il de la première moitié du II^e siècle ap. J.C., permet d'étudier deux salles à hypocauste. La salle 12 (Van Ossel et Defgnée 2001, p.82) présente un réseau régulier de 11 x 10 pilettes, indifféremment rondes ou carrées, liées à l'argile. La salle 10 est une grande baignoire chauffée (*solium*) qui repose sur huit rangées de huit pilettes, indifféremment rondes ou carrées, constituées de sept dalles ou disques liés à l'argile et s'appuyant sur une base formée d'une dalle carrée. Comme on peut le voir sur la figure III.17, la dimension des carreaux est imposante en comparaison des joints extrêmement fins. La tenue de l'ouvrage a donc été assurée en premier lieu par l'emploi de larges dalles de terre cuite ; les joints argileux de ces éléments n'endossaient pas la double responsabilité de la stabilité et de la durabilité de la structure ; ils y ont sûrement contribué, mais plus par leur capacité d'absorption des pressions que par leurs propriétés liantes.

Il a été confié à M. Frizot plusieurs échantillons en complément de son étude sur les mortiers des monuments gallo-romains d'Autun. Parmi ce lot se trouvaient des pilettes d'hypocauste à briques rondes. L'échantillon 15 (Frizot 1975, p.217) correspond au jointolement de ces briques. Il s'agit d'une argile (elle contient environ 10 % de carbonates de calcium, peut-être liés à un faible ajout de chaux ?) mêlée à un sable quartzueux très roulé et relativement fin. C'est le seul exemple rencontré par l'auteur d'utilisation architecturale de l'argile pour tout l'ensemble des sites étudiés de la ville antique.

Ces différents travaux attestent de la pratique particulière de liaison des briques des pilettes avec un matériau à base d'argile. Cependant, les études archéologiques nous donnent une vision plus riche des matériaux de jointolement des colonnes de briques. Reprenons l'exemple des thermes de l'Esplanade (Arles), et plus précisément de la pièce 3. Les pilettes conservées sont constituées pour l'essentiel d'un assemblage de TCA liées par une argile jaune. Toutefois, certaines colonnes montrent des portions d'une toute autre nature ; elles sont alors érigées, et c'est assez exceptionnel pour prendre un temps d'arrêt, avec une succession d'assises de carreaux moulés en mortier de tuileau fin, liés par un mortier de tuileau fin de

même composition (fig.III.18). Nous n'avons pas connaissance d'une telle pratique sur d'autres sites, ce qui ne signifie pas, bien évidemment, qu'elle n'a encore jamais été rencontrée. Son utilisation anecdotique sur le site nous ferait pencher pour une hypothèse d'emploi à « valeur d'essai ». L'association des deux techniques simultanément, avec une construction des pilettes seulement partiellement avec ce mortier de tuileau, milite pour une restauration, une consolidation, ou une transformation partielle de la salle, dont le nouveau matériau serait la marque de fabrique.



Fig.III.17. Ecorché dans la salle 10 de la villa de Champion montrant le système d'hypocauste. Les pilettes sont à joints fins, constituées de larges carreaux de terre cuite (*In Van Ossel et Defgnée 2001*).



Fig.III.18. Salle P3 des thermes de l'Esplanade (Arles). On peut observer les deux techniques de construction des pilettes de l'hypocauste, à carreaux de terre cuite jointoyés avec de l'argile (à gauche) et à carreaux en mortier de chaux et de tuileau jointoyés avec ce même mortier à tuileau (à droite).

Le sanctuaire de la Forêterie, à Allonnes (Sarthe), présente un petit édifice supposé thermal (édifice 4), à peu près daté du I^{er} – début II^e siècle ap. J.-C. Les pilettes sont constituées de briques carrées de 25 cm de module. Le prélèvement que nous avons effectué dans les joints (échantillon ALL 65) témoigne de l'emploi d'un mortier de tuileau et de sable, contenant de rares vestiges de paille. Ce type de mélange, si l'on fait abstraction de la paille, est courant en Gaule romaine, retrouvé sur plusieurs sites et pour plusieurs fonctions. Il a surtout été retrouvé sur le site de la Forêterie plusieurs matériaux de composition relativement proche, voire similaire. Ces matériaux sont associés à des canalisations, à un enduit extérieur et à des sols. L'emploi d'argile n'est pas véritablement attesté. L'utilisation de mortier de tuileau s'inscrirait donc dans une pratique locale (au moins localisée sur le sanctuaire) d'un matériau de prédilection « réputé » pour sa durabilité, en défaveur du produit argileux.

Le dernier site nous ayant livré des pilettes d'hypocauste correspond aux thermes de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille (Yonne). De nombreux vestiges d'hypocauste y sont accessibles. Nous avons effectué quatre prélèvements de joints de pilettes :

- ESC 10 : salle FA, pilettes carrées, fin III^e siècle ap. J.-C. (état V phase 2).
- ESC 12 : salle EA, pilettes carrées, fin III^e siècle ap. J.-C. (état V phase 1).
- ESC 32 : salle GB (piscine chaude ou tiède puis *sudatorium*), pilettes de 6 briques carrées, I^{er} siècle ap. J.-C. (état I phase 4).
- ESC 53 : salle EF (piscine chaude ou tiède), pilettes carrées, I^{er} siècle ap. J.-C. (état I phase 3).

Les échantillons du I^{er} siècle, ESC 32 et 53, sont constitués d'un mélange de chaux et de sable siliceux. Les échantillons du III^e siècle, ESC 10 et 12, sont préparés avec un mortier de tuileau et de sable. M. Frizot signale de plus la présence de mortier de tuileau fin pour les pilettes rondes de la salle D (état V : fin III^e siècle ap. J.-C. ; Frizot 1975, p.172). Ces deux types de matériau sont par ailleurs présents sur le site pour les maçonneries. Leur emploi pour les pilettes semble lié à une pratique du moment, avec prédilection des mortiers sableux au début de l'occupation de la partie thermale de la *villa*, et du mortier de tuileau (et de sable) pour la dernière période de transformations.

Nous l'avons signalé, l'emploi d'argile semble répondre à un critère, sans doute fort, d'installation des hypocaustes. Les thermes du Vieil-Evreux constitue le meilleur exemple de

cette utilisation spécifique, puisque sur le site toutes les autres fonctions architecturales ont fait appel à un matériau à base de chaux, donnant une large variété de mortiers parfois très différents les uns des autres. Mais, globalement, cet emploi d'argile n'est pas systématique et le matériau peut évoluer avec les phases de construction. La variété des compositions de joints de pilettes s'explique donc par une acceptation différente suivant les artisans et leur atelier des concepts architecturaux des supports des hypocaustes ; ce qui ferait des pilettes un parfait exemple de licence de pratique de maçonnerie, malgré des préceptes reconnus.

3) Les enduits des salles à hypocauste

Les salles à hypocaustes ont la particularité de posséder un double enduit en élévation, à partir du niveau de la *suspensura*, lorsque la totalité de la paroi est plaquée d'une série de *tubuli* (ou autres terres cuites). Le premier correspond aux couches de préparation entre le mur et les *tubuli*, alors que le deuxième prépare l'application du décor (enduit peint ou placage), ou fait office d'enduit de protection, d'étanchéité.

Il est difficile de se faire une idée exacte des pratiques gallo-romaines de mise en œuvre de cette double cloison sans pouvoir étudier des vestiges montrant la complète épaisseur de cette structure. Seuls les thermes de l'Esplanade (Arles) nous ont offert cette possibilité. L'ensemble le plus complexe provient de la salle 3. On observe, à partir de la paroi (mur nord), la succession suivante :

- Une couche de mortier de tuileau et de sable siliceux, rose (échantillon QDE 21).
- Une couche de torchis jaune (QDE 22), proche du liant des briques de la sole du *praefurnium* contigu.
- La contre-cloison de *tubuli*.
- Une couche de mortier de tuileau et de sable siliceux, rose (QDE 23), de composition identique à la première strate (QDE 21).
- Une dernière couche de béton (relativement fin toutefois) de tuileau et de sable siliceux (QDE 24), de composition identique aux mortiers, plus grossier et moins rose.

Les deux dernières couches ont une épaisseur totale de 9 cm environ. La multiplication des couches ne signifie en aucun cas une série de reprises de l'enduit, puisque l'on retrouve les mêmes matériaux en début et en fin de stratification ; cette structure est donc significative

de la pratique de maçonnerie d'érection d'une double paroi d'hypocauste. Il faut cependant considérer l'autre exemple fournit par le site, à savoir la pièce 9 (le *laconicum*), avec seulement une couche en préparation (QDE 93) et une autre pour le recouvrement des *tubuli* (QDE 94), toutes deux préparées avec le même mortier de tuileau et de sable siliceux, légèrement différent de celui de QDE 21 et 23. Les deux structures font partie de la même phase de construction. Il faut sans doute voir dans l'enchaînement QDE 21 – QDE 24 les exigences de l'édification d'un bassin, la fonction de piscine chauffée étant reconnue pour la pièce 3 (cf. *infra*). Il semble que dans un deuxième temps, lors de l'agrandissement de P.3, l'emploi du torchis soit négligé, puisque l'on observe les empreintes des *tubuli* directement sur le mortier de tuileau (QDE 29) conservé contre la paroi (marquant ainsi le niveau de la *suspensura* qui a disparue ; fig.III.19), de composition identique à QDE 21 et 23.

Au Vieil-Evreux (thermes) et à Escolives-Sainte-Camille (partie thermale de la *villa*), la conservation des parois d'hypocauste nous a permis d'étudier la première couche d'enduit, celle qui est présente en général jusqu'à la base du mur, même sous le niveau de la *suspensura*. C'est une couche unique de mortier de tuileau (sans sable) qui est observée dans la salle G (*frigidarium*) des thermes du Vieil-Evreux. L'enchaînement des salles à hypocauste EA, FA et FB du balnéaire de la *villa* d'Escolives se caractérise par une couche d'enduit en mortier de tuileau et sable siliceux. Cette couche de mortier « hydraulique » est attestée par ailleurs dans la littérature, soit effectivement composée de chaux et de tuileau⁷, soit à pouzzolane naturelle, tel l'exemple célèbre des thermes du Forum à Ostie, illustré par J.-P. Adam (voir fig.III.15) et étudié par M. Frizot (1975, p.251).

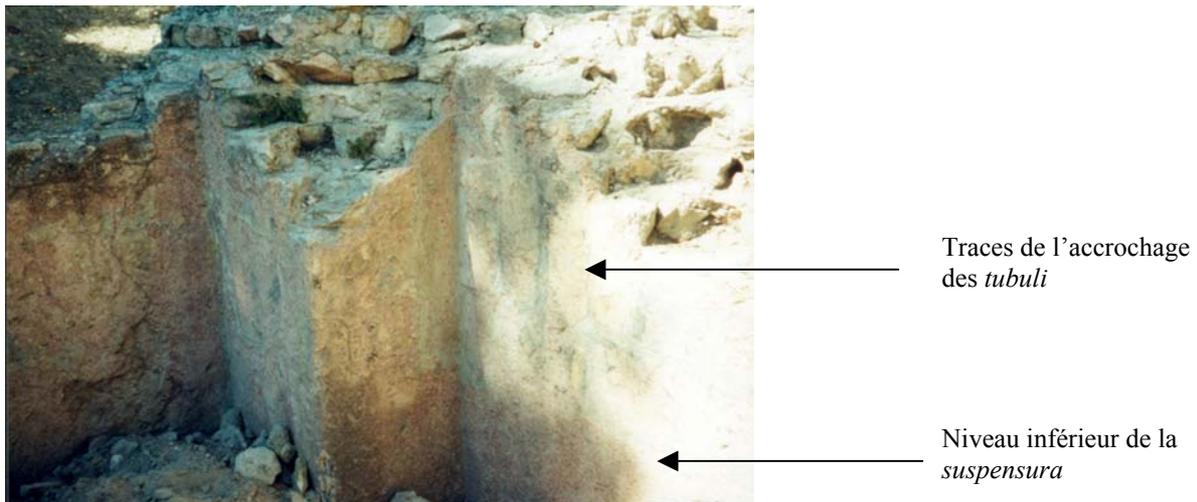


Fig.III.19. Enduit de tuileau appliqué sur les murs de la salle 3 des thermes de l'Esplanade (Arles).

⁷ Pour exemple, dans van Ossel et Defgnée (2001), présence d'un enduit de mortier rose dans les hypocaustes 4 et 8, assurant l'étanchéité des parois « sous la *suspensura* ».

c) Les bains

L'étude des piscines et bassins ne peut se concevoir que dans une approche globale de toutes les unités structurales, puisqu'elles concourent toutes à la réalisation d'un ouvrage nécessairement adapté à sa fonction. La difficulté de la présentation de ces structures vient de l'existence de piscines montées sur hypocauste (chaudes), et d'autres de plein pied (généralement froides).

Le balnéaire de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille, par couplage avec les résultats de M. Frizot, permet d'étudier un nombre relativement important de piscines. La piscine E, chaude dans une première phase puis froide, a subi une série de prélèvements, de ses maçonneries, du bourrelet d'étanchéité en base de mur, complétée par l'enduit et la banquette vus par M. Frizot (fig.III.20). Les murs sont maçonnés avec un mortier de sable et gravillons (celui caractéristique de la phase de construction) ; le bourrelet est composé d'un mortier de tuileau et de sable ; la banquette est plaquée d'un mortier de tuileau, sable et gravillons calcaires ; enfin, le revêtement interne est à mortier de tuileau fin. Le sol de cette piscine, dans son état de bain froid, est dallé de marbre. Du même état (le cinquième), la piscine froide DK est enduite de deux couches de mortier de tuileau, la deuxième étant plus fine, et le sol de la piscine froide DI est préparé avec un mortier de sable siliceux (peut-être lors de la première phase de la pièce, à fonction de salle froide). Le sol de la piscine chaude L est constitué d'un béton de tuileau et de sable siliceux, et l'enduit, sur *tubuli* (Frizot 1975, p.169), est composé de trois couches, un béton de tuileau recouvert de deux couches de mortier de tuileau. Au même endroit, mais au premier état, la piscine chaude LB (Frizot 1975) montre un sol de béton de tuileau et sable ; les parois sont plaquées de marbre, l'enduit sous-jacent est composé d'un mortier de tuileau.



Fig.III.20. Piscine E de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille, avec un bourrelet d'étanchéité au pied du mur. On peut aussi observer le conduit de chaleur du mur sud qui est bouché.

Le tuileau est donc le granulat de prédilection pour ces structures qui doivent nécessairement se révéler étanches. Divers matériaux sont cependant chaque fois observables. Pour exemple la piscine E voit trois matériaux différents pour l'enduit, la banquette et le bourrelet d'étanchéité. Sur les quatre exemples où l'enduit est présent, c'est une ou plusieurs couches de mortier (ou béton) de tuileau, sans sable, qui sont posées, avec toujours une décroissance de la granulométrie de la paroi vers la surface. Pour les sols il y a ajout de sable siliceux. La banquette de la salle E bénéficie en plus d'un apport de gravillons. On ne peut donc que constater, pour toutes les piscines, et peut-être pour tous les états (sachant qu'un seul exemple n'appartient pas à l'état V de construction, III^e s. ap. J.-C.), une pratique exacerbée d'adaptation de la recette à la composante architecturale maçonnée.

Deux autres sites nous permettent d'entamer une série de comparaisons : les thermes de l'Esplanade (Arles) et les thermes du Vieil-Evreux (Eure). Nous avons présenté précédemment l'enduit de la salle P.3 (Arles), qui correspond à une piscine chauffée du II^e s. ap. J.-C. Le mortier des murs de cette salle est un mortier de sable siliceux, caractéristique de la phase de construction. Le matériau présent entre les marches d'accès et le placage de marbre est un béton de tuileau et de sable (échantillon QDE 31), de composition identique à la dernière couche de l'enduit de la pièce (QDE 24). La *suspensura*, le sol de la salle dans son état de piscine chaude, est en mortier de tuileau et à sable siliceux, très proche des mortiers d'enduit de la salle. Le deuxième sol, après transformation de la salle en salle froide, était dallé ; la chape sous-jacente est composée d'un béton de tuileau, enrichi d'un peu de sable siliceux, moins rose que les autres mélanges mais globalement peu différent. La pratique en vigueur sur ce site est donc différente de celle d'Escolives, avec un enduit dont la dernière couche est la plus grossière, aux mortiers de tuileau contenant du sable. Les sols, qu'ils soient suspendus ou non, sont par contre là aussi enrichis de sable, ce qui les rapprochent des sols d'Escolives. Autre similarité, l'emploi d'un type de mortier de maçonnerie ne se distinguant pas des autres murs du site, pour la même phase de construction.

Au Vieil-Evreux, le bassin O2' nous donne un exemple de piscine maçonnée avec un type particulier de mortier de maçonnerie. Celui-ci, TVE-MT4, mélange de chaux et de tuileau, se retrouve pour toute une série de constructions (bassin donc, mais aussi *praefurnium* et hypocauste), aussi bien dans les murs qu'au sol. Il correspond à une phase de transformation des thermes qui se caractérise aussi par un type de mortier sableux dans la lignée des précédents mortiers de construction ; un choix a donc été fait. La marche d'accès à

ce bassin est préparée avec un mortier de tuileau différent, caractéristique des premiers enduits de protection.

Les piscines et bains gallo-romains présentés ne se résument pas à une simple coque, il faut y voir à la fois la « superstructure », le revêtement du sol et celui des parois verticales, les banquettes pour le repos et les marches pour l'accès. Ces pièces sont préparées avec un soin évident, les Anciens multipliant les revêtements de protection, choisissant les matières premières parmi celles réputées pour leurs propriétés d'étanchéité (le tuileau donc), n'hésitant pas à jouer sur l'épaisseur des parois et des enduits pour s'assurer d'une parfaite étanchéité, et donc durabilité. Dans la construction de ces ouvrages, reflets de leur époque et du goût de leurs commanditaires, marques d'une certaine idée du luxe à la romaine, diverses techniques ont été appliquées, avec une variété de matériaux parfois superfétatoire, associant une nouvelle composition à chaque changement de fonction du liant architectural, symbolisant ainsi, de toutes évidences, la complète maîtrise du maçon face à l'ensemble des contingences du métier et des travaux à réaliser.

III.1.3. Les canalisations

Diverses techniques ont été mises en œuvre pour l'acheminement des eaux, suivant les régions, le statut des édifices et les nécessités d'une adduction ou d'une évacuation d'eau. Toutes ne font pas appel à des structures maçonnées ; au contraire, il est fréquemment signalé l'emploi de canalisations en bois, de tubes de céramique, à tuyaux de plomb, ou sur pierres de grand appareil. La maçonnerie concrète n'en est pas moins largement représentée, que ce soit pour les petites canalisations ou pour les aqueducs, ces grands ouvrages linéaires marquant encore certains de nos paysages.

La pratique de maçonnerie concrète de ces ouvrages de petite ou grande hydraulique n'est pas détaillée par Vitruve, si ce n'est qu'il évoque la nécessité d'un couvrement pour les aqueducs (*De Architectura*, VIII, 6). Anderson (1997) et Blanc (1983) rappellent l'existence sous l'Empire d'architectes (ou de *redemptores*) consacrés à la construction et à la maintenance de structures hydrauliques. Leur intervention spécialisée marque la particularité de tels ouvrages ; le débit, bien qu'étant le critère dominant, n'est pas la seule contrainte des constructeurs, la durabilité de la structure est toute aussi primordiale. L'étude des choix techniques de préparation du conduit (sa superstructure et son canal), suivant l'ampleur de la

construction (et donc du débit), pourrait être un bon révélateur des connaissances antiques de la meilleure pratique à associer à des nécessités d'étanchéité et de durabilité.

a) Les canalisations et les égouts

Nous regroupons sous ces termes les systèmes d'évacuation d'eau, associés au fonctionnement des édifices thermaux, ou mis en place pour permettre une bonne circulation et évacuation de l'eau de pluie. De tels systèmes ont été exhumés sur trois de nos sites : les thermes de l'Esplanade (Arles, Bouches-du-Rhône), les thermes du Vieil-Evreux (Eure) et le sanctuaire de la Forêterie (Allonnes, Sarthe).

Trois canalisations sont visibles dans les thermes de l'Esplanade. Elles ne datent probablement pas de la même phase de construction, le canal 167 étant maçonné avec un type de mortier sableux attribuable à une époque antérieure. Mais elles sont toutes trois préparées avec la même technique, à savoir une élévation des piédroits en mur de petit appareil au blocage et aux moellons liés au mortier de chaux et de sable siliceux, un sol de mortier de chaux et de sable plus grossier (supportant un dallage de pierres), et des bourrelets d'étanchéité en quart de rond de même composition que le sol et recouvrant des fragments (les rebords) de *tegulae* (au moins pour la canalisation 170). Il n'y a aucunement utilisation de tuileau ou de pouzzolane naturelle. La largeur interne de leur canal est d'environ 30 à 40 cm.

Les thermes du Vieil-Evreux offre un double réseau d'égout magnifiquement conservé, supérieur et inférieur, daté du II^e s. ap. J.-C. Les maçonneries en petit appareil sont montées avec le mortier sableux caractéristique de la phase de construction. Les parois sont toutes enduites de une à trois couches de mortiers de tuileau sans sable, à granulométrie croissante de la paroi vers la surface, sur toute la hauteur de l'élévation. La largeur de l'égout supérieur est de 58-60 cm, celle de l'égout inférieur dépasse le mètre par endroits.

Deux ensembles de canalisations, datés du milieu du II^e s. ap. J.-C., se développent dans le sanctuaire de la Forêterie, l'un autour du podium du temple monumental, l'autre le long du portique sud, avec en ramification deux branches s'éloignant vers une série de cinq grands puisards. Le système encadrant le podium sur trois côtés est un caniveau en grand appareil qui repose sur une fondation maçonnée large de 1,50 m (Gruel et Brouquier-Reddé 2001). Le matériau de la fondation est un mortier de chaux et sable siliceux, caractéristique de la phase de construction contemporaine. Il n'y a pas de recouvrement de mortier de tuileau. La canalisation qui coure le long du flanc sud du quadriportique (us 666) est constituée d'un

mortier de tuileau et de sable siliceux (type ALL-MTS1) qui repose sur un mortier de sable siliceux (typique de la phase de construction) et sur un radier de pierres (Gruel et Brouquier-Reddé 2000). Les parements latéraux devaient posséder une hauteur de trois assises de briques. Les deux canalisations greffées à cette première partent de l'exèdre A. Elles sont maçonnées avec des parois et un fond en briques liées avec un béton de tuileau et de sable siliceux (ALL-BTS1, version grossière de MTS1), et couvertes de tuiles.

Ces différents exemples présentent des structures hydrauliques de dimensions parfois peu comparables. Leur architecture semble dépendre d'un ensemble de critères qui comprend notamment le débit des circulations d'eau, la monumentalité de l'édifice et l'intégration dans le programme architectural. Ainsi, au Vieil-Evreux, un effort de mise en œuvre du système d'évacuation, intégré au programme architectural d'origine, explique l'élévation des structures, qui ont bénéficié d'un enduit épais. Les canalisations visibles dans les thermes de l'Esplanade sont de petits canaux, sans élévation notable, au débit sans doute limité, et non connectés de façon directe avec les bains. Au sanctuaire d'Allonnes, la monumentalité du temple est respectée jusque dans le système d'évacuation d'eau, alors que sur le pourtour du quadriportique et pour la ramification sud c'est une technique tournée vers les matériaux hydrauliques qui est préférée. Il ne semble donc pas y avoir de réelle spécialisation d'une technique d'édification de structures hydrauliques, mais une pluralité de techniques adaptées au bâtiment et à ses besoins.

b) Les aqueducs

Nous sommes intervenus lors d'une fouille de sauvetage de la rigole de Rungis (Val-de-Marne). Cette étude nous a amené à nous intéresser de plus près à la question de ces ouvrages de grande hydraulique. Il ne s'agit pas, de loin, d'effectuer une étude exhaustive de ce genre de monument, mais de montrer par quelques comparaisons quelles solutions techniques ont été adoptées, et dans quelle mesure.

Notre référence est donc la rigole de Rungis. L'étude de cet ouvrage est développée dans le chapitre II (« corpus »). Ce conduit pourrait dater du II^e s. ap. J.-C. Il s'agit d'un massif d'*opus caementicium* en U, à cailloutis calcaire, sans parement, à couverture de dalles de pierre, au canal large de 40 cm environ. Le revêtement interne du canal est fin (de 1,5 à 4 mm d'épaisseur), en mortier de tuileau (sans ajout de sable), présent sur toute l'élévation des piédroits mais pas sur le fond. Cette architecture est particulièrement simple. Elle se retrouve

pour d'autres édifices de Gaule, notamment l'aqueduc du II^e s. alimentant Lillebonne, *Juliobona* (Follain 1998). Cette architecture peut aller en se compliquant. On peut tout d'abord observer la présence du matériau hydraulique (mortier ou béton de tuileau) au niveau du sol et en base des piédroits (bourrelets ou solins en pan coupé à 45°, tel les deux aqueducs turcs présentés dans Burdy 2002). L'élévation de la canalisation (enterrée ou non) peut être de bonne facture, avec des murs parementés des deux côtés, la couverture du conduit étant généralement assurée par une voûte à claveaux de pierre liés au mortier de chaux. Le canal est alors soit créé de toutes pièces par la mise en place d'un radier en U, en béton de cailloux, recouvert par la suite d'un enduit de tuileau, tel le fameux exemple de l'aqueduc de Traslav alimentant Bourges (Adam 1995 ; largeur du canal réduite à 35 cm), soit l'écoulement emprunte l'intégralité du conduit. Le mortier de tuileau peut être mis à contribution pour le radier du sol, ou pour le jointoiment des parements internes, telles les quatre assises de l'aqueduc d'Arcier (alimentant Besançon dès le I^{er} s. ap. J.-C.) faisant la jonction entre la limite supérieure de l'enduit et le début de la voûte (Barçon et Jaccottey 1999).

Une certaine analogie peut être faite entre tous ces édifices et les canalisations présentées précédemment. Les maçonneries latérales semblent secondaires dans ce type d'ouvrage, aucun soin particulier ne leur étant appliqué ; il n'est d'ailleurs pas rare de voir l'application de l'enduit directement sur la roche dans laquelle est creusé le conduit. Le sol du canal paraît un peu plus considéré, mais il n'est pas toujours composé d'un radier de béton ou mortier de tuileau. C'est l'enduit qui joue le rôle le plus important, puisqu'il est présent systématiquement, parfois sur toute la hauteur, parfois en continu d'une paroi à l'autre lorsque par la même occasion il tapisse le fond. Cet enduit est généralement composé d'une couche de mortier de tuileau ; mais des exceptions existent. Un très bon exemple nous est donné par R. Malinowski, par son étude d'un aqueduc malheureusement hors de Gaule, celui de Caesarea, en Israël. Cet ouvrage présente la particularité de posséder un enduit composé de six couches, de plus en plus fines vers la surface. La première (en partant de la paroi) est en mortier gris de sable et charbons de bois ; la suivante est en mortier blanc de marbre broyé et de sable ; la troisième est en mortier rouge de tuileau, marbre broyé et sable ; les trois suivantes reprennent le même enchaînement, avec des épaisseurs diminuées. L'épaisseur totale de l'enduit est d'environ 30 mm. Le radier du sol est quant à lui un simple béton de tuileau (Malinowski 1979). Le soin et l'éclectisme dans le choix des matières premières et des recettes de l'enduit sont peut-être caractéristiques de la région, il nous est impossible de statuer, mais ils montrent néanmoins toute la minutie des artisans et la volonté de donner aux parois une étanchéité

inégalable, toutes les matières premières étant plus ou moins réputées et appréciées pour les matériaux devant être compactés et/ou permettre une parfaite imperméabilité ; cependant, rappelons ici que l'emploi du charbon est recommandé par Vitruve plutôt pour assécher que pour imperméabiliser (*De Architectura*, VII, 4).

Si la durabilité et la fonctionnalité de l'ouvrage sont assurées en premier lieu par la présence d'un enduit protecteur, se pose alors le problème de l'absence de matériau « hydrofuge » sur certains fonds de canaux et, par extension, de sa très faible épaisseur sur certaines parois. Ces deux traits architecturaux se retrouvent dans la rigole de Rungis ; mais cela ne semble pas avoir créé de gêne, puisque le canal est parfaitement conservé. Il faut souligner la présence de concrétions carbonatées venant recouvrir les parois. Ceci n'est pas anodin : les conduits d'aqueduc en sont généralement tapissés. Ce phénomène connu des Anciens devait être pris en compte lors de la construction des ouvrages ; il n'y a qu'un pas pour considérer que la formation des concrétions carbonatées devait être non seulement prévue par les maçons, mais aussi souhaitée dans certains cas : ceux où l'enduit était réduit à son maximum, prévu intuitivement pour résister le temps que la coque de concrétions se forme, augmentant par la même l'étanchéité de la structure, et permettant d'appliquer une politique d'économie de matières premières.

III.1.4. Les enduits de protection

Une distinction a été arbitrairement effectuée entre les enduits de protection des hypocaustes, des piscines, des canalisations et les autres fonctions et structures archéologiques, soit les salles en général et les enduits extérieurs. Parmi ces salles on retrouve les salles « humides », celles des parties thermales. La salle P.4 des thermes de l'Esplanade (Arles), à la fois salle froide et vestibule, montre plusieurs états de recouvrement en support des placages de marbre blanc. Le premier enduit est une double couche de mortier de tuileau et sable siliceux, recouvert d'une couche de béton blanc de tuileau (légèrement enrichi en sable siliceux). Cette stratigraphie rappelle celle de la salle adjacente, la piscine chaude P.3, le torchis et les *tubuli* exceptés. Dans un deuxième temps c'est un béton de tuileau et de sable qui a été posé, rose celui-ci car plus riche en poussière de tuileau. Ceci est la version « intérieure » de la protection du mur. La version « extérieure » est toute autre : du côté extérieur, le mur est enduit d'un mortier de chaux et sable siliceux, de même recette que le mortier de maçonnerie contemporain. Un autre enduit extérieur a été échantillonné sur le mur

de péribole nord du quadriportique du sanctuaire de la Forêterie (Allonnes, Sarthe). A l'inverse du précédent celui-ci est peint en rouge et composé d'un mélange chaux, tuileau et sable siliceux (type ALL-MTS2)... mais les climats ne sont pas les mêmes entre la Sarthe et les Bouches-du-Rhône ; peut-être faut-il en voir ici la conséquence.

Peu de résultats ressortent pour les enduits intérieurs des salles « sèches », ceux qui ne sont pas assurés d'être des supports de peintures murales. Il s'agirait chaque fois de mortiers de chaux et de sable, comme dans le cryptoportique d'Arles, dans le couloir EG de la partie thermale de la *villa* d'Escolives et sur le mur de péribole du portique nord-est de thermes du Vieil-Evreux ; mais l'absence de surface lissée milite pour une stratigraphie incomplète.

III.1.5. Les enduits peints

La vision d'aujourd'hui des vestiges antiques occulte un point fondamental du bâti romain : la coloration des parois. Celle-ci est pourtant récurrente à travers les âges, les monuments médiévaux bénéficiant eux aussi d'un embellissement par la couleur. Les murs gallo-romains possédaient donc un revêtement pour ainsi dire de rigueur, avec des variations dans l'éclat et la finesse du décor témoignant du goût des commanditaires, de leur richesse et de l'ostentation de la pièce ou du bâtiment.

Les codes romains de préparation des parois avant peinture sont d'autant plus connus qu'ils sont systématiquement discutés et controversés ; la préparation du support telle que la conseille Vitruve nécessite l'application d'au moins sept couches de granulométrie décroissante du revers à l'avant, la première étant la plus grossière, les trois suivantes étant chargées de sable, les trois dernières de marbre broyé. C'est donc le nombre de couches et la présence ou non de marbre qui apparaissent comme les traits les plus directs d'une romanisation. Pourtant, de nombreuses études de peintures en provenance de la péninsule italique nous montrent indirectement que de telles prescriptions n'étaient que rarement suivies, voire considérées (cf. prochain chapitre).

L'étude générale des enduits peints passe par une confrontation de tous les supports (assemblages stratigraphiques) dans un cadre qui doit rester « fonctionnel » et chronologique. Trop souvent la position initiale de la peinture est occultée. Cette attitude résulte du fait que les enduits sont régulièrement retrouvés en position secondaire, fragmentés, plus souvent en remblais qu'au pied des parois d'origine dans des couches de démolition. De fait, si une

datation est possible dans ces circonstances, elle sera plus stylistique que contextuelle. Malheureusement, tous les ensembles ne sont pas formellement datables.

La nécessité d'établir un cadre « fonctionnel » pour les enduits peints pourrait surprendre. Il ne s'agit pas, en effet, de déterminer quel fut le but avoué de l'enduit, la décoration couplée à la protection de la paroi étant chaque fois la réponse. Toutefois, une certaine hiérarchisation des décors peut se faire en fonction de (1) des conditions environnementales et (2) du luxe de la composition picturale et/ou du statut de la pièce ou du bâtiment. Il faut aussi pouvoir considérer de quelle partie de la paroi ou de la pièce provient le décor, la technique pouvant éventuellement varier entre une zone basse et une zone haute, entre le mur et le plafond. Toutes ces questions seront abordées lors de l'analyse des techniques de préparation des parois.

a) La peinture de la péninsule italique : un bref aperçu

Nous n'avons, bien évidemment, aucune prétention à l'exhaustivité. Le sujet est assez vaste en soi pour ne pas vouloir le résumer à quelques lignes. Il s'agit seulement de signaler, par quelques exemples, quelles pratiques pouvaient se rencontrer aux époques républicaine et impériale aux « environs » de Rome, dans les régions considérées par Vitruve pour la rédaction de ses dix livres.

Pompéi tout d'abord, une référence pour de nombreux domaines. M. Frizot est intervenu sur plusieurs bâtiments pour établir quelles matières premières composaient les différentes couches de support. Il ressort de son travail (Adam et Frizot 1983) une utilisation courante du « marbre broyé » (à prendre au sens large) pour la charge de la couche d'épiderme. Viennent ensuite une à trois couches de mortier de chaux et de sable volcanique. Les seules exceptions rencontrées par l'auteur concernent :

- Un enduit extérieur, sans couche (a), avec (b) à tuileau et (c) à sable volcanique.
- Un enduit de piscine froide dans la maison du Centenaire, sans (a), à (b) et (c) à sable volcanique et (d) à tuileau. L'enduit peint de la pièce est à (a) chargée de marbre, (b) à sable volcanique et (c) à sable volcanique légèrement enrichi de tuileau.
- Un enduit de colonne de quartiers de tuf, à (a) chargée de marbre, (b) à tuileau et (c) à sable volcanique. Il se distingue de l'enduit de mur du bâtiment par cette couche (b) à tuileau.

- Un enduit en « chaperon » de mur de la tombe 20 sud, à quatre couches, sans (a), à (b) et (d) chargés de sable volcanique, tandis que (c) et (e) contiennent du tuileau, plus fin pour (e).

La technique répandue de préparation du support des peintures correspond donc à l'application d'une couche d'épiderme à marbre broyé, succédant à la mise en œuvre d'une ou plusieurs couches de mortiers de chaux et de sable. Seules des utilisations en contexte extérieur ou humide semblent appeler d'autres modes de préparation du support, avec l'emploi caractéristique du tuileau.

Il a été confié au même auteur plusieurs échantillons en provenance de Bolsena (Barbet 1985), certains du I^{er} s. ap. J.-C., d'autres du II^e. La technique varie peu entre ces deux époques. La plupart des supports sont à couche d'épiderme de chaux et de marbre, succédant toujours à deux couches : soit deux de chaux et de sable volcanique (grains fins ou fragments roulés de pierre ponce), soit une de chaux et de sable en (b) et une autre terreuse en (c). Il a été noté un petit apport de tuileau pour la couche d'épiderme d'un échantillon de plinthe (partie basse). Un autre lot d'échantillons de ce site possède une couche d'épiderme sans marbre, avec un sable volcanique blanc ; on retrouve aussi dans ce cas deux couches de mortier de chaux et sable volcanique en début de stratigraphie. Parmi eux, se singularise un échantillon de plafond par la présence dans l'épiderme de fragments anguleux de sable volcanique, sans doute broyés ; les couches suivantes paraissent de plus enrichies en ponce aux dépens du sable fin.

La technique superposant une couche de chaux et marbre et une ou plusieurs couches de chaux et sable volcanique se retrouve évidemment dans Rome même. Nous pouvons citer deux études très complètes (informations archéologiques et descriptions fournies) :

- La première, le « Studiolo » dans la maison d'Auguste sur le Palatin, époque augustéenne (Musatti 2000). Le support est constitué de trois couches. La couche (a) est à marbre broyé, les deux autres (b) et (c) sont en mortier de sable et de pouzzolane.
- La deuxième, les fouilles sous le palais Altemps sur le Champ de Mars (De Angelis d'Ossat 2000). Le décor date de la fin du I^{er} s. ap. J.-C. ou du tout début du II^e siècle. C'est un support en deux couches. L'épiderme est un mélange chaux et marbre, la couche de préparation correspond à un mortier de chaux et pouzzolane.

Les deux agrégats de prédilection, pour ces régions, seraient donc le « marbre » et le « sable volcanique ». Toute la péninsule n'est pas caractérisée par un environnement riche en formations volcano-clastiques* ou volcano-sédimentaires. Une étude sur les peintures d'un

sanctuaire du I^{er} s. av. J.-C. (avant la période impériale) de Brescia (Le Capitole) permet d'effectuer une première comparaison (Bugini & Folli 1996). Le support est constitué de deux couches. La couche (a) est un mélange de chaux et de diverses roches carbonatées broyées, dans une proportion chaux/granulat de 1 pour 3. La couche (b) est moins riche en granulat (proportion 1 pour 1 ou 1 pour 2), avec un sable mélangeant grains et roches silicatés et fragments de roches carbonatées. Quelques fragments de tuileau sont aussi présents. Les auteurs ont comparé leurs résultats avec plusieurs sites de Brescia, Sirmione et Milan, datés du I^{er} s. av. J.-C. au I^{er} s. ap. Ils ont pu montrer (1) que le choix du sable de la couche d'épiderme est imposé par la géologie locale (marbre et dolomie broyés pour Brescia, marbre et différents calcaires pour Sirmione, quartz pour Milan) et que (2) la couche de préparation (apparemment toujours unique ?) ne contient jamais de pouzzolane, mais un mélange de quartz, fragments de calcaires et de roches siliceuses.

En résumé, on perçoit bien l'éloignement entre ce qui est observé sur les sites antiques de la péninsule et, d'une part, les codes de Vitruve et de Pline (qui lui ne conseillait plus que cinq couches au I^{er} s. ap. J.-C.) et, d'autre part, l'idée fautive d'une utilisation exclusive de pouzzolane, ou tout autre sable volcanique, pour les couches de préparation, et de marbre broyé pour la couche d'épiderme.

b) Les enduits peints gallo-romains

La structure du support d'un enduit peint est par essence complexe car constituée d'un assemblage stratifié de plusieurs matériaux. L'étude de ces supports à l'échelle de la Gaule ne s'est donc pas portée sur une simple comparaison des différentes stratifications définies lors des études du « corpus », elle a porté sur tous les traits techniques à l'origine de l'individualisation des assemblages. Ce sont ces traits que nous allons à présent aborder.

1) Décor unique, support unique ?

C'est un problème épineux bien connu de ceux qui travaillent sur le support des peintures murales : pour un même décor, pour une même paroi, est-il possible d'observer plusieurs assemblages stratigraphiques ? La réponse est affirmative. Il suffit de se remémorer l'étude du mur nord de la pièce U de la *domus* Place Formigé (Fréjus). Sur ce mur le support

présente plusieurs variations qui sont liées non seulement à des nécessités de réfection mais aussi à des pratiques de préparation de la paroi (voir la figure D2).

Les réfections, lorsqu'elles sont localisées, vont modifier la stratigraphie du support d'une partie du décor. Si le contact entre ces nouvelles couches et les anciennes n'est pas insolite en regard du parallélisme attendu entre les limites de couches, il sera difficile, sans multiplication des échantillons ou fragments de grandes dimensions, d'identifier la réfection comme telle. La variation de stratigraphie repérée à Fréjus dans le support d'origine est assez caractéristique, les changements se produisant dans la verticalité. Pour une même paroi, une diversification de la stratigraphie pourra apparaître dans la continuité « zone basse » - « zone haute ». Cette observation a été faite pour le support de la pièce U, passant de trois couches, en partie supérieure, à quatre en partie inférieure, avec pour la zone de transition une portion à cinq couches, les couches (a) et (c) étant alors de même composition. Le support est finalement le plus épais en zone basse.

L'épaisseur plus importante de la zone basse s'explique par l'exigence d'un maintien de l'enduit malgré toutes les pressions verticales qu'il initie sur lui-même par sa propre masse⁸. Par analogie, cela explique la finesse relative des zones hautes. On devine de suite les problèmes que créerait une inversion de ce rapport, avec un épaissement de la partie haute. La partie basse est aussi celle soumise aux contacts des personnes, de leur circulation. Elle est donc susceptible d'être plus particulièrement endommagée, ce qui expliquerait une application plus importante de matériau et la présence de réfections, pour la pièce U de la *domus* de Fréjus, restreintes en zone inférieure.

L'application de couches supplémentaires en partie basse, ou d'assemblages stratigraphiques différents entre la base et le reste de la paroi, peut être le reflet d'une précaution pour assurer la pérennité de l'enduit face aux intempéries et aux remontées capillaires de l'humidité dans la partie basse du mur. Ce fait a été signalé notamment pour la plinthe du décor de la galerie nord du temple de Genainville et pour Pompéi, en particulier pour les enduits extérieurs (Barbet et Allag 1972 et cf. *supra*), marquée par l'emploi d'une couche de mortier de tuileau cantonnée à la zone basse.

Nous sommes donc susceptibles de mettre en évidence à chaque étude l'emploi de plusieurs supports pour la préparation d'une seule paroi, d'un même décor. Seulement, si cela reste probable, il n'en reste pas moins que nous n'avons jamais mis en évidence de telles

⁸ Le tassement naturel du matériau encore fluide peut partiellement expliquer la plus grande épaisseur des couches dans la partie basse de la paroi.

pratiques, sauf pour Fréjus. Plusieurs raisons à cela peuvent être avancées ; soit que les différents cortèges d'échantillons ne nous permettaient pas de repérer une telle pratique ; soit que cette pratique est peu fréquente. Les études de fragments mélangés provenant de plusieurs ensembles picturaux n'offrent pas de bonnes conditions pour cette détermination. Les ensembles en cours de reconstitution permettent au contraire d'observer tous les revers, sur des fragments souvent parfaitement repositionnables dans le schéma décoratif, et donc sur la paroi. Pour ces enduits peints (Vichten, Rouen, Périgieux, Jerash), les observations n'ont montré aucune variation du support.

2) Le tuileau, pour quelles couches, pour quels supports ?

Nous venons de signaler l'emploi de couches de mortier de tuileau dans les enduits afin d'améliorer leur résistance aux intempéries et circulations d'eau. Cette utilisation correspond parfaitement à ce que l'on pourrait attendre comme solution face à ces problèmes de durabilité aux conditions humides. Il faut toutefois se garder de résumer l'utilisation du mortier de tuileau à cette simple fonction, en ne considérant de plus que sa présence, sans regarder quels supports et quelles strates sont concernées.

En préambule, nous pouvons signaler que sur les quarante-neuf assemblages stratigraphiques mis en évidence pour notre corpus (Jerash non compté), dix-neuf possèdent au moins une couche contenant du tuileau (cinq seulement sont constitués uniquement de couches de mortier de chaux contenant une part ou totalité de tuileau). Le tuileau se retrouve aussi bien dans les couches de finition que dans celles de préparation (fig.III.21) : parmi les dix-neuf supports, onze (soit 58 %) ont une dernière couche à tuileau, en épiderme ou en couche (b) recouverte de peinture, et treize (soit 68 %) ont, pour première couche posée, un mortier ou un béton contenant du tuileau.

Si l'on reconsidère les résultats de M. Frizot concernant l'utilisation de ces matériaux en support de peinture, on remarque que plusieurs de ses regroupements peuvent porter à confusion. L'auteur signale diverses fois la présence de tuileau dans des supports d'enduits peints. Toutefois, s'il ramène ces différents exemples au groupe des décors, la lecture de son texte permet d'affirmer que l'essentiel de ces références ne correspond pas à des peintures murales. Les mortiers de tuileau peints directement, sans couche d'épiderme, repérés à Autun, Malain et au *fanum* de Crain, sont des éléments de toiture. Le seul exemple avéré et en place d'enduit peint à couche de mortier de tuileau que présente Frizot provient de l'hypocauste KS

de la villa d'Escolives-Sainte-Camille (Frizot 1975, p.167), rattaché au V^e état de construction daté du III^e s. ap. J.-C. Il est composé de deux couches, avec (b) constituée d'un mélange chaux et sable siliceux et (a) d'un mélange chaux et tuileau fin. Les autres peintures du site étudiées par l'auteur sont préparées exclusivement avec des couches de mortier de chaux et de sable.

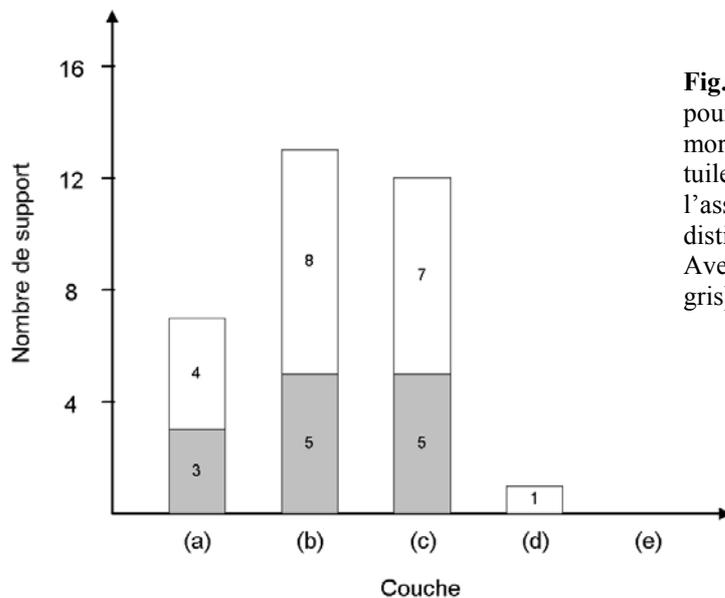


Fig.III.21. Nombre d'occurrences, pour notre corpus (chap. II), de mortiers ou bétons contenant du tuileau, suivant leur position dans l'assemblage stratigraphique (une distinction est faite entre le site de Roz Avel, en blanc, et le reste du corpus en gris).

L'utilisation de mortier de tuileau fin en couche d'épiderme ne nous est pas inconnu. Nous avons retrouvé cette pratique dans le lot important de fragments de peintures de Roz Avel (Finistère), correspondant à plusieurs décors. Cet ensemble permet d'observer la plus grande diversité de mortiers contenant du tuileau et d'assemblages stratigraphiques à couches de mortier ou béton à base de tuileau. Comme on l'a vu (cf. chap. II.1/A), peu de cohérences apparaissent dans la technique de préparation du support. Concernant l'emploi du tuileau, un certain nombre de remarques peuvent être effectuées :

- Lorsque la couche d'épiderme est absente, la couche picturale repose toujours sur une couche (b) en mortier ou béton à base de tuileau. La couleur appliquée est rouge, parfois sur une sous-couche noire. M. Frizot indiquait une coloration spécifique pour ce type d'application directe des pigments sur couche à tuileau : les seules couleurs repérées étaient le rouge ou le blanc, (Frizot 1975, p.295). A. Barbet ajoute aussi le noir (Barbet et Allag 1972).

- Plusieurs stratigraphies se terminent par un béton à base de tuileau. Aucune ne possède de couche d'épiderme. Ce cas paraît donc favorable à l'absence de la couche (a). Le béton repose alors, invariablement, sur un matériau plus fin (mortier) contenant du tuileau. Ce type de support rappelle celui de l'enduit sur *tubuli* de la piscine 3 des thermes de l'Esplanade (Arles, II^e s. ap. J.-C.).
- Les couches à tuileau peuvent se présenter dans n'importe quelle strate, en début, en position intermédiaire, en fin, voire même pour la couche d'épiderme. Elles sont parfois les seules employées, mais l'essentiel des supports de Roz Avel contenant du tuileau possèdent plusieurs couches de matériaux hydrauliques. Le support montre tout de même, le plus souvent, au minimum une couche de chaux et de sable.
- Certains types de mortier (en particulier ROZ-MTS2) se démarquent par leur tendance à se présenter dans des configurations diverses (couches (a), (b) ou (c) suivant les supports). Nous avons retrouvé cette dissémination des couches à tuileau, dans une série d'assemblages stratigraphiques, pour les échantillons de Corseul, comprenant les deux sites « Monterfil II » et « Champ Mulon ». Les décors des deux sites peuvent notamment être reliés grâce à deux supports, B et D, identiques à une variante près : sur les trois couches des assemblages, la seule de tuileau et de sable est positionnée en (b) pour Monterfil II et en (c) pour Champ Mulon.

Le lot d'échantillons de Roz Avel provient de remblais d'un mur de fermeture de thermes. Bien que l'on ne puisse pas affirmer que ces échantillons témoignent de la décoration de ce bâtiment, la multiplication des supports à couches hydrauliques renforce cette hypothèse. Dans cette optique il est impossible, en retour, de déterminer quels échantillons pourraient correspondre à des décors extérieurs. Cette question est pourtant d'importance. Nous avons vu que l'emploi du mortier de tuileau dans les enduits peints extérieurs était apprécié pour Pompéi, et cela malgré la richesse en pouzzolane des alentours. Cette technique a été observée par Y. Dubois pour la *villa* d'Orbe-Boscéaz (Plateau suisse), aux bâtiments ayant fonctionné du milieu du II^e s. ap. J.-C. à la fin du III^e siècle (Dubois 1996). Les murs de façade sont revêtus d'une peinture rouge rehaussée de différents motifs linéaires. Ce décor est porté par un enduit de trois couches de mortiers de tuileau (sans sable). Les deux premières sont de mêmes composition et épaisseur, riches en chaux, à tuileau très fin. La troisième, recevant la peinture, est plus épaisse et plus grossière (éléments de tuileau millimétriques). Pour comparaison, les enduits des pièces intérieures comportent entre cinq et

sept couches, avec une couche (c) en mortier de tuileau et, pour 25 % des parois, une couche (d) à gros fragments de céramiques (et non des fragments de terres cuites architecturales), que l'on peut supposer plus présents pour faciliter l'accrochage que pour des nécessités de bonne étanchéité (voir pour d'autres exemples Barbet et Allag 1972 et Adam 1995).

Cette pratique d'application de trois couches successives à tuileau se retrouve en partie à la *domus* des Bouquets (Périgueux). Le bassin d'agrément au centre du jardin a vu ses parois extérieures enduites de trois couches de mortier de tuileau et de sable siliceux. Les trois mortiers diffèrent peu les uns des autres ; nous avons interprété cet enduit comme l'application en plusieurs fois d'un même matériau. Le point le plus intéressant vient donc de la position de cet enduit, qui n'est pas à l'intérieur du bassin, mais bien à l'extérieur⁹.

Un autre exemple que nous pouvons évoquer de l'utilisation de mortier de tuileau dans un support de peinture nous vient de l'étude de la voûte de la *domus* de la station Métrobus, à Rouen. C'est un cas particulier : un décor de plafond pour une voûte à structure complexe (voûte à armature de *tubuli*). La tenue de l'armature est assurée par l'association d'au moins deux matériaux. Le premier, côté externe, est un mortier de tuileau ; le deuxième, vers l'intérieur, est un mortier sableux. Ensuite apparaît le support au sens strict de la peinture. Il est composé de trois couches. Un mortier de tuileau garantit l'accrochage de deux mortiers de chaux et de sable siliceux. Deux hypothèses sont à envisager pour l'emploi du tuileau dans cette couche. La première pose cet emploi comme le souhait des artisans d'assurer au mieux l'étanchéité et la durabilité de la voûte, considérant ainsi les propriétés pouzzolaniques du tuileau. Il faut examiner une autre hypothèse, la volonté d'alléger la structure. Ce problème est à l'origine du choix des *tubuli* (terres cuites creuses) par les maçons. L'emploi de terre cuite architecturale broyée, ces éléments avec une densité perçue comme plus faible, peut être intervenu afin de remplacer le sable naturel siliceux ou calcaire de nos régions chaque fois que la pierre ponce venait à manquer.

A l'image de toutes les autres fonctions architecturales, le tuileau est mis à contribution dès lors que l'on suppose nécessaire une amélioration de la durabilité et l'étanchéité du matériau. Il n'est donc pas étonnant de rencontrer des supports possédant tout ou partie de leur stratigraphie à mortier et béton hydraulique dans les thermes ou en extérieur. Il semble toutefois que la position des couches à terre cuite pilée ne soit pas si aléatoire que l'exemple de Roz Avel nous laisserait croire. La couche d'épiderme, bien que rencontrée plusieurs fois chargée de tuileau, sera préférentiellement en mortier de chaux et de sable ou de

⁹ Evidemment la fonction de la structure peut partiellement expliquer la composition de l'enduit.

chaux et de marbre pour les compositions de qualité. Les grandes compositions rouges ou unies autoriseront en revanche l'application de cette couche à tuileau pour l'épiderme, sans doute plus utile à cette position. Dans certains cas la couche d'épiderme ne sera même pas posée, la peinture sera directement appliquée sur les couches hydrauliques de préparation.

3) La couche d'épiderme (a)

La couche d'épiderme n'est pas toujours présente, il arrive que la peinture soit directement appliquée sur la dernière couche de préparation, sans souci particulier de créer un fin lit de pose susceptible d'accueillir encore frais les pigments du décor et participer ainsi à un parfait lissage de la surface, traitement plus difficile avec une couche épaisse, de surcroît si elle est plus grossière. La couche d'épiderme se caractérise effectivement par deux particularités : elle est généralement peu épaisse, et elle est chargée de granulat peu abondant et de plus grande finesse que le reste du support.

Nous avons déjà signalé un cas précis d'omission de la couche (a) : lorsque la couche picturale était directement appliquée sur un mortier (ou un béton) de tuileau. Cela a surtout été observé pour le lot d'échantillons de peintures de Roz Avel, mais aussi présenté par M. Frizot pour quelques fragments du décor du *fanum* de Crain. Plusieurs autres types de support sont définis par l'auteur pour ce site ; le type 5 correspond à une stratigraphie limitée à une couche picturale appliquée sur une couche de préparation (b) constituée d'un mortier de chaux et de sable quartzueux, les autres types sont à couche (a) chargée de marbre broyé. Il s'agit des seuls exemples parmi nos travaux et ceux de M. Frizot signalant l'absence de cette couche d'épiderme.

La couche d'épiderme ne correspond pas nécessairement à un mortier de chaux, il peut s'agir d'un « lait de chaux », sans ajout de granulat. Cette pratique est plusieurs fois décrite par M. Frizot¹⁰. Suivant les sites, le nombre total de couches du support varie de deux à quatre, avec chaque fois des strates de mortier de chaux et de sable (siliceux), voire une couche de préparation en (d) constituée de torchis (cf. *infra*). Les sites correspondant sont Cosne-sur-Loire (cave du II^e s.), les thermes de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille, l'hypocauste de la *villa* de Pouilly-sur-Loire, Autun (« Rue des Pierres ») et Entrains-sur-Nohain (cave). Il s'agit chaque fois d'édifices privés.

¹⁰ Au point de se demander si l'auteur n'aurait pas, parfois, confondu avec une utilisation restreinte mais effective de marbre ou calcite finement broyée, donc peu visible.

Nous n'avons repéré cette pratique que lors de l'étude des enduits de Roz Avel, un certain nombre d'entre eux présentant des couches d'épiderme blanches sans granulat visible (ou trop rarement représenté). L'épaisseur est de quelques millimètres, ce qui est relativement épais pour une couche sans granulat ; il ne s'agit donc pas d'une couche d'accompagnement des pigments, mais bien d'une couche de finition en préparation de la pose de la couche d'épiderme.

L'absence de couche (a) ou de granulat dans celle-ci ne correspond pas à la pratique la plus commune des enduits peints gallo-romains. La stratigraphie du support est généralement achevée par une fine couche d'épiderme composée d'un mortier de chaux et (1) de cristaux de calcite ou (2) de sable (siliceux ou calcaire) et/ou (3) de tuileau (fig.III.22). La présence de tuileau dans la couche (a) a été évoquée dans le chapitre précédent. Cette présence est relativement rare, et s'exprime surtout pour des enduits peints de thermes ou plaqués à l'extérieur des bâtiments ou des structures. M. Frizot signale un exemple dans les thermes d'Escolives-Sainte-Camille, salle KS, avec une couche (a) en mortier de tuileau sur une couche (b) en mortier sableux.

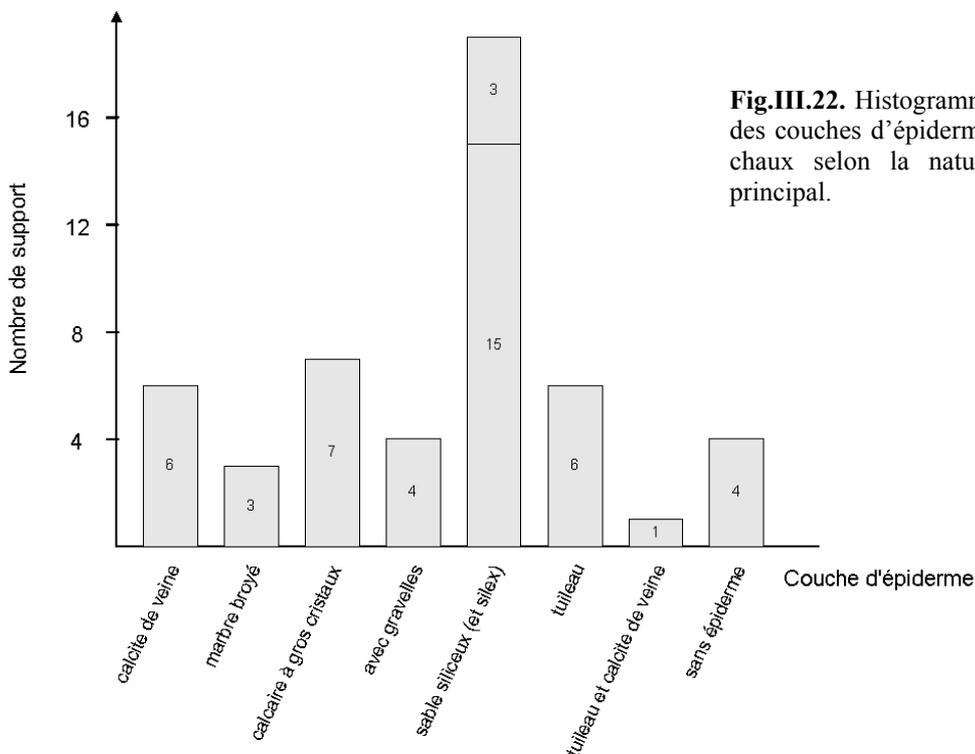


Fig.III.22. Histogramme de fréquence des couches d'épiderme en mortier de chaux selon la nature du granulat principal.

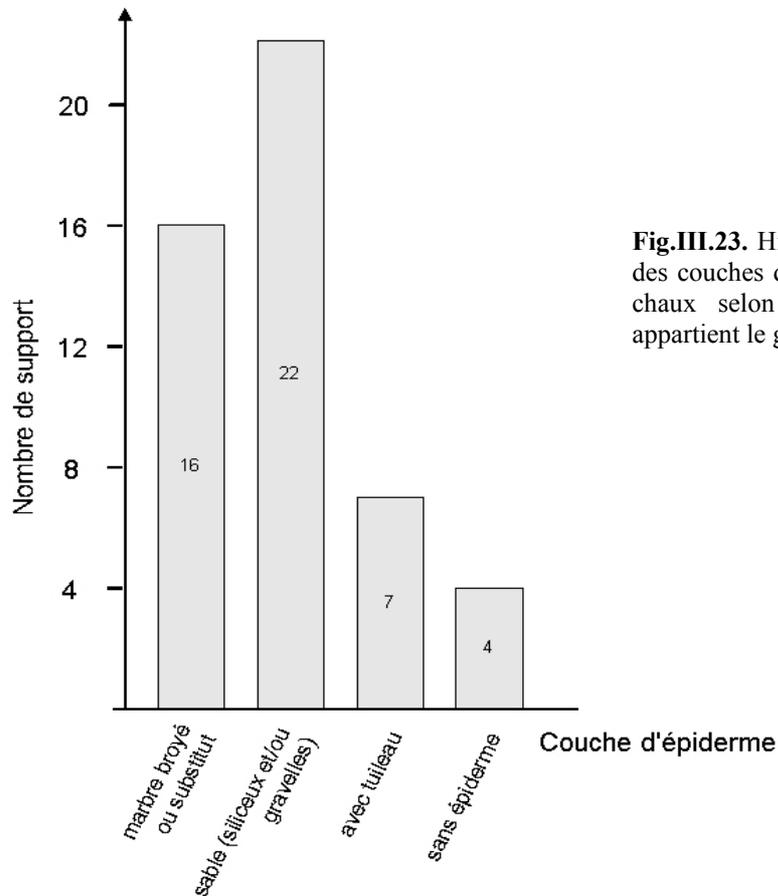


Fig.III.23. Histogramme de fréquence des couches d'épiderme en mortier de chaux selon la famille à laquelle appartient le granulat principal.

La présence de cristaux de calcite est souvent attendue pour la finition du support. Pourtant, l'ensemble de nos travaux montre que, « statistiquement », la couche (a) est majoritairement chargée de sable « naturel », siliceux ou à gravelles de calcaire fin (fig.III.23). Certains enduits nous ont montré que le choix du granulat calcaire à gros cristaux de calcite s'effectuait en vue de remplacer les cristaux de calcite de marbre ou de veines ; dans l'ensemble, il semble qu'un choix soit toujours effectué en vue d'améliorer la qualité de la dernière couche. Nous citerons pour exemples :

- L'assemblage stratigraphique C à Ribemont-sur-Ancre, aux couches (b) et (c) contenant du silex et des gravelles de craie, la couche (a) ne contenant plus que du silex.
- Les assemblages stratigraphiques B, D et E de Corseul, aux couches de préparation à sable quartzueux, et à la couche de finition sans quartz mais avec des fragments de calcaire.
- Les assemblages stratigraphiques A et E d'Aix-en-Provence, aux couches de préparation mêlant quartz et gravelles de craie ou fragments de calcaire, et à la couche (a) chargée uniquement de fragments de calcaire.

Parfois la nature du granulat ne change pas, seul son traitement semble évoluer, apparemment par lavage (cf. *infra*), la couche obtenue étant d'un blanc parfait alors que les autres couches sont colorées par les impuretés habituelles (limons et argiles), tel l'échantillon ROU 1 pour la *domus* du Palais de Justice (Rouen, chap. II.1/G). Ainsi, il semble rare d'observer des stratigraphies où la dernière couche ne se différencie en rien en terme de qualité des autres couches, avec uniquement son épaisseur la démarquant des précédentes.

Il nous reste enfin à discuter la présence de marbre broyé dans les couches d'épiderme des enduits peints gallo-romains. La présence effective de marbre au sens strict a rarement été démontrée (sur la base des critères d'identification choisis), mais les cristaux observés dans les différents cas de figure possibles (cf. *supra* : marbre, autre calcaire à gros cristaux ou filon de calcite) seront chaque fois des cristaux de calcite (Fig.III.24). Il est donc possible d'écarter la question de la source en comprenant que chaque origine nécessite un travail particulier de recherche de matières premières, de choix des éléments les plus adéquats et de traitement de ces éléments (broyage, tamisage). Ainsi, quelle que soit l'origine des cristaux anguleux de calcite présents dans la couche (a), cette présence en soi implique une même démarche de sélection d'une matière première employée toujours dans le même but : donner l'éclat (et le poli) du marbre à la peinture.

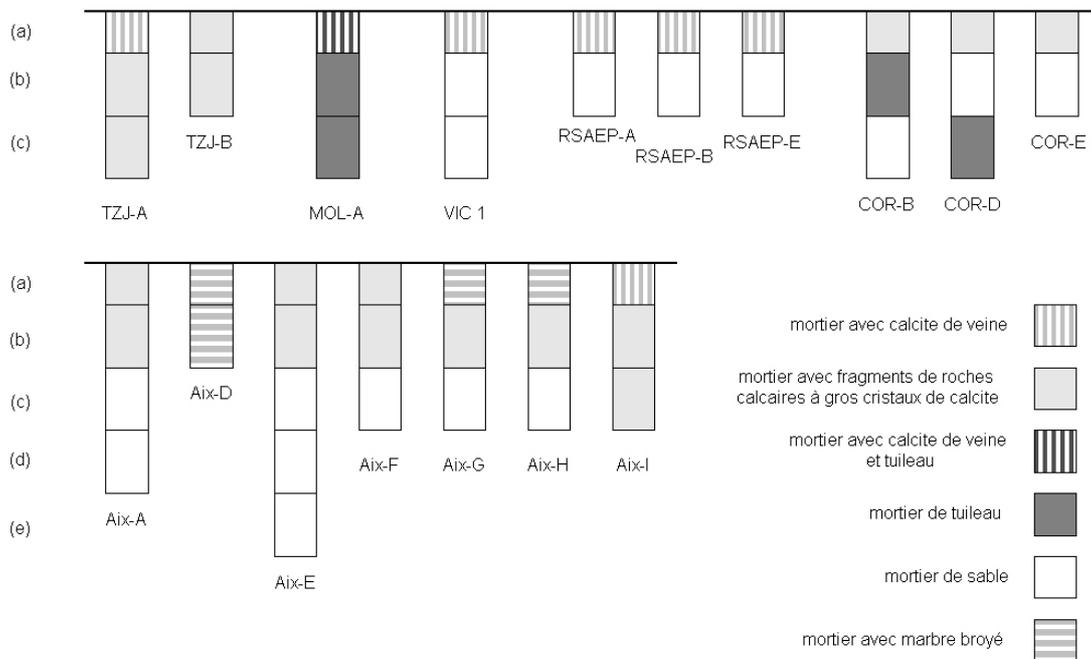


Fig.III.24. Schéma récapitulatif des dix-sept assemblages stratigraphiques dont la couche d'épiderme contient des cristaux anguleux de calcite.

La présence de monocristaux de calcite ou de gros fragments calcitiques dans la couche d'épiderme a été maintes fois observée dans les échantillons de Gaule, notamment à Ribemont-sur-Ancre, à Aix-en-Provence, à Fréjus, à Vichten, et aussi Malain et Crain (Frizot 1975, p.190 et p.227). Elle est toujours en couche terminale d'un support constitué d'une ou plusieurs couches de mortiers sableux, généralement sans tuileau. Une association de cristaux de calcite et de tuileau dans une couche d'enduit est rare en Gaule, nous l'avons seulement notée dans les enduits rouges de Molesme. On se rend compte, chaque fois ou presque, que l'emploi de cristaux de calcite est limité à un ou quelques assemblages stratigraphiques, et non à la totalité des peintures du site étudié, et cela pour une même campagne de décoration. Nous pensons qu'il faut voir ici la preuve du caractère luxueux de cette matière première, dont l'approvisionnement est restreint, qui n'aurait été employée que préférentiellement pour des décors de prestige¹¹ et dans des lieux protégés des intempéries, peintures d'intérieur ou sous toiture. Nous pensons en revanche que la réciproque n'est pas justifiée, l'absence de cristaux de calcite étant effectivement considérée comme la marque d'une facture moins soignée (Barbet et Allag 1972) ; cette absence peut au contraire être liée à un choix de matières premières plus judicieux, en rapport direct avec la position de l'enduit (en extérieur, dans une zone thermale, dans une zone moins accessible au regard) ou avec les ressources naturelles locales (présence d'un sable pur ne nécessitant pas de traitement avant utilisation).

4) Torchis, argile et paille

La pose d'enduits peints à support de mortiers de chaux est largement attestée sur des murs de torchis ou autres matériaux « périssables ». L'empreinte de ces structures est alors visible lorsque le revers est conservé (voir Barbet et Allag 1972). Nous avons de surcroît plusieurs fois démontré la présence d'argile dans les mortiers de construction (voir le chap. II.2). De fait, la présence conjointe de chaux et d'argile, soit mélangées, soit mises en contact, ne peut raisonnablement pas surprendre.

La fréquence d'apparition d'une ou plusieurs couches à base d'argile dans une stratigraphie de support de peinture gallo-romaine est limitée, mais loin d'être anecdotique. Plusieurs exemples peuvent être évoqués, provenant essentiellement des travaux de M. Frizot, complétés par les nôtres.

¹¹ Le meilleur exemple que nous possédons se situe hors de Gaule, au sanctuaire de Zeus (Jerash), par le soin apporté au décor du *naos* du temple hellénistique en comparaison de celui de l'autel.

Les trois témoignages de cette utilisation rapportés par Frizot (1975) sont primordiaux car relativement identiques, témoignant à l'évidence d'un procédé avéré de maçonnerie. En voici la liste :

- Champallement (58), atelier de tailleur d'os (p.146). Quatre couches : (a) à (c) mortier de chaux et de sable siliceux, (d) argile ocre à incisions en chevrons au revers (posé sur baguettes de bois). Couche picturale rouge.
- Cosne-sur-Loire (58), cave, II^e s. ap. J.-C. (p.165). Quatre couches : (a) lait de chaux, (b) et (c) mortier de chaux et de sable siliceux, (d) torchis (argile, paille et quartz) à incisions au revers (posé sur lattes de bois fendu). Couche picturale grise ou rouge.
- Entrains-sur-Nohain (58), remblais de la cave n°3 d'un quartier d'habitation (p.245). Deux stratigraphies à quatre couches. La première : (a) et (b) mortier de chaux et de sable, (c) idem plus végétaux, (d) argile avec végétaux. La deuxième : (a) lait de chaux, (b) et (c) mortiers chargés de résidus charbonneux¹², (d) argile avec au revers des empreintes de bois.

Ces quatre types de support possèdent donc tous la même succession de couches, avec une première de préparation faite d'argile et éventuellement de paille, les suivantes étant préparées avec de la chaux et du sable, même pour la couche d'épiderme (sauf un assemblage se terminant par un lait de chaux). Autre analogie, les enduits recouvrent des parois revêtues de treillis de lattes ou baguettes de bois, nous laissant supposer des murs à élévations en terre¹³.

Il ne s'agit pas maintenant de supposer systématiquement la présence de murs de terre lorsque les enduits découverts présentent un revers argileux. La réciprocity est d'ailleurs non fondée, nous l'avons signalé. Cependant, on ne peut que constater que les différentes structures étudiées ici (caves et atelier) ont renfermé des témoins d'une technique relativement soignée du moindre coût, sans matières premières de bonne réputation, avec même des pratiques de récupération de substances locales (résidus de forgeron). Si ces substructions contenant les fragments d'enduit sont à murs de pierres maçonnés, on peut aisément concevoir des bâtiments artisanaux ou d'habitation aux murs à solins de pierres, avec élévations supérieures de terre et revêtement à première couche argileuse posée sur

¹² Des résidus de l'atelier de forgeron contigu.

¹³ Autre hypothèse, il pourrait s'agir d'un revêtement de plafond (voir Barbet et Allag 1972).

treillis de bois : un ensemble de composants architecturaux témoignant des modes de construction les plus répandus. L'argile aura été préférée à la chaux, peut-être pour une meilleure compatibilité avec le bois du système d'accrochage ou de maintien du mur.

Parmi les échantillons sélectionnés au CEPMR, nous avons pu étudier deux exemples d'emploi de support argileux. Le premier, non présenté dans le chapitre II, se résume à un fragment provenant du site de la rue des Jacobins, à Amiens (Somme). Cet échantillon a subi la chaleur du feu après détachement de la paroi (le revers est brûlé). L'incendie du mur en torchis le supportant est daté vers 240-250 ap. J.-C. La particularité de l'échantillon, par comparaison avec les travaux de M. Frizot, réside dans le fait que la totalité du support est constitué de couches argileuses, peut-être faiblement chargées de chaux, avec un granulat constitué de paille, de gravillons anguleux de craie et de fragments anguleux de silex. L'épaisseur de l'enduit est importante, environ 4,5-5 cm, pour un total de deux couches. La couche picturale a disparu (fig.III.25).

Le deuxième exemple provient de la ville de Lisieux (Calvados), de la fouille du centre hospitalier Robert Brisson qui a notamment mis au jour des thermes publics. Le décor étudié ici, non présenté dans le chapitre II, correspond à celui d'une salle tiède et est daté du milieu du II^e s. ap. J.-C. Les deux échantillons sélectionnés ont des assemblages stratigraphiques concordants, bien que montrant des dissemblances. Celles-ci sont dues à une différence d'épaisseur (5 cm pour LIS 17 et 2,5 cm pour LIS 8) et à l'action du feu affectant à l'évidence LIS 17. La stratigraphie de LIS 17 est à 4 couches à base d'argile (sans doute enrichie d'un peu de chaux), à dégraissant de paille, limons quartzeux, de silex et de quelques tuileaux (fig.III.26). La couche picturale semble être posée à l'aide d'un (ou sur un) lait de chaux, correspondant à la couche d'épiderme. La couche (b) est la seule ne présentant pas une couleur ocre, marquant *a priori* une teneur plus importante en chaux. L'échantillon LIS 8 reprend en partie la stratigraphie, s'arrêtant à la couche (c). La couche (b) est, en macroscopie, d'aspect très proche d'un mortier de chaux et de sable que l'on aurait enrichi de paille. Toutefois, l'analyse pétrographique confirme, pour cette couche aussi, une texture proche d'un sol pédologique. Il en ressort finalement une technique apparemment mixte, mêlant couches argileuses (avec paille et sable) et couches de mortier de chaux et d'argile (avec paille et sable).

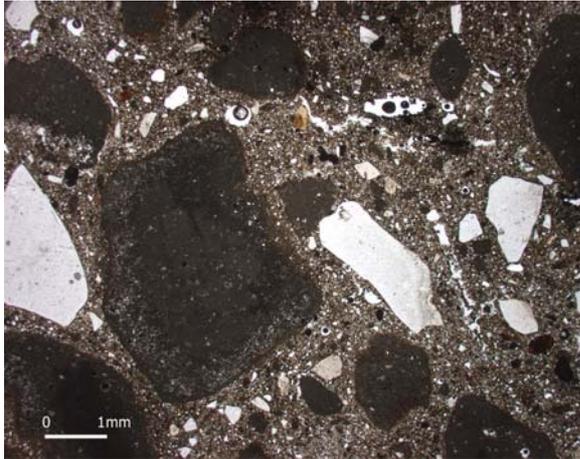


Fig.III.25a. Couche de préparation argilo-limoneuse d'un enduit peint de la rue des Jacobins (Amiens). La charge grossière est constituée de craie et de silex. Echantillon AMI 2a, LPNA.

Fig.III.25b. Idem. LPA.

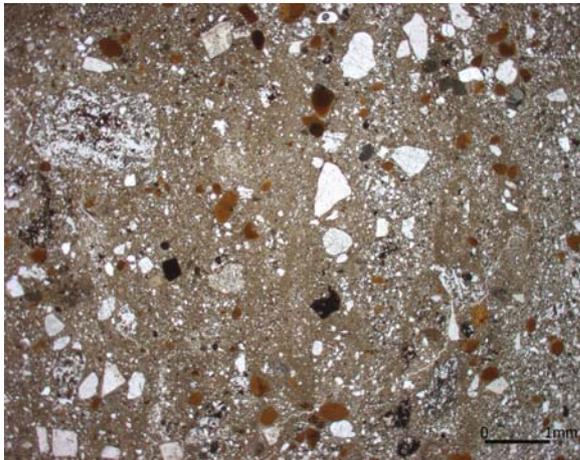
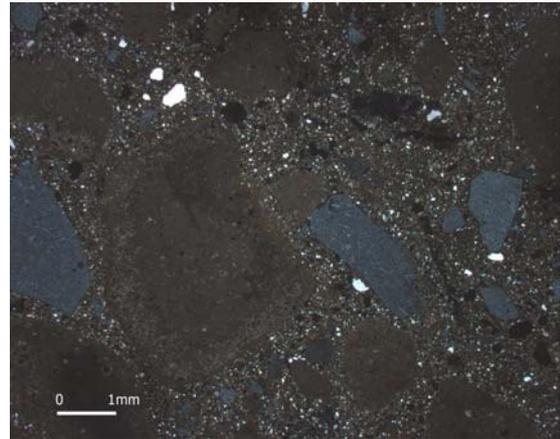
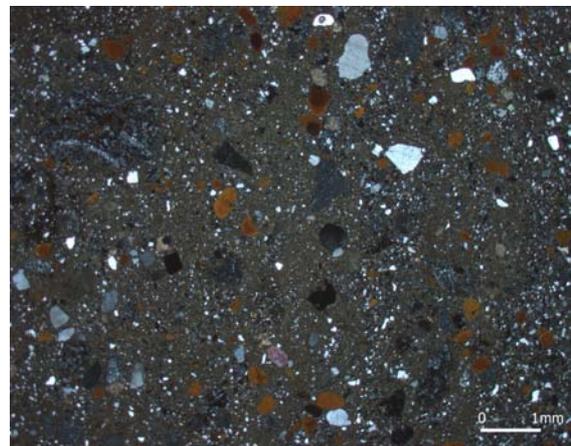


Fig.III.26a. Couche de préparation argilo-limoneuse d'un enduit peint de Lisieux. Echantillon LIS 17, LPNA.

Fig.III.26b. Idem. LPA.



L'argile paraît donc tenir une place non négligeable dans les pratiques de mise en place des peintures murales, au même titre que dans la construction des parois. Quelles sont les motivations de l'utilisation de ce matériau ? Il est difficile de répondre sans tomber dans la caricature de l'emploi d'un matériau abondant, peu coûteux et facile à mettre en œuvre. Il s'agit sans doute de cela, mais de façon partielle seulement ; nous pensons que des phénomènes de persistance des techniques anciennes et d'adéquation à des utilisations précises devraient se faire jour après l'examen de nouveaux exemples.

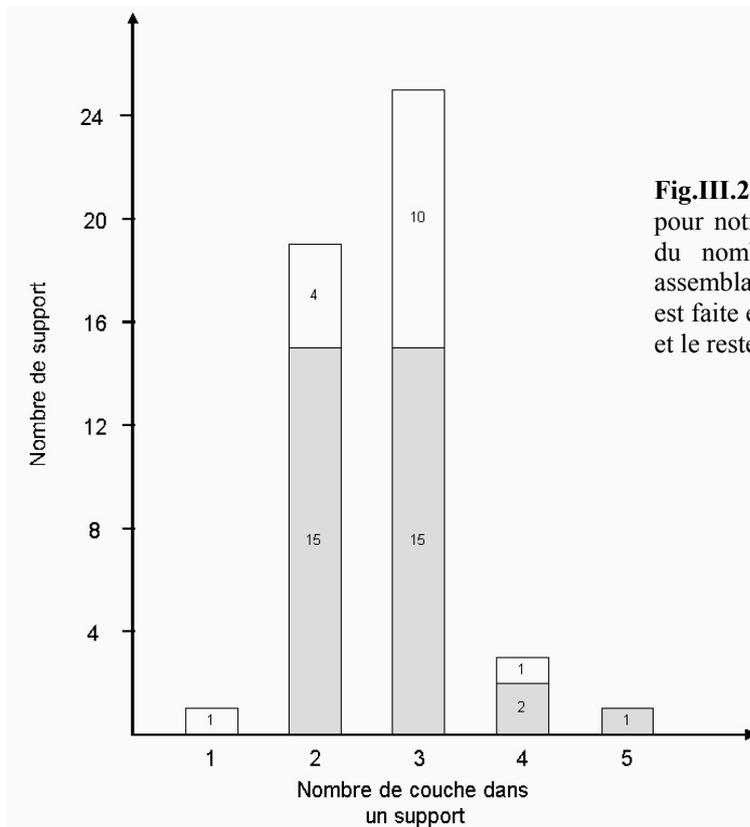


Fig.III.27. Histogramme de fréquence, pour notre corpus gallo-romain (chap. II), du nombre de couches constituant un assemblage stratigraphique (une distinction est faite entre le site de Roz Avel, en blanc, et le reste du corpus en gris).

5) Épaisseurs et nombre de couches, limites de pose

Si l'on se réfère à nos données, nous sommes loin des sept couches de Vitruve, et rarement au niveau des cinq de Pliny (fig.III.27). Le nombre le plus fréquent est deux ou trois. Quatre est un nombre encore fréquent, cinq déjà plus rare (signalé pour Vaison-la-Romaine¹⁴).

¹⁴ Observations Alix Barbet (Barbet et Allag 1972).

Mais avant d'aller plus loin dans l'analyse du nombre de couches par support, rappelons un point d'importance trop rarement évoqué. Comme l'a fort justement écrit Y. Dubois (1996), « l'inadéquation entre nombre de couches observées et recommandations antiques paraît un faux problème : les textes font nettement référence à plusieurs litages de mortiers, sans que ceux-ci soient de multiples natures, alors qu'un examen visuel d'accrochages bien conservés ne permet de voir que les mortiers de compositions différentes, par conséquent inférieurs en nombre (souvent trois) à celui des couches appliquées ». Nous nous inscrivons totalement dans cette démarche de dissocier les changements de couches des changements de nature de couches. Il devient donc difficile d'affirmer, sans reprise de toutes les informations, que le nombre moyen de couches des supports de peintures murales gallo-romaines est effectivement de deux ou trois, ce qui apparaît actuellement comme le plus fréquent. Le nombre de cinq couches pour les supports les plus complexes est là aussi à prendre avec précaution.

Cependant, le problème n'est pas insoluble. Tout d'abord, les changements de strates peuvent fréquemment s'identifier à l'œil nu, par transition évidente entre les deux couches ou grâce à la présence d'une ligne de vides orientés parallèlement aux limites de couches. Ensuite, les observations en microscopie des lames minces permettent de mettre en évidence les limites internes des couches de mortier supposées uniques, puisqu'elles sont généralement soulignées d'un fin liseré marron, lié à une cristallisation rapide de calcite microcristalline en surface de la première strate, après un premier lissage, avant la pose de la couche suivante.

Cependant, ces observations n'ont pas été considérées dans un schéma général, pour une raison simple : il apparaît évident que le nombre de sous-couches n'est pas un critère primordial pour les artisans antiques. A quoi voit-on cela : à des variations récurrentes, pour un même assemblage stratigraphique, du nombre de « découpage interne » dans la pose de chaque type de mortier. En d'autres termes, suivant la position de l'enduit sur le mur, l'artisan aura adapté l'épaisseur de son support et ainsi, pour des raisons de commodité d'application, découpé en plusieurs strates son niveau de mortier. Aucune cohérence n'apparaît dans l'épaisseur moyenne d'une couche ou d'une sous-couche. On s'aperçoit même, si l'on prend l'exemple de Roz Avel, que les épaisseurs relatives de plusieurs sous-couches peuvent varier du simple au triple au sein d'une même couche.

Un tel résultat, s'il est d'importance pour l'étude des procédés antiques de mise en œuvre des supports de peintures murales, vient aussi enrichir le travail de l'analyste, puisque la pertinence d'un découpage en « sous-couches » plutôt qu'en « couches » ne peut se

concevoir que par comparaison de plusieurs exemples d'un même assemblage stratigraphique, montrant la récurrence de tel ou tel procédé d'application.

L'épaisseur est un paramètre dont la variabilité a été précédemment signalée. Pour une même paroi, pour un même assemblage stratigraphique, il est possible d'observer diverses épaisseurs. Barbet et Allag (1972), répertoriant divers travaux, montraient que l'épaisseur totale variait, d'un site gallo-romain à l'autre, entre 1,5 et 8 cm. Nos éléments de peinture s'inscrivent dans cet intervalle, avec des épaisseurs comprises pour l'essentiel entre 1,5 et 4 cm environ.

Dernier point, qu'il est bon de rappeler : les supports de peintures contenant au moins une couche de béton sont parmi les enduits les plus épais.

6) Mortiers et bétons, croissance et décroissance granulométrique

Le schéma classique des enduits peints gallo-romains est une décroissance, du revers à l'avant, à la fois de l'épaisseur de la couche et de la granulométrie de la charge du mortier. La décroissance de l'épaisseur des couches peut n'affecter que la fin de la stratigraphie. A part cela, ces traits techniques de décroissance ne souffrent que peu d'exceptions, provenant toutes du site de Roz Avel. Ce lot d'échantillons, apportant plus de questions que de réponses, se démarque par trois types de stratigraphie terminée par un béton, constitué exclusivement ou en partie de tuileau, recouvert d'une couche picturale rouge. Cette couche de béton est alors la plus épaisse de l'enduit. La couche sous-jacente contient toujours une part de tuileau. Nous pensons qu'il faut voir dans cette pratique la fonction de l'édifice, puisque ces échantillons proviennent, de toutes évidences, d'un bâtiment thermal. Les enduits à terminaison de béton de tuileau n'ont été repérés que dans les thermes, soit ceux du Vieil-Evreux, sans peinture, pour les égouts, soit ceux de l'Esplanade à Arles, sans doute peints, dans la salle 3 (piscine chauffée) notamment. Il s'agirait donc ici de la connexion entre deux intérêts, celui de la protection (étanchéité) et celui de la décoration.

Il faut signaler ici une autre hypothèse quant à l'origine de ces recouvrements à couche de béton peinte de Roz Avel : il pourrait en fait s'agir de béton de sol¹⁵, vraisemblablement de salles humides. La présence en dernière couche d'un béton s'explique par la fonction de support de circulation des personnes, qui se faisait directement sur le matériau puisque celui-ci était décoré de rouge, donc non dallé, ce qui semble être une pratique avérée.

¹⁵ Communication orale Alix Barbet.

7) La question des voûtes et plafonds peints

Nous n'avons eu à notre disposition que peu d'échantillons parfaitement reconnus comme enduits de plafonds ou de voûte. Outre le décor déjà évoqué de la voûte d'arêtes de la *domus* de Rouen (cf. chap. précédent sur le tuileau), on doit pouvoir ajouter la *domus* de la Place Formigé à Fréjus.

Les échantillons de Fréjus sont constitués de deux couches, la première (b) pauvre en chaux, terreuse, à granulat quartzeux, à empreintes de roseaux au revers, la deuxième (a) plus beige (plus riche en chaux), à sable quartzeux. Ces traces d'accrochages rappellent notamment ce qui peut être lu chez Palladius (V^e s. ap. J.-C.), dans son *De re rustica* (chap. XIII), l'auteur conseillant de poser le décor sur une claie à maille serrée de « canne des marais », avec un support de trois couches, une première de chaux et de pierres ponces, la deuxième de chaux et de sable, la dernière à marbre broyé.

Pourquoi retrouve-t-on un support si terreux pour la préparation de l'enduit de ce plafond de Fréjus, alors que les parois des murs montrent une très belle finition ? Le résultat d'une telle préparation est un ensemble pulvérulent, peu capable de résister à la moindre agression physique. Nous ne pouvons actuellement qu'envisager quelques hypothèses, fondées à la fois sur le type de système d'accrochage et sur la nature même du matériau. Tout d'abord, nous l'avons noté pour le domaine général de l'emploi de l'argile dans les supports de peintures, ces matériaux pourraient avoir été préférés lors de l'utilisation de systèmes d'accrochages employant des végétaux (le problème des mortiers de chaux est de faire disparaître ces éléments ; on dit souvent que les végétaux sont « brûlés » par la chaux¹⁶). Ensuite, un enduit de plafond est bien plus susceptible qu'un enduit de mur de se détacher de la paroi avant la fin du phénomène de prise. On peut éventuellement envisager un durcissement plus rapide d'un liant riche en argile et pauvre en chaux, induit plus par séchage que par carbonatation. Des essais seraient à envisager.

¹⁶ Pour exemple, l'indication de paille dans les mortiers fait chaque fois référence à des empreintes, jamais aux éléments mêmes. Cependant, c'est aussi valable pour de nombreux matériaux à base d'argile, les végétaux ayant disparu avec le temps.

Les indices sont maigres pour attribuer valeur de référence à cet ensemble d'enduits de plafond ; d'autant que l'on ne doit en aucun cas ignorer la possibilité de l'intervention d'une autre équipe que celle ayant œuvré sur les murs, alors spécialisée dans les supports des peintures de plafond. L'éventualité de deux phases distinctes de décoration est aussi probable¹⁷. Reste que les deux ensembles de Ribemont-sur-Ancre et d'Aix-en-Provence intriguent par les similitudes avec le lot de Fréjus, sans que l'on puisse pointer de façon certaine la provenance de tel ou tel échantillon. On retrouve en effet divers assemblages stratigraphiques de qualité, certains marqués par la présence de monocristaux de calcite dans la couche de finition. Seuls quelques échantillons s'éloignent de ce savoir-faire, en présentant un support particulièrement terreux ou pulvérulent. Certains montrent de plus une couche picturale bleue, ce qui ne signifie pas systématiquement qu'il s'agisse de décors de plafond, mais ajoute tout de même à la confusion (les autres supports de Ribemont, par exemple, ne présentent pas cette coloration). L'addition des toutes ces données nous laisse présumer, peut-être à tort, un traitement particulier des parois de plafonds gallo-romains, avec des liants plus terreux ou argileux.

¹⁷ Il est aussi possible qu'il s'agisse de décors de parois d'étage, aux murs plus légers, mais le décor géométrique répétitif ferait préférentiellement songer à un décor de plafond (com. orale Alix Barbet).

III.2. Le chantier

III.2.1. Le granulat : approvisionnement, traitements et substitutions

Le choix de l'extraction d'un sable plutôt qu'un autre ne peut pas être considéré comme effectué à la légère lorsque l'on voit la richesse de la gamme de mortiers et bétons de chaux antiques. Certaines règles apparaissent dans le choix des matières premières, formant un système complexe, aux critères changeant et à leur hiérarchisation instable. Les différents paramètres contrôlant le système sont :

- Les propriétés particulières que les matières premières possèdent (ou non) ou qui leur sont attribuées par la tradition, et la destination architecturale des matériaux.
- La nature des ressources locales et éventuellement leur diversité, leur proximité et accessibilité, leur caractère « fossile » ou alluvionnaire.
- La qualité et l'ampleur des traitements que nécessitent les matières premières.

a) La destination

Les différentes utilisations des liants à base de chaux ne requièrent pas la même attention en terme de nature, granulométrie, « lavage », compacité, etc., du granulat. On note, fait important, des sélections différentes de matières premières naturelles suivant la fonction à venir du matériau, pour un même site ou de façon plus globale.

Les mortiers de construction des murs sont les matériaux qui ont bénéficié de la sélection la moins contraignante qui soit. Le granulat est prélevé au plus proche du site (quelques kilomètres au maximum), parfois sur place (Escolives-Sainte-Camille, le Vieil-Evreux, Faverolles (?), Molesme) ; il ne subit aucun traitement, quitte à retrouver dans les murs un matériau très terreux d'aspect. Le sable est indifféremment calcaire ou siliceux (fig.III.28). A ce niveau de choix de la matière première, on s'aperçoit d'une préférence évidente pour le sable « de carrière », présent en sous-sol, à quelques centimètres ou mètres de profondeur, plutôt que pour le sable de rivière qui, pourtant, peut être très propre, de granulométrie souvent équivalente, et parfois à quelques mètres seulement du chantier, tel l'exemple de Molesme : la rivière qui longe le site a été délaissée au profit d'une formation sableuse, grossière et terreuse.

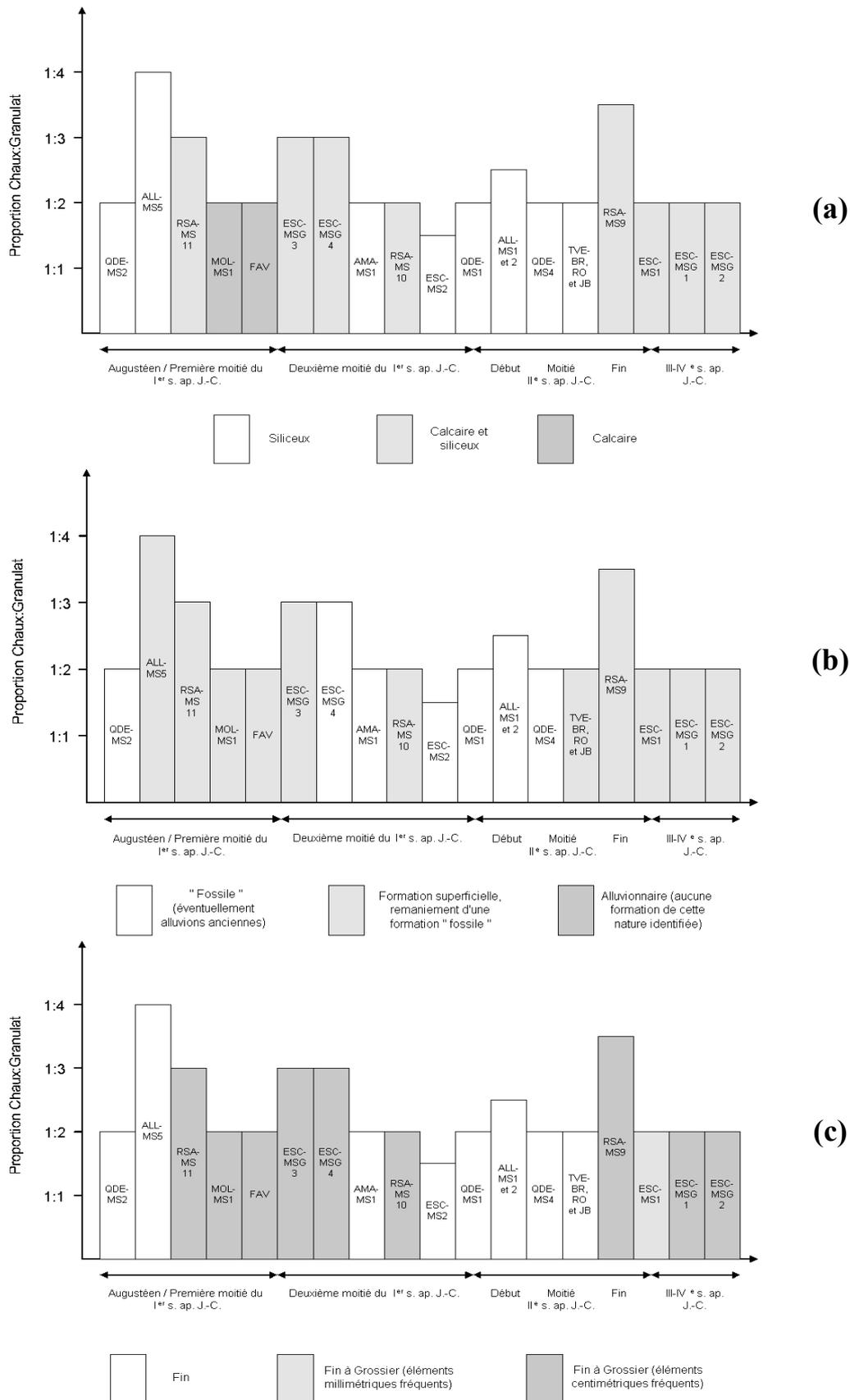


Fig.III.28. Nature (a), origine (b) et granulométrie (c) du sable des principaux types de mortier de maçonnerie.

Les revêtements de sol qui ne sont pas enrichis de tuileau sont pour l'essentiel à cailloutis calcaire. Cela s'observe au Vieil-Evreux, à Escolives-Sainte-Camille, à Allonnes et à Molesme. Ces cailloutis posent un problème car les différents environnements géologiques de chaque site ne possèdent pas systématiquement une formation grossière, à cailloutis, sans sable. Suivant chaque site, une discussion s'impose. Trois pratiques apparaissent. La plus simple, le prélèvement sur place sans traitement, est supposée pour le sol du portique du sanctuaire de la Forêterie (Allonnes), les cailloux cénomaniens du béton correspondant à une partie du substrat géologique du site. Pour le site d'Escolives-Sainte-Camille, les graves présentes dans le substrat ont pu fournir la pierraille retrouvée dans les bétons de chaux. Cette formation possède toutefois une fraction sableuse qui n'a pas été mise en évidence dans le liant. On peut donc avancer l'hypothèse d'un tri granulométrique, afin d'expulser les éléments fins (les « fines »). Un traitement par broyage est sans doute intervenu pour le site de Molesme, le cailloutis calcaire présente des arêtes particulièrement bien conservées. Enfin, les bâtisseurs des thermes du Vieil-Evreux ont employé les rognons de silex pour le radier des sols, mais le *nucleus* est à cailloutis calcaires. Ces petits éléments proviennent de la désagrégation du calcaire lutétien, dont le plus proche affleurement actuel est à quatre kilomètres des thermes. Leur présence peut, en partie, s'expliquer par une utilisation accrue du calcaire lutétien sur le site, pour les moellons et la fabrication de la chaux. Il faudrait peut-être aussi y voir une précaution pour les utilisateurs des thermes, aux pieds nus : l'altération du sol entraîne le dégagement des éléments de la charge ; la mise à nu des rognons de silex, aux angles vifs et coupant, serait particulièrement désagréable ; un niveau supplémentaire à cailloutis calcaires aux angles émoussés paraît dès lors beaucoup plus confortable.

Hormis le marbre broyé s.s., l'origine des matières premières présentes dans les couches d'enduits peints est, à de rares exceptions près, toujours locale. Un exemple d'exception est fourni dans l'étude de Bugini & Folli (1996) d'un sanctuaire du I^{er} s. av. J.-C., hors de Gaule (Brescia, Italie), pour lequel l'origine du sable est à rechercher à 30 km du site, pour ce qui est de la dolomite, et à 50 km pour un sable roulé de rivière (une telle distance est réellement surprenante).

L'origine alluvionnaire de la charge des enduits peints, telle que prescrit par Vitruve, est parfois attestée, notamment par la présence de coquillages. Le parfait exemple en est l'étude de M. Frizot (1975) sur les peintures du *fanum* de Crain et l'identification des sables de l'Yonne (qui coule à 800 m du site) comme source du granulat (sable roulé, quartzueux voire granitique). Il est toutefois difficile de reconnaître cette origine, certains sables de

carrière pouvant apparaître avec des formes parfaitement roulées (suppression des angles par charriage dans les cours d'eau) liées à leur passé géologique. Il serait tentant d'associer une origine alluvionnaire au sable ne présentant aucune impureté (limoneuse ou argileuse), mais le sable d'alluvions n'est pas toujours pur, le sable de carrière l'est parfois et, enfin, un traitement par lavage peut avoir eu lieu.

b) Les traitements

Pour le sable naturel non réactif, extrait pour obtenir un matériau mécaniquement stable et durable, sans besoin exprimé d'étanchéité, les deux critères qui apparaissent primordiaux, de prime abord, en dehors de la proximité et de l'accessibilité de la formation géologique source, sont la granulométrie et le degré de « pureté » (présence d'argile, de limons ou de terre). Lorsque aucune formation locale ne présente les qualités requises, un traitement de la matière première est envisagé. Cette pratique ne se décidait sans doute pas à la légère, les volumes de sable nécessaires à la construction d'un bâtiment étant chaque fois fort importants. Les principaux traitements à envisager pour les formations sableuses exploitées sont donc le tri granulométrique et le lavage.

Le tri granulométrique peut intervenir suivant deux orientations : obtenir un sable épuré des éléments les plus grossiers, ou au contraire obtenir un sable ou des graviers purgés des « fines ».

Dans le premier cas, il s'agirait, pour le gros-œuvre, de permettre la pose d'un mortier de chaux et de sable qui soit compatible avec une fonction de jointolement de moellons ou de dalles de sol, là où la finesse du matériau est nécessaire.

Inversement, les éléments grossiers, individualisés indépendamment ou lors de ce criblage, sont sélectionnés lorsque l'on souhaite obtenir un béton sans charge fine, plusieurs bétons de sol étant chargés de cailloutis et exempts de sable.

Dans une succession de couches de mortiers appartenant à un même support de peinture murale, il est fréquent d'observer une évolution de la granulométrie du sable du revers à l'avant, sans changement de composition. Un traitement granulométrique est éventuellement à considérer. Vitruve envisage le criblage dans son livre II chapitre 4, pour les sables extraits des fleuves ou du gravier, lorsque le sable de carrière fait défaut. Pour les enduits peints, il propose livre VII chapitre 6 une séparation du marbre pilé en trois poudres de granulométries différentes, la plus grossière étant la première utilisée.

Le lavage de la formation meuble peut intervenir lorsque (1) aucun sable propre n'est présent dans l'environnement géologique local et (2) quand les artisans considèrent que le granulat se doit d'être parfaitement nettoyé des impuretés argileuses ou terreuses. Ces deux conditions sont rarement remplies pour les mortiers de construction, peu de ces mortiers paraissant avoir bénéficié de ce lavage (éventuellement le type ESC-MSG2 d'Escolives, le seul mortier blanc du site) ; plusieurs mortiers montrent en revanche de fortes teneurs en limons ou argiles, qui témoignent presque d'un désintérêt de la présence de ces supposées impuretés ; peut-être faut-il voir ici la persistance de pratiques anciennes (gauloises), puisque ces mélanges « terreux » se retrouvent pour la plupart sur les sites augustéens ou du début du premier siècle ap. J.-C., pour les provinces autres que la Narbonnaise ; citons pour exemples les sites de Molesme (Côte d'Or), Faverolles (Haute-Marne) et Ribemont-sur-Ancre (Somme) ; il faudra cependant attendre de nouvelles études avant de pouvoir valider cette hypothèse, le statut de l'édifice et surtout les finances des évergètes ou commanditaires pouvant en partie expliquer l'absence de traitements (cf. *infra*). L'emploi de sables « lavés » paraît plus prononcé pour les enduits peints (tabl.III.29). Il n'est pas toujours possible de pointer de façon certaine quels ensembles ont bénéficié d'une pratique de lavage plutôt que d'un choix à la source d'une formation plus pure ; plusieurs couches, telles celles du support de peinture de voûte de la *domus* de la station Métrobus (Rouen), de matrice peu colorée et nette d'aspect mais avec quelques éléments argileux témoignant d'une évolution pédologique de la formation sableuse, permettent de supposer l'éventualité de ce traitement. Mais c'est plus par la comparaison des couches que l'on peut statuer sur l'éventualité du traitement, comme notamment pour le support du décor du *fanum* de Eu : les matières premières varient peu d'une couche à l'autre, mais la blancheur et l'absence de limons et d'argile pour certains mortiers nous amènent à soupçonner un lavage.

Si malgré tout il n'est pas possible de se fournir dans l'environnement proche en sable de la finesse et de la pureté désirées, il peut être envisagé un broyage de matériaux plus grossiers. C'est une pratique qui est largement attestée et logique pour le granulat de « récupération » ou de « substitution » (le marbre et le tuileau, cf. *infra*). Il en va tout autrement pour le sable naturel. La présence d'un sable aux grains anguleux ne suffit pas pour supposer une telle pratique ; la comparaison avec les ressources locales est obligatoire. Si l'on se reporte à la figure III.30, on remarque pour la construction que l'essentiel des mortiers de chaux et de sable aux grains anguleux proviennent de la ville d'Arles, où l'on a exploité les alluvions anciennes du Rhône (sable fin, principalement quartzeux, et anguleux).

Site	Type, assemblage, mortiers ou échantillon	Origine du sable	Traitements supposés
Thermes de Roz Avel A partir de la 1 ^{ère} moitié du I ^{er} s. ap. J.-C.	Type ROZ-MS3	Arène granitique	Lavage ?
	Autres types	Alluvions de l'Odet	Lavage ?
<i>Domus</i> de la place Formigé (Fréjus) 30-40 ap. J.-C.	Types MS1 et 2	Alluvions du Rayran	Aucun
	Type MS3 (couche (a))	Arène granitique	Lavage
<i>Domus</i> des bouquets (Périgueux) Milieu du II ^e s. ap. J.-C.	Echantillon « PER 1 »	Sables « fossiles » (du Crétacé ou tertiaires) ou alluvions anciennes	Aucun
<i>Villa</i> de Vichten (Luxembourg) 1 ^{ère} moitié II ^e s. ap. J.-C.	Echantillon « VIC 1 »	Formations superficielles « limoneuses » du plateau	Aucun
Corseul, ensemble artisanal et <i>villa</i> urbaine II ^e s. ap. J.-C. ?	Mortiers au sable siliceux	Alluvions	Lavage pour les couches (a) ?
	Mortiers à fragments de roches calcaires	Calcaire miocène	Concassage ?
<i>Fanum</i> du Bois l'Abbé (Eu) Dernier quart du II ^e s. ap. J.-C.	Mortiers beiges	Alluvions récentes Fz, holocènes et tardi- glaciaires	Aucun
	Mortiers blancs (couches (a) principalement)	Alluvions récentes Fz, holocènes et tardi- glaciaires	Lavage
<i>Domus</i> du Palais de Justice (Rouen) III ^e s. ap. J.-C.	Echantillon « ROU 1 »	Sables de Lozère	Lavage pour (a), peut-être pour (b)
Aix-en-Provence Du I ^{er} au III ^e s. ap. J.-C.	Mortiers au mélange « quartz et gravillons de calcaire fin »	Alluvions anciennes ou récentes de l'Arc ou de la Torse	Aucun
	Mortiers aux « roches calcaires sparitiques et fossilifères »	Calcarénite biodétritique du Tortonien marin	Concassage
Molesme « Sur-les- Creux », sanctuaire augustéen	Assemblage MOL-B, couche (b)	Oolithe du Vannage (oosparite fine, calibrée et blanche)	Broyage « ménagé »
Ribemont-sur-Ancre, sanctuaire, I ^{er} s. ap. J.-C.	Mortiers à silex dominant	Sables gris du Thanétien	Aucun
	Mortiers à mélanges ou à gravelles dominantes	Limons de versant	Aucun
	Type RSAEP-MS5 (couche (a))	Sables gris du Thanétien	Tri et/ou lavage

Tabl.III.29. Origine et traitements supposés du granulat présent dans les couches de support des peintures murales.

L'environnement géologique local aussi peut expliquer la composition du type ESC-MS2 (Escolives-Sainte-Camille). De tous les sites étudiés, un seul mortier de maçonnerie mérite discussion : le type TVE-MS1 des thermes du Vieil-Evreux. Les deux échantillons de ce type de mortier (« secondaire » car très peu employé sur le site) présentent une charge originale pour l'édifice, avec des fragments de silex aux angles vifs, ce qui pourrait s'apparenter à une désagrégation de fragments plus gros (les rognons de silex). Le mortier est de couleur beige. La granulométrie des éléments est fine, leur diamètre étant compris entre 1 mm et quelques μm . La charge limoneuse est dominante. Dans l'environnement géologique, la formation à l'origine de ce granulat s'apparenterait aux limons des plateaux, qui sont fréquemment enrichis de quelques grains allochtones, tels des fragments de silex ou de meulière ou des grains de quartz (Pomerol *et al.* 1977) ; aucun quartz n'est visible dans les mortiers mais quelques grains de meulière sont présents. Le fait le plus important est que le mortier obtenu est coloré. Une désagrégation d'éléments de silex doit donc être exclue, la formation des limons des plateaux a été exploitée telle quelle : le mélange chaux et silex broyé aurait donné un matériau de matrice blanche.

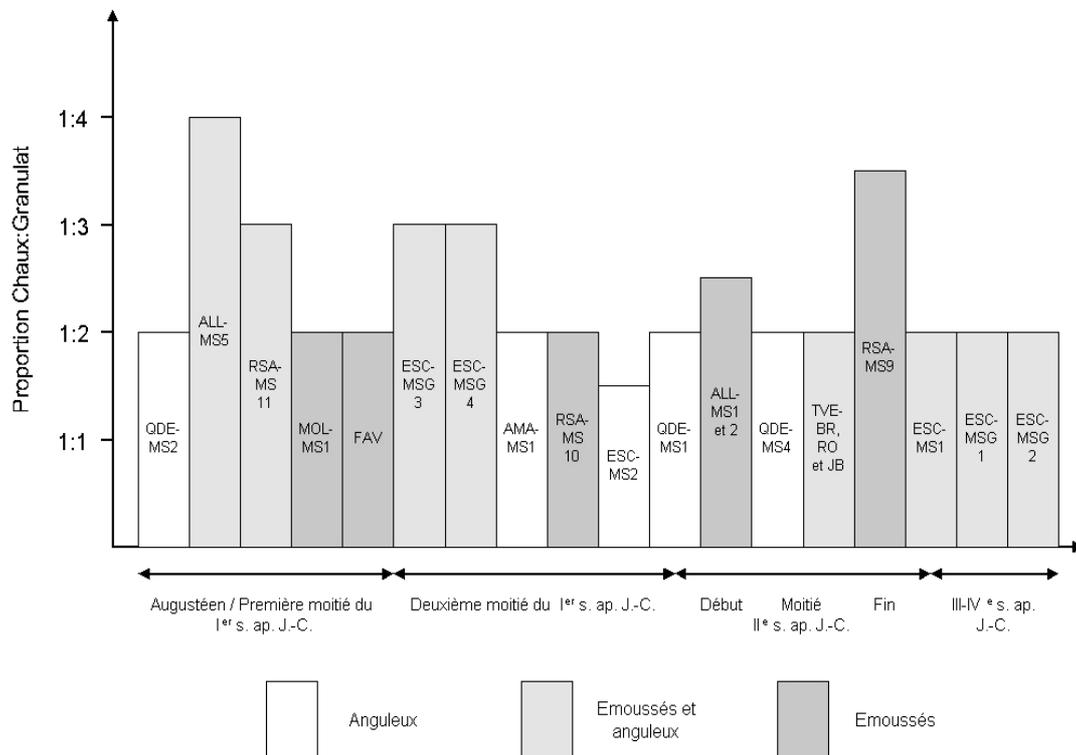


Fig.III.30. Forme des grains de la charge des principaux types de mortier de maçonnerie.

Dans le domaine des bétons de sol, la présence d'éléments de calcaire aux angles relativement vifs a été repérée notamment sur le site de Molesme ; ces fragments, bien calibrés, sont supposés provenir du broyage de blocs plus gros.

Le cas des enduits peints est particulier. Plusieurs auteurs ont interprété des éléments anguleux des mortiers de Grèce et d'Italie comme la résultante d'un broyage de roches (Meggiolaro *et al.* 1996, Bugini & Folli 1996) ; il s'agit chaque fois de roches calcaires ou dolomitiques, constituant tout ou partie de la charge des mortiers du support, parfois seulement des couches les plus externes (dont l'épiderme). Cette pratique s'apparente plus à l'emploi d'un produit de substitution du marbre, plutôt qu'à une adaptation à un manque de sable local, celui-ci étant employé par ailleurs dans les supports. Cette même pratique est avérée dans notre corpus, notamment pour les sites d'Aix-en-Provence et de Corseul. En dehors du broyage de roches de remplacement du marbre, aucun autre exemple de broyage n'est avéré.

Un dernier traitement à évoquer : le tri du granulat. Il ne s'agit pas de tri granulométrique, mais d'une sélection dans un mélange naturel d'une famille précise de minéraux ou de roches. Si la diversité de l'environnement géologique le permet, une telle sélection peut s'effectuer en amont par un choix des formations géologiques à exploiter. Pour les enduits peints de Ribemont-sur-Ancre, il ne nous semble pas que la seule diversité des ressources puisse expliquer les variations, d'une couche à l'autre, de proportions relatives des gravelles de craie et du silex, allant jusqu'à la disparition des gravelles* pour certaines couches d'épiderme. Un tri du sable est intervenu afin de privilégier le silex.

c) Les substitutions et récupérations

Plusieurs matières premières sont considérées avec un œil particulier par les *structores* et *tectores** antiques. Celles qui nous intéressent ici sont principalement le marbre, pour les enduits peints, et le tuileau, substitut des pouzzolanes.

1) Le marbre

L'utilisation du marbre broyé ou de cristaux issus de veines de calcite¹⁸ est appréciée pour les couches d'épiderme afin de donner à la surface picturale une finition proche du poli et de l'éclat d'un revêtement de marbre. Les travaux d'Häfner (1996), qui a tenté de comprendre par expérimentation les techniques de pose des peintures murales antiques, ont permis de mettre en évidence deux points nécessaires pour arriver à un tel résultat, indépendamment des apports esthétiques de la calcite. Il convient de s'assurer de l'utilisation d'un granulat à la fois anguleux et de large distribution granulométrique (des grains bien représentés entre 63 µm et 2 mm de diamètre) afin de permettre, lors du lissage, une bonne orientation des éléments. Le schéma III.31 résume les avantages de ce type de granulat. Signalons qu'il est très rare d'observer des fragments aussi jointifs (la proportion chaux/granulat était ici de 1 pour 4). Nous avons, pour notre part, montré l'inadéquation effective d'un granulat certes abondant mais trop fin et homogène (fresque expérimentale de Saint-Savin). Les échantillons de Ribemont-sur-Ancre, dont certains montrent effectivement une surface comparable à un placage de marbre poli, ne contiennent jamais autant de granulat (voir fig.I.33b).

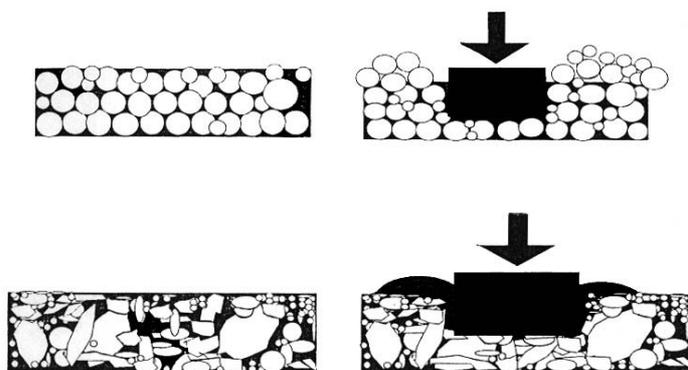


Fig.III.31. Illustration de la réponse de deux types de granulat à une compression (application de la truelle). Le sable au grains de formes et granulométrie variées ne fluera pas, et pourra se compacter (*In Häfner 1996*).

¹⁸ Bugini & Folli (2001) signale l'utilisation de calcite de veines dans l'Antiquité sur la base d'une série de comparaisons avec celles identifiées dans les carrières de marbre grecques.

Si les avantages sont si évidents, pourquoi ne voit-on pas une application systématique d'une couche de finition de chaux et de marbre ou calcite broyée ? La rareté relative de filons de calcite et du marbre peut-il l'expliquer ? Si les premiers sont directement à rechercher dans l'environnement géologique, les lieux d'origine du second sont connus car très localisés. La démarche est donc complexe, l'utilisation de cette matière première implique soit une recherche rigoureuse dans l'environnement proche, soit une importation, soit une récupération locale, cette dernière étant actuellement la mieux attestée (Vitruve, *De Architectura*, VII, 6). Les artisans devaient se fournir par récupération des déchets de taille des placages ou autres sculptures de marbre (blanc), ou, éventuellement, après dépose des décors d'une première phase de décoration ou d'un bâtiment voué à la démolition. Une telle pratique ne devait pas permettre de constituer des stocks assez considérables pour faire de cette matière première une denrée usuelle. De fait, celle-ci devait se révéler coûteuse. La poudre de marbre, au même titre que les cristaux issus des veines de calcite, a dû rester à travers les siècles une marque de luxe, aucun matériau de remplacement n'ayant bénéficié d'un réel engouement. On note, en effet, l'emploi en succédané de grains de quartz lavés ou de fragments broyés de roches calcaires à gros cristaux dans plusieurs couches d'épiderme d'enduits peints intérieurs, mais le choix de ce produit de substitution est lié à la géologie locale, à des questions de financements, il ne s'agit pas d'une nouvelle mode, d'un nouvel intérêt régional ou des Gaules pour telle ou telle matière première.

2) Le tuileau

Le tuileau se place dans la lignée des produits de récupération, au même titre que le marbre, mais il s'en démarque immédiatement par la considérable prolifération des mélanges y faisant appel. L'origine des terres cuites est parfois discutée par les auteurs, même si pour la grande majorité il ne faut voir dans ces éléments qu'une récupération de vieilles tuiles ou briques spécialement broyées pour leur nouvelle utilisation. Nous partageons cette interprétation, mais il nous semble judicieux d'y apporter quelques preuves et aussi quelques nuances.

Tout d'abord une nuance ; il a longtemps été attribué à Vitruve de recommander dans le *De Architectura* (II, 8) de tirer le tuileau de vieilles tuiles pour faire des maçonneries de tuileau (sous-entendu en mortier de tuileau) avec une bonne fermeté. Le passage correspondant¹⁹ bénéficie d'une nouvelle traduction :

« Ce sont donc essentiellement les murs maçonnés de brique cuite, faits de vieilles tuiles, qui pourront avoir de la solidité » (traduction Callebat).

Cette recommandation de Vitruve, discutée dans la note correspondante de P. Gros, est tournée vers la récupération de vieilles tuiles retallées pour une utilisation en moellons, telles des briques. Elle est symptomatique d'une méfiance de l'auteur du I^{er} s. av. J.-C. pour l'utilisation des briques de terre cuite pour les murs, sa préférence allant aux tuiles ayant déjà fait leurs preuves sur les toits des bâtiments. Elle dénote aussi la mentalité des artisans et architectes romains, n'hésitant pas à transformer et récupérer des matières premières et matériaux pour en créer de nouveaux.

C'est de fait un texte référence qui s'évanouit. Pour de nombreuses autres occurrences de mortier ou béton contenant du tuileau, chez Vitruve ou d'autres auteurs (Pline, Palladius), c'est la *testa* à laquelle il sera fait appel, autrement dit la brique cuite (ou *later coctus*, cf. note 3.1.1 dans Callebat 1999). Il conviendrait donc, à la seule lecture des textes, de considérer le tuileau comme le résultat d'un broyage exclusivement de briques. Nous verrons que cela pose problème.

Il faut aussi signaler l'emploi de céramiques dans les mortiers et bétons. Pour les enduits, la présence de gros éclats est souvent comprise comme une technique favorisant l'accrochage des couches suivantes (Barbet et Allag 1972, Adam 1995, Dubois 1996). La présence de fragments un peu plus petits, mais ne descendant pas à la dimensions des sables²⁰, pourrait aussi participer au maintien général de la couche (fig.III.32). Dans les sols, les éclats de céramiques sont connus pour la décoration de surface. Un exemple (en mauvais état) nous est apparu lors de la fouille du « bâtiment maçonné sud-est » du site de Molesme « Sur-les-Creux » (Côte d'Or), pour un état originel d'une pièce peut-être non couverte ou donnant sur

¹⁹ « *Quare maxime ex ueteribus tegulis testa structi parietes firmitatem poterunt habere* » (texte établi par Callebat).

²⁰ Repérés notamment à Jerash (Jordanie), dans l'enduit peint de l'autel du temple hellénistique du sanctuaire de Zeus.

l'extérieur ; les éléments de terres cuites proviennent de la fragmentation d'amphores (du reste retrouvées en nombre sur le site).

A part ces quelques références, la totalité des mortiers et bétons de tuileaux, de maçonnerie, d'enduit ou de sol, est préparée avec des fragments de terres cuites architecturales (TCA) pilées. Ce qui frappe l'analyste dans l'immense panoplie des matériaux étudiés, ce n'est pas tant la diversité dans la nature des TCA, attendue dans la globalité, mais la récurrence des mélanges de TCA pour chaque composition de chaux et de tuileau. Les mortiers ou bétons constitués d'un seul type de tuileau sont relativement rares. Une telle observation permet de confirmer deux hypothèses. La première : l'origine du tuileau vient des pratiques de récupération d'éléments architecturaux, et non d'un circuit indépendant de fabrication, car un seul type d'éléments se retrouverait, toujours le même pour tous les matériaux à base de tuileau (pour une même phase de construction du site et pour un même atelier). On ne peut toutefois pas dire s'il s'agit de déchets après utilisation ou après cuisson (ratés de fabrication). Deuxièmement, devant la pratique avérée de récupération et la diversité des TCA, on serait peu avisé de considérer les briques comme seules sources du tuileau et, malgré la nouvelle interprétation du texte de Vitruve, considérée que les tuiles ont elles aussi été pilées pour la fabrication du tuileau.



Fig.III.32. Tessons de céramiques centimétriques dans le mortier d'un enduit extérieur, autel du temple hellénistique du sanctuaire de Zeus (Jerash).

Le tuileau est considérée comme une « pouzzolane artificielle ». Nous avons vu précédemment quels étaient les apports de cet élément pour les propriétés du liant de chaux. Un des points soulevés est l'importance de la granulométrie des fragments sur le caractère hydraulique du mortier (et secondairement sur sa coloration). Bien choisis et bien dosés, les

fragments de TCA confèrent au mortier ou au béton des qualités exceptionnelles. Une question toute simple se doit d'être posée : pourquoi le monde gallo-romain n'a-t-il pas fait du tuileau son granulat principal, celui employé pour tous types de fonction ?

Il y a plusieurs raisons à cela. La première est technique. Le domaine des mortiers et bétons de tuileau gallo-romains est riche de réussites, mais aussi d'insuccès. Cette technique est plus hasardeuse que celle bien éprouvée mêlant chaux et sable ou gravier naturel, car les TCA sont déjà, de fait, un matériau dont la qualité peut ne pas répondre aux exigences de la maçonnerie, notamment dans le domaine des mortiers fins, où la poussière de tuileau se doit obligatoirement de réagir avec la chaux, au risque sinon de n'obtenir qu'un matériau aux propriétés mécaniques inadaptées²¹. Pour les bétons de sol, la résistance de l'ouvrage passe généralement par une forte épaisseur, d'une part, mais surtout par l'emploi de « cailloux » dont la résistance mécanique dépasse assez largement celle de toutes les terres cuites.

La deuxième raison est certainement liée à l'économie générale du chantier. L'approvisionnement en fragments de tuiles et briques ne devait pas se faire avec autant de facilité que celui en granulat naturel, les ressources étant limitées à la production et à la récupération des TCA (ceci est d'ailleurs un des points nous amenant à considérer la contribution des officines de fabrication de terres cuites *via* leurs « ratés »). Les essais de métrologie, effectués par Pascal Vipard pour la *domus* du « Bas-du-Vieux » (Calvados ; Rioult et Vipard 1999), nous permettent d'illustrer la quantité nécessaire de sable naturel pour monter les murs d'un édifice de taille : entre 14 et 52 m³ pour cette *domus*. Un stock de tuileau de cette importance aurait certainement eu un coût considérable, et aurait vraisemblablement laissé peu de réserves pour l'application de mortiers d'étanchéité (enduits surtout) qui possèdent un véritable rôle.

Ce rôle renvoie à la troisième raison qui pourrait être culturelle. Le tuileau est dans son ensemble caractéristique des ouvrages ou des problèmes d'hydraulique ou de résistance à l'humidité ; ce qui permet parfois de conclure sur l'origine de tel ou tel échantillon, sans autre information archéologique. Rares sont les murs dont le mortier de blocage contient du tuileau (parfois pour les bains, comme à Escolives-Sainte-Camille et au Vieil-Evreux). Cela est d'autant plus surprenant que le tuileau est une pouzzolane artificielle et que la pouzzolane naturelle est le granulat de prédilection pour les mortiers de maçonnerie lorsqu'elle est présente dans l'environnement géologique (nous pouvons renvoyer aux mortiers des environs

²¹ La recherche sur la réactivité des argiles chauffées et non chauffées montre les dangers d'une généralisation hâtive pour ces produits des caractéristiques de pouzzolane de remplacement (cf. chap.I.2.4d).

de Rome ou de Pompéi, mais cela se vérifie aussi en Gaule, dans les mortiers de la ville de Clermont-Ferrand par exemple²²). La lecture du texte de Vitruve montre que cet architecte ne considérait pas le tuileau comme une pouzzolane de remplacement, ces matières premières n'étant jamais mises en concurrence. Le parallélisme en Gaule romaine entre le tuileau et l'hydraulicité milite pour une habitude profondément ancrée dans la technique des maçons, tendant à réserver l'usage du tuileau aux constructions en milieu humide ou de fortes températures (contextes « extrêmes »).

A considérer l'ensemble des raisons que nous venons d'évoquer, à la fois technique, économique et culturelle, il apparaît que le tuileau ne pouvait pas vraiment devenir le principal granulats employé pour les mortiers de maçonnerie.

III.2.2. Mise en œuvre, le chantier

« On remarquera tout d'abord la parfaite homogénéité des sables à l'intérieur d'une même construction comme le temple de Janus ou l'enceinte d'Autun. Ceci prouve au moins une constance dans le travail, l'emploi du même matériau pour édifier des volumes énormes de maçonnerie, et aussi l'uniformisation du matériau lui-même ».

Voilà comment commençait la conclusion de l'étude de M. Frizot sur les mortiers de la ville antique d'Autun (Frizot 1975, p.219). Ces réflexions renvoient de façon directe aux chantiers de construction, signalant la rationalisation des pratiques de maçonnerie, avec l'utilisation d'une seule source de sable pour toute la construction, quelle que soit son ampleur, et la constance de la mise en œuvre des matières premières suivant une recette parfaitement respectée.

L'alimentation en matières premières (sable et chaux) d'un chantier d'envergure demande une organisation susceptible de fournir en continu les volumes nécessaires à la construction. Il ne peut donc en aucun cas s'agir d'une exploitation non préparée, fonctionnant par à-coups, en fonction des besoins du chantier. La tâche d'approvisionnement du chantier en chaux et sable était dévolue par contrat « indifféremment » au directeur du chantier ou au commanditaire, suivant les clauses du document (Anderson 1997).

²² Observations personnelles.

a) La gestion de la matière première : les proportions chaux/granulat

L'ampleur des chantiers aurait parfaitement expliqué des changements de source de granulat des mortiers de maçonnerie, intervenus durant l'élévation des différents édifices que nous avons eu à étudier. Il n'en est rien pour la phase première et principale de construction : chaque chantier a bénéficié d'un apport continu d'un même granulat provenant, si ce n'est obligatoirement d'un même lieu d'extraction, au moins d'une même formation géologique. Néanmoins, à regarder l'intégralité des phases de constructions, transformations et réfections, rares sont les édifices qui ne sont constitués que d'un seul type de sable ; mais ceux-là sont généralement à durée de vie très courte. Une telle persistance de la source se perçoit sur certains sites, de façon fort paradoxale, par une évolution progressive des mortiers de maçonnerie marquant l'avancement du chantier et l'hétérogénéité de la formation source (au Vieil-Evreux et à Allonnes). Cette unicité de l'approvisionnement témoigne des durées relativement courtes (quelques années, jusqu'à quelques décennies au maximum) des chantiers de construction des édifices, et d'une politique d'approvisionnement fondée sur des accords préalables et des pratiques parfaitement maîtrisées, avec prélèvement du sable très localement dans la mesure du possible.

Ce sable était ensuite mélangé à la chaux avec de l'eau. Les proportions relatives chaux-granulat ne sont pas aussi fixes que celles des textes des architectes antiques. Plusieurs tendances ressortent, la première étant la variation des teneurs suivant la fonction des mélanges. Il faut effectivement se rappeler que des évolutions sont parfois perceptibles dans les enchaînements de couches des enduits (peints ou non). Cette famille de matériaux présente parfois pour la dernière couche (celle de finition) des teneurs en granulat extrêmement faibles. Les sols maçonnés se singularisent au contraire par de nombreux mélanges aux teneurs en granulat très fortes, la chaux jouant exclusivement un rôle de liaison des éléments, sans de surcroît parvenir à combler tous les pores (vides résiduels observés) ; cela s'observe toutefois uniquement pour les bétons, et plus particulièrement ceux à graviers naturels. En dehors de ce point, aucune correspondance entre nature(s) du granulat et proportion chaux-granulat n'a été découverte.

Curieusement, c'est dans le vaste domaine des mortiers de maçonnerie que nous avons rencontré l'intervalle de variabilité le plus restreint. Cependant, dans la littérature, plusieurs teneurs ressortent. Pour Frizot et les différentes références consultées par cet auteur, les proportions sont très variables, avec des teneurs en volume chaux éteinte-agrégat allant de 1:1

à 1:5 pour les mortiers de chaux et de sable, et autour de 1:2 pour ceux à tuileau. Les proportions 1:2 et 1:3 (qui correspondent au texte de Vitruve) sont toutefois pour l'auteur les plus abondantes (Frizot 1975, p.304), car correspondant à des proportions de « sens commun ». Nos résultats tendent à montrer une large variabilité des teneurs, mais dans un intervalle réduit de variations. Les proportions qui apparaissent sont en effet comprises entre 1:1 et 1:4, mais plus particulièrement entre 1:2 et 1:3 (voir fig.III.28). Cette relative homogénéité s'explique donc aisément puisqu'il s'agit de teneurs « raisonnables » d'un point de vue technique, sans néanmoins constituées les bornes physiques de ce qui peut être mis en œuvre. Les *structores* ont donc eu le loisir d'adapter leurs recettes en respectant une règle simple : laisser à la chaux et au granulat un bon équilibre, sans que l'un prenne démesurément le pas sur l'autre.

b) Le respect de la recette, les pollutions, les erreurs

« La constance dans le travail », c'est un des points avancés par M. Frizot. Cependant, nombre d'archéologues hésitent encore à croire possible une application scrupuleuse d'une recette à l'échelle de tout un chantier, pour tout un édifice, sachant le nombre potentiel d'intervenants et la durée d'une construction. Il faut pourtant se rendre à l'évidence, lorsqu'une composition est fixée, elle est respectée. Les proportions et la nature du granulat sont invariantes²³, d'un bout du mur à l'autre, d'un mur à l'autre, d'une pièce à l'autre, voire d'un bâtiment à l'autre, tel le cas saisissant de la ville d'Arles. Ceci sous-entend une stricte organisation, peut-être autoritaire, et un savoir-faire certain. J.-P. Adam explique justement la réussite des constructions romaines en ces termes : « La standardisation des matériaux de construction produits en immense quantité [notamment les briques et les moellons calibrés] est un des secrets de cette incroyable rapidité d'exécution, mais il convient d'y ajouter en corollaire, une planification admirable du chantier et la totale docilité de la main-d'œuvre, très certainement dressée, plus encore que formée, à l'accomplissement de tâches définies et simples » (Adam 1995, p. 84). Cette main-d'œuvre peu qualifiée devait être embauchée au gré des besoins parmi une population de travailleurs saisonniers. Les travaux plus particuliers étaient dirigés ou effectués par des « spécialistes », organisés en officines²⁴.

²³ Ce qui permet d'ailleurs à l'analyste de valider son approche typo-chronologique.

²⁴ Voir Anderson 1997 pour la discussion sur le statut des différents intervenants du chantier.

Si la recette est respectée, il arrive parfois que l'on repère des petits éléments qui, par comparaison avec tous les échantillons caractéristiques du type de mortier, peuvent s'interpréter comme des « erreurs » de préparation ou des ajouts involontaires (on parle de « pollutions » dans ce deuxième cas). Le meilleur exemple nous vient des thermes de l'Esplanade (Arles). Trois types de mortier peuvent de façon certaine s'identifier comme des dérivés du type principal caractéristique de la construction de l'édifice. Le type QDE-MS6 est un mortier de chaux et de sable caractérisé par des micro-fragments de charbons de bois qui proviennent de toute évidence d'une faille dans le mode opératoire (cf. chap.II.2/K), peut-être volontaire, mais dans tous les cas malheureuse au vu du résultat. Nous sommes enclins à interpréter la présence des charbons comme une mauvaise extraction de la chaux vive du four (récupération des charbons avec les blocs de chaux vive) et/ou un mauvais traitement de la chaux lors de la phase d'extinction (la flottation des charbons permet de les récupérer). D'une manière générale, les charbons de bois sont présents de façon régulière mais occasionnelle dans les mortiers gallo-romains, parfois d'assez grosses dimensions.

Les erreurs d'application d'une recette ne sont jamais précisément liées au granulat ; c'est dans le travail de la chaux que l'on perçoit les fautes. La deuxième récurrence de ces petits défauts, après les charbons, correspond aux « grumeaux ». Les pustules blanches de Vitruve (*De Architectura*, VII, 2) rentrent dans cette catégorie : « dans la chaux qui est employée en sortant du fourneau avant qu'elle soit suffisamment éteinte, il reste quantité de petites pierres moins cuites qui font apparaître sur l'ouvrage comme des pustules » (traduction Perrault). Nous répertorions cependant sous ce terme plusieurs types de nodules blancs de genèse différente :

- calcination incomplète,
- extinction incomplète,
- carbonatation précoce du liant avant mise en œuvre, suite à de mauvaises conditions de conservation,
- brassage incomplet du mélange lors du gâchage,
- ajout de chaux vive pour accélérer la prise.

L'aspect et la texture du nodule blanc observé dans le mortier pourront éventuellement renseigner sur son origine. Les « incuits » ou mal-cuits seront les plus rapides à reconnaître car pas totalement convertis à l'état de poudre, parfois encore partiellement pourvus de leur

structure d'origine, nous renseignant dans le meilleur des cas sur la pierre à chaux exploitée. Toute la chaîne opératoire de fabrication du mortier est susceptible de générer ces petits éléments disgracieux et *a priori* peu souhaités pour la tenue du matériau. Ils sont diversement fréquents à travers les sites étudiés, mais toujours plus ou moins représentés (comme les charbons). Ils sont globalement peu fréquents dans les couches d'enduit peint. Les mortiers de maçonnerie sont les matériaux les plus habituellement chargés de grumeaux, de dimensions variant de quelques dizaines de μm à plusieurs mm. Les mortiers des thermes du Vieil-Evreux (Eure, milieu II^e ap. J.-C.) sont parmi les plus riches en grumeaux, ce qui ne les empêche pas d'être durs et résistants (le durcissement de la matrice est indépendante de la présence des grumeaux). A peu près à la même époque et pour une recette très proche, les mortiers d'Allonnes (Sarthe, début II^e ap. J.-C.) en sont relativement dépourvus. Lorsqu'un matériau possède ces éléments, c'est l'ensemble du volume correspondant au même type de mortier qui en est doté, tendant à démontrer une origine en amont de la mise en œuvre. Une origine liée au gâchage est envisageable si l'on considère une équipe dédiée à cette unique tâche, une autre s'occupant de l'application du mélange. L'essentiel des grumeaux est de texture poudreuse, ce qui nous fait dire que leur origine serait plutôt à rechercher dans une mauvaise extinction de la chaux vive et/ou un brassage insuffisant lors du gâchage (même si la répartition du sable dans le mélange est homogène). Concernant l'ajout de chaux vive ou l'emploi de celle-ci lors de la préparation, aucune donnée ne permet de discuter la réalité.

Pour en revenir aux thermes de l'Esplanade, deux types de mortiers (QDE-MS3 et MS5) se distinguent par la présence de constituants secondaires interprétés comme des pollutions, c'est-à-dire des ajouts involontaires au mélange décidé. Il s'agit chaque fois, pour ces deux mortiers, de fragments d'un autre mortier de chaux, de composition assez différente de celle de « l'encaissant »²⁵ pour pouvoir être reconnue (voir figures I.15). Dans notre corpus, cette famille d'ajout est parfois apparue en fragments assez gros pour permettre une comparaison avec tous les mortiers du site, et éventuellement rattacher le matériau à une autre phase de construction de l'édifice. Mais la question n'est plus de leur identification (cf. I.2.3a) ou de leur intérêt (cf. chap.II.2/K), mais bien de comprendre un fait qui a pris de plus en plus d'importance au fur et à mesure que nous l'observions. Les fragments de mortiers sont toujours en faible proportion. Ils sont de formes arrondies. Leurs dimensions sont comprises dans la gamme granulométrique des sables. Tout concourt donc à faire de ces éléments des « pollutions » plutôt que des ajouts volontaires. On peut citer deux exemples de type de

²⁵ On utilisera ce terme pour désigner le mortier intégrant des petits fragments d'un autre mortier.

récupération avérée des liants de chaux : les parpaings de béton en remploi comme parement de mur et les blocs de béton ou les nodules de mortier retrouvés dans le blocage des murs²⁶. Les éléments de la dimension des sables, perdus en petite quantité dans les mortiers de maçonnerie et parfois dans les enduits peints, ne se justifient guère par un souci économique de substitution au sable ou à la pierre naturelle, ressources elle-mêmes peu coûteuses. La présence des petits éléments de mortier est associée à la vie des chantiers qui mêlent à la fois travaux de construction et de destruction, engendrant des fragments de liants architecturaux inmanquablement abandonnés au pied de l'édifice, à proximité des lieux de gâchage.

Le type QDE-MS3 a la particularité de montrer, en plus des éléments de mortier, des petits éclats anguleux de marbre. Leur proportion est faible. Leur origine aurait pu provenir du broyage d'un enduit peint qui aurait par la même occasion fournit les fragments de mortier (des fragments de couche picturale ont été observé dans le mortier), mais aucun cristal de marbre ne présente une gangue de chaux indiquant son appartenance à un précédent mélange. Ces éclats se rattachent aux éléments décoratifs de placage de marbre blanc retrouvés sur le site ; ils ont été incorporés de la même manière que les éléments de mortier ; leur origine serait liée à une intervention des décorateurs sur une partie de l'édifice déjà terminée au moment où la structure dont provient notre échantillon était en cours de construction.

Les pollutions semblent donc liées à une incorporation tardive d'un élément étranger à la recette lors de la préparation sur le chantier. Il ne faut pas oublier que l'opération de gâchage ne bénéficiait sans doute pas d'une « aire réservée » (aujourd'hui il s'agirait d'une bétonnière), mais que l'on préparait la zone au dernier moment sur le sol. Il n'est donc pas surprenant de retrouver de temps à autre des éléments incorporés au hasard du moment, soit des éléments du sol (de la terre), soit des restes de précédents gâchage (mortier donc, mais aussi divers granulats). Les exemples les plus nombreux, car aisés à repérer, correspondent aux petits fragments de tuileau qui viennent couramment, mais épisodiquement, s'immiscer dans les mortiers de chaux et de sable employés dans les maçonneries. On peut supposer une contemporanéité de mise en œuvre de plusieurs liants dans une même phase ou dans une continuité de construction ; on peut aussi envisager que traîne sur le sol de petits éléments de destruction ou d'altération naturelle des composants architecturaux du bâtiment, incorporés par inadvertance lors de travaux de restauration ou transformation.

²⁶ Nous avons par exemple observé des fragments d'enduit peint dans le blocage de murs des thermes de l'Esplanade (Arles) et des petits blocs de mortier de maçonnerie d'une première phase de construction dans le blocage d'une structure des thermes du Vieil-Evreux ajoutée dans un deuxième temps.

c) Les « petits plus » (les ajouts) et la qualité de la mise en oeuvre

La frontière entre des éléments venus « polluer » la recette originelle et ceux venus la « renforcer » est difficile à fixer car elle repose sur une valeur non quantifiable ; le statut attribué à tel ou tel ajout dépend de la confrontation des toutes les données archéologiques. Les ajouts volontaires constituent une gamme de pratiques assez particulières, dont nous pouvons aisément présumer des motivations (ce qui nous permet d'ailleurs d'affirmer leur statut). Ces matières premières ajoutées sont avant tout le tuileau et la paille.

Le tuileau est parfois présent pour une recette dans une proportion qui pourrait être qualifiée de négligeable si elle n'était pas constante. Nos exemples proviennent surtout d'édifices thermaux, les thermes du Vieil-Evreux, les thermes de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille ainsi que les piédroits de l'aqueduc de Rungis, mais il s'agit chaque fois de mortiers de maçonnerie, et non d'enduits ou autres produits directement en contact avec l'eau, ce qui peut déjà expliquer la faible teneur en tuileau. La présence du tuileau est motivée par une volonté évidente d'améliorer les qualités du matériau, mais cela se manifeste comme un ajout par « acquit de conscience », un « petit plus » supposant la présence de tuileau, même en faible quantité, susceptible d'améliorer les propriétés du mélange chaux et sable naturel. La mise en œuvre d'un « vrai » mortier de tuileau n'est pas intervenue car il ne s'agissait pas de matériaux directement soumis à une circulation d'eau²⁷, et que construire les murs en mortier de tuileau n'est jamais vraiment rentré dans les codes et habitudes du monde gallo-romain (cf. *supra*).

Nous avons peu évoqué les végétaux, et en particulier la paille. Pourtant, c'est un agrégat qui revêt une importance certaine dans les pratiques des liants de chaux, surtout dans le domaine des enduits si l'on en croit Vitruve (*De Architectura*, II, 4) qui l'évoque indirectement lorsqu'il conseille l'emploi de sable de rivière. La paille est un matériau « ancestral », d'utilisation multiple, pour le torchis, pour les adobes, etc. Nous ne l'avons observé pourtant que quelques fois durant nos travaux sur les enduits peints, en traces, rarement en quantité relativement importante : types MS2, en couche (a) ou (b), et MS6, en couche (c), pour Ribemont-sur-Ancre ; assemblage A couche (b) et assemblage B couche (c) pour Eu. Le domaine des mortiers de maçonnerie est un peu plus riche en occurrence de paille, mais il s'agit chaque fois de teneurs faibles. Si l'on peut éventuellement parler de pollution pour plusieurs cas, il semble toutefois que l'ajout de paille aux mortiers soit une

²⁷ Voir aussi la discussion sur les aqueducs.

pratique assez répandue, mais toujours avec une approche minimaliste de cet ajout. Les végétaux sont, comme le tuileau précédemment, un moyen pour les maçons gallo-romains de se « tranquilliser » en incorporant à leur mélange chaux et granulat un autre élément susceptible d'améliorer les qualités du matériau (sa cohésion), la paille, au même titre que les poils des animaux, permettant de créer un réseau de fibres armant le mortier, mais cela seulement lorsqu'elles sont présentes en quantité. Cette pratique d'ajout de paille en faible quantité se repère dans les enduits où elle fut *a priori* employée pour améliorer la tenue des couches, et dans les mortiers de maçonnerie les plus terreux/argileux.

Une qualité accrue de la mise en œuvre, de l'application du mélange, venait parfois renforcer les propriétés escomptées du matériau, ou pallier les défauts des matières premières. Cela correspond essentiellement à la compaction du blocage lors de la construction des murs, au damage des bétons de sol et au polissage des couches d'enduit. Ces techniques ont pour objet d'augmenter la densité du matériau et la compacité du granulat. Il en résulte une baisse de la porosité, une orientation préférentielle des vides et du granulat (ce qui est important pour les enduits afin d'obtenir le « poli » du marbre) et une résistance mécanique plus grande. Nous avons fréquemment observé ces pratiques, mais elles sont les plus récurrentes dans les couches les plus externes des enduits peints.

III.2.3. Conclusion : le chantier ou la rencontre de la géologie et de la technique

Pour les mortiers de chaux et de sable employés dans la construction, toutes les études que nous avons effectuées et consultées dans la littérature montrent un choix du sable pleinement ancré dans l'environnement géologique proche. Mais, si certains environnements sont caractérisés par une très faible diversité de formations meubles susceptibles d'être exploitées, d'autres au contraire se distinguent par leur grande richesse. Dans le premier cas la géologie locale exerce une contrainte forte sur la nature du matériau qui sera mis en œuvre, tandis que dans le deuxième cas de figure le responsable pourra effectuer son choix.

Le choix d'un granulat naturel va être motivé par deux critères forts : la composition au sens large de la formation géologique et son accessibilité. Le premier critère englobe la perception des Anciens de la bonne convenance des caractéristiques physiques du sable (ou des graviers) avec l'utilisation du mortier (ou béton). Il est logique de considérer ce point comme dominant dans le choix du sable naturel, mais il semble qu'il faille fréquemment reconsidérer cette importance.

L'accessibilité, couplée à la proximité des sources potentielles de granulat, a primé sur plusieurs sites dans le choix du « sable ». Ce dernier doit alors se mettre entre guillemets, sa nature étant rarement parfaitement sableuse, des impuretés s'y retrouvant. Ce cas a été cité plusieurs fois pour des sites de Bourgogne (Frizot 1975, notamment Champallement et Crain), avec l'utilisation d'un granulat argileux ou terreux prélevé sur place, alors que des sables « bien lavés » pouvaient être puisés dans des formations peu distantes. Ce choix s'est fait essentiellement pour les mortiers de maçonnerie, mais se repère aussi pour les enduits peints. Ces matériaux devaient sans doute être perçus comme loin de présenter toutes les qualités requises, l'ajout modéré de paille se faisant alors fréquemment.

Mais l'environnement naturel ne peut fournir toutes les ressources adéquates et nécessaires. Lorsque les artisans jugeaient la qualité de leurs matières premières comme inadaptée, et lorsque cela leur était économiquement possible, ils intervenaient sur celles-ci pour créer ce qu'ils souhaitaient. Voilà pourquoi l'environnement géologique explique la variété des compositions observées et pourquoi la technique (gallo-)romaine explique, paradoxalement, l'apparente homogénéité de la gamme des recettes en Gaule.

QUATRIEME PARTIE :

LE METIER ANTIQUE « DU MORTIER DE CHAUX »

IV. Le métier antique du mortier de chaux

IV.1. Doit-on attendre une spécialisation du travail ?

Malgré la pluralité des destinations architecturales pouvant nécessiter aux yeux des *structores* gallo-romains un emploi de matériaux particuliers, il est difficile de concevoir une spécialisation poussée à l'extrême des équipes ou des artisans (Blanc 1983). Les ouvriers qualifiés pouvaient vraisemblablement se regrouper en *collegia* (Anderson 1997), sortes de sociétés où se retrouvaient les compétences de chacun, des *mensores* (ingénieur qui fait les mesures) aux peintres, en passant par les tailleurs de pierres et les maçons (les *structores* pour la construction et les *tectores** pour le revêtement des murs), mais sans réel statut d'entreprise, telle que nous la concevons de nos jours. Certains bâtisseurs pouvaient néanmoins se spécialiser dans une construction spécifique (bains, aqueducs) ou dans une phase précise de la construction (l'élévation des murs, par le *faber structor parietarius* ; Anderson 1997, p.115). Le regroupement des équipes en atelier ou *collegia* n'est pas une règle absolue, le conducteur du chantier (le *redemptor*) pouvait faire appel à tels ou tels spécialistes suivant ses besoins et ses connaissances.

IV.2. Les ateliers de *tectores*

Les ateliers de *tectores* sont les ateliers les plus couramment envisagés d'ouvriers spécialisés dans un domaine exclusif. L'idée de leur indépendance vis-à-vis des autres groupes d'ouvriers est implicitement déduite des besoins en artisans capables de retravailler une paroi dont le décor n'est plus souhaité, qu'il soit en mauvais état ou passé de mode. Si cela se comprend pour une phase de restauration des décors, il devient plus problématique de considérer les enduits (peints ou non) comme coupés des autres matériaux pour la première phase de construction. D'autant plus que des équipes affiliées à de grandes familles mêlaient *tectores* et *structores* (Blanc 1983, p.885). Plusieurs sites ont montré la contemporanéité de la pose des peintures et de celle des sols, tel l'exemple de la *villa* d'Orbe-Boscéaz en Suisse (fig.IV.1, Dubois 1996). On ne peut concevoir dans ce cas l'intervention décalée de l'équipe de *tectores* intervenant pour clôturer le chantier par la pose du décor des parois.

Celle-ci faisait partie intégrante de l'ouvrage, prévue à l'origine, au point que l'on ressent dans les maçonneries de Pompéi, celles au blocage interne terreux dont la tenue était assurée par un coffrage permanent d'enduit en mortier de chaux, que des « reports de finances » s'effectuaient sur les enduits : ils venaient masquer et parer par leur qualité la médiocrité des maçonneries ; dans ce cas, le soin de la mise en œuvre des enduits était d'autant plus grand que les liants des murs étaient de piètre composition. Nous le retrouvons dans une moindre mesure sur les sites de Ribemont-sur-Ancre et de Molesme. Les mortiers de maçonnerie de ces deux sites sont de qualité « moyenne », préparés avec un sable relativement terreux, tandis que le support des peintures bénéficie de mortiers de composition témoignant à la fois de choix et de traitements particuliers des matières premières²⁸.

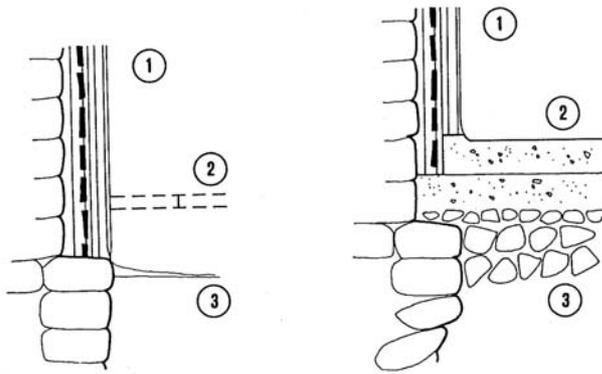


Fig.IV.1. Deux exemples, dans la villa d'Orbe-Boscéaz, de pose de l'enduit : avant celle du sol (à gauche), ou concomitante (à droite). (In Dubois 1996).

Il est tout à fait étonnant de noter la correspondance entre les mortiers d'enduit et les mortiers de joints de toiture, plus spécialement les joints de *tegulae* et *imbrices* qui montrent, aussi bien au Vieil-Evreux, à Ribemont-sur-Ancre, qu'au *fanum* de Crain, une composition et/ou des matières premières proches de celles des enduits peints et différentes de celles du gros-œuvre. Il semble que l'on ait, chaque fois, une même réponse à un problème technique : pallier les défauts des mortiers de maçonnerie qui apparaissent lorsque l'on aborde d'autres fonctions architecturales, plus directement soumises au jugement des hommes et à la dégradation par les intempéries, et aussi moins exigeantes en volumes de matériaux. Pour les trois sites pris en exemple, les mortiers de maçonnerie pèchent par leur qualité apparente (présence de terre). On aura voulu préparer autrement les mortiers de toiture, avec un choix et

²⁸ Pour exemples, à Ribemont : choix de cristaux de calcite et, pour le sable, tri et lavage (?).

un traitement de la matière première plus rigoureux, tout autant que les enduits. Le parallélisme que l'on peut effectuer entre ces mortiers de toiture et ceux d'enduit témoigne soit que les différentes équipes spécialisées, confrontées au même problème, sont arrivées quasiment aux mêmes solutions techniques, soit au contraire que la même équipe, devant ces problèmes, a adapté sa solution technique pour chaque utilisation.

Dans une optique d'autodétermination « faible » des techniques (Akrich 1994), le champ des possibles serait régi par les caractéristiques physico-chimiques du matériau, mais contrôlé par ce qui est acceptable ou considéré comme tel par les maçons, c'est-à-dire ce qui leur paraît adéquat pour la réalisation souhaitée. Des solutions identiques peuvent donc se retrouver dans une région marquée par une homogénéité géologique car elles découlent le plus souvent de choix dictés par les matériaux eux-mêmes. Mais si cela est vrai pour les matériaux, la question est toute autre pour les combinaisons architecturales ou stratigraphiques des produits.

La préparation du support d'un enduit répondait à l'époque gallo-romaine à des critères qui étaient plus ou moins bien intégrés dans les codes de l'époque et/ou de la région. Ainsi, pour exemple, l'emploi en épiderme d'une couche de faible épaisseur et de granulométrie fine, exempte au mieux de toutes les impuretés, se présente comme une règle forte mais transgressée dans un certain nombre de cas. Dans une même région géologique, on ne peut donc concevoir la possibilité de l'application, par différents ateliers, de deux supports identiques, constitués de couches de compositions identiques disposées dans un même ordre. De fait, un assemblage stratigraphique, par la composition de ses couches et par leur agencement, doit pouvoir se rattacher à une équipe unique de fresquistes et, par analogie, différents assemblages stratigraphiques proches les uns des autres renvoient, non pas de façon certaine mais avec de fortes présomptions, vers la même équipe. Il est donc en théorie possible de suivre la circulation d'un atelier. De la théorie à la pratique se pose la notion de patrimoine technique local qui, par diffusion au sein de la communauté des *tectores* d'une ville ou d'une région, viendra brouiller la trace des ateliers (cf. *infra*).

Les ensembles de peintures murales découverts ces dernières années dans la ville d'Aix-en-Provence sont les seuls, avec ceux de Corseul, à pouvoir permettre une recherche d'atelier. Plusieurs assemblages stratigraphiques frappent par leur ressemblance. A chaque changement de site une petite variation s'insinue : une couche en plus (ou en moins), un changement de granulat principal pour la couche d'épiderme ou une teneur plus importante en argile pour la couche d'accrochage. Ces infimes évolutions de support paraissent bien plus

témoigner de variations au sein d'une même technique de préparation que de l'application de plusieurs techniques proches. Il pourrait donc s'agir de l'intervention d'une même équipe sur divers bâtiments et non d'un témoignage d'une pratique commune à plusieurs ateliers lors d'une phase courte de construction de la ville. L'exemple de Corseul frappe par sa similarité, puisque pour deux sites différents se retrouve un même support, ainsi qu'un autre à une inversion près d'une couche. Il s'agirait là aussi d'un même atelier, changeant ses pratiques, peut-être pour répondre à un problème architectural particulier.

IV.3. Les programmes architecturaux

L'étude de l'Arles antique cherchait à définir l'ensemble des recettes de fabrication de liants architecturaux pour différentes époques, pour tout un ensemble d'édifices publics, à l'échelle d'un complexe riche mais limité dans l'espace. Le nombre de bâtiments étudiés nous a permis d'effectuer des comparaisons de liants de mêmes époques, mais de provenances différentes. Le résultat le plus surprenant est sans conteste la possibilité de repérer, au sein d'un lot de types de mortier à la parenté resserrée, des types particuliers parfaitement cadrés chronologiquement et employés dans un même temps sur plusieurs édifices.

Ces monuments, que l'on peut rapprocher par la nature de leurs liants architecturaux, sont des édifices publics, dont la construction a été guidée par un souci de reproduction de la grandeur de Rome (motivée par le statut de « colonie romaine » de la ville). Ils répondent donc à plusieurs programmes architecturaux cohérents décidés par les autorités ; à Arles, le premier projet, augustéen, était le plus riche. D'après nos résultats, il semble que nous puissions associer un ou plusieurs types précis de mortier de maçonnerie à chaque programme architectural.

L'homogénéité des mortiers pour une même époque pourrait s'expliquer par l'existence d'un contrat unique entre le représentant de l'Etat (le censeur) et un entrepreneur. Ce dernier s'engageait à exécuter les travaux selon les conditions précises fixées dans le cahier des charges (Blanc 1983). L'ampleur des travaux et la puissance du commanditaire impliquent une politique globale de gestion des chantiers qui, pour le programme augustéen, n'a pu qu'ôter toute originalité et liberté aux équipes qui sont intervenues (malgré probablement de multiples combinaisons temporaires de petites unités ; Blanc 1983). La recette était définie, il n'y avait plus qu'à l'appliquer.

Cette recette n'a quasiment pas évoluée durant les deux siècles suivant, les mêmes matières premières et proportions relatives chaux/granulat se retrouvant à peu de choses près (de 1:1 à 1:3) à la fin du I^{er} s. ap. J.-C. et au II^e s. ap. J.-C. Vite éprouvée, correspondant à certaines règles déjà formalisées (les écrits de Vitruve en témoignent), elle aurait perduré, aidée en cela par l'abondance de la matière première et sa relative homogénéité dans l'environnement géologique local. La gestion des programmes monumentaux successifs de la ville n'a pas non plus beaucoup changée puisque, s'ils sont moins importants que sous Auguste, ils ont généralement œuvré pour plusieurs édifices, soit construits intégralement, soit par des transformations, ajouts ou restaurations.

L'agglomération du Vieil-Evreux permet d'ores et déjà d'entamer une comparaison. Bien qu'actuellement seuls les mortiers des thermes soient étudiés, plusieurs édifices, se dévoilant partiellement au promeneur, ont été examinés. Parmi eux, l'aqueduc et le temple monumental, dont le développement maximum se situerait entre la fin du II^e s. et le début du III^e s. ap. J.-C. (Guyard et Lerpert 1999), présentent des matériaux équivalents à ceux employés pour la construction et les transformations des thermes (occupation du milieu II^e au milieu III^e), avec un mortier rose orangé pour le canal de l'aqueduc et des mortiers jaunes à jaune beige pour certaines maçonneries du temple²⁹. Le théâtre, en revanche, semble érigé avec une autre famille de matériaux.

IV.4. Le métier antique : nature, contrôle et évolution

Les indications fournies par plusieurs auteurs antiques suivant les siècles, de Caton l'Ancien (II^e s. av. J.-C.) à Palladius (milieu V^e s. ap. J.-C.), laissent penser qu'une grande variété de recettes devait exister dans le monde romain, d'où la nécessité d'établir des règles. Comme ces conseils étaient issus d'un domaine commun de connaissances techniques, il nous semble maintenant acquis qu'ils furent la transcription, au moins pour les mortiers de maçonnerie et les autres techniques de gros-œuvre, de pratiques déjà largement employées et éprouvées. Cette transcription est loin de représenter toutes les pratiques communes au monde gallo-romain, au même titre que le monde romain dans sa globalité. Nous pouvons rappeler les grands traits caractéristiques du métier antique du mortier de chaux gallo-romain.

²⁹ Un prélèvement a été effectué sur l'aqueduc, deux sur le temple et deux autres sur le théâtre.

IV.4.1. Les caractéristiques principales du métier antique

Le métier antique du mortier de chaux est plus complexe que ce qui nous apparaît au travers de la lecture des textes antiques qui nous sont parvenus. La (péto)archéologie de ces matériaux nous amène à transcrire une autre communauté de pratiques techniques, complémentaire de celle définie dans les rares textes antiques :

a) Le choix de la pierre à chaux et la préparation de la chaux

Le choix de la pierre à chaux se porte sur une pierre locale. Ce choix est parfois dicté par d'autres critères que la seule « blancheur ». L'étude des thermes du Vieil-Evreux, la seule qui nous permette d'affirmer avec exactitude l'origine de la chaux, montre que la proximité n'est pas le seul critère de choix. Le souci d'économie, ce qui sous-tend en réalité le choix de proximité, peut amener les artisans à privilégier des formations géologiques qui seraient autrement mises à l'écart, en préférant, par exemple, celles qui sont déjà exploitées pour fournir les moellons.

La cuisson du calcaire s'effectue *a priori* préférentiellement dans des fours à chaux, tels ceux décrit par Caton, dont on a retrouvé plusieurs exemples. L'architecture fondamentale de ces fours n'a que peu évolué à travers les siècles. Ces fours étaient implantés soit sur les lieux d'extraction, soit dans des domaines ruraux où l'artisanat était actif. La présence de combustible en quantité suffisante dans l'environnement proche était l'un des critères les plus importants.

Le criblage de la chaux était systématique afin d'expulser tous les charbons de bois, sans doute lors de la phase d'extinction puisqu'ils se retrouvaient en surface de la fosse par flottation.

L'extinction et/ou la conservation de la chaux se faisait fréquemment directement sur le chantier. Plusieurs sites montrent des vestiges de petites fosses quadrangulaires à parois de planches de bois ou de dalles de terres cuites, dans lesquelles la chaux éteinte était stockée en prévision de son utilisation (pour des réfections ?).

b) Les maçonneries et les sols de circulation

Les maçonneries sont érigées avec un mortier de chaux et de sable. Le granulat est local, ce qui se perçoit notamment par la continuité de son emploi durant toutes les phases de construction. Il est caractérisé par un très faible traitement, voire, si possible, une absence totale d'intervention sur sa pureté, sa granulométrie et la forme de ses grains. La proportion chaux/granat ne semble pas réglée, elle varie globalement suivant les sites entre 1:1 et 1:4 (limites « raisonnables »), les proportions 1:2 et 1:3 étant les plus communes.

L'emploi préférentiel d'un granulat grossier calcaire, parfois anguleux (obtenu par broyage), est dominant pour les bétons de circulation ne supportant aucun recouvrement.

c) Le domaine du tuileau

L'utilisation du tuileau est essentiellement limitée à des matériaux en contact avec des environnements humides ou de hautes températures, que ce soit pour les sols, les enduits, les joints de toitures et aussi, dans une moindre mesure, dans les maçonneries.

Le tuileau ne doit pas être uniquement considéré comme un substitut de la pouzzolane. Les mortiers de construction de mur sont un large domaine d'application pour ces cendres et tufs volcaniques, ce qui n'est pas le cas pour le tuileau. La terre cuite pilée est, en Gaule, employée en grande majorité pour les enduits et les sols.

La gamme des proportions chaux/granat des mortiers à tuileau se superpose à celle des mortiers de chaux et sable. De même, la granulométrie des terres cuites broyées est aussi riche que celle des grains naturels, de la poussière de tuileau (« silts ») jusqu'aux gros fragments (« graviers »).

Le tuileau est souvent employé seul dans la charge des mortiers et surtout des bétons. L'ajout d'un volume de tuileau aux deux volumes de sable, préconisé par Vitruve (*De Architectura*, II, 5), est aussi noté pour diverses applications, mais c'est une large variabilité de teneurs relatives « sable naturel/ terres cuites pilées » qui est globalement observée.

d) L'utilisation de l'argile

L'utilisation de l'argile est loin d'être négligeable. Elle arrive souvent via le granulat (absence de traitement), mais elle est aussi utilisée comme liant principal pour diverses applications : pour les joints de terres cuites des *pilae* et des soles des *praefurnia*, pour des couches d'accrochages d'enduits peints, etc. L'ajout de chaux s'effectue parfois, en vue d'améliorer la tenue et la qualité du matériau.

e) La diversification des compositions des mortiers de tuileau

La diversification des compositions des mélanges à tuileau pour un même site, voire pour une même structure, suivant les utilisations qu'il en est fait, n'est pas toujours de mise, mais elle est parfois réellement surprenante. D'apparence superflue, elle est en définitive toujours dirigée vers la meilleure adéquation de la composition avec l'utilisation. Les bains des thermes de la *villa* d'Escolives sont actuellement le meilleur exemple de la spécialisation de ces matériaux au sein d'une même structure (une piscine), avec ajout de granulat naturel ou choix de granulométries autres suivant la fonction d'enduit, de sol, de bourrelet d'étanchéité, de banquette, etc.

f) Les liants des toitures : deux fonctions, deux traitements

Les toitures bénéficiaient parfois d'un traitement simple ou double au mortier à base de chaux. La pose de mortier de tuileau, à la base de certaines *tegulae*, assurait une meilleure étanchéité et évacuation d'eau de la charpente. Le jointoiment des *imbrices* avec les *tegulae* qu'elles chevauchent se faisait avec un mortier de chaux et de sable de composition soignée, proche de celle des enduits peints mis en œuvre par ailleurs sur le site, afin d'améliorer la tenue du recouvrement de tuiles.

g) Les enduits peints, un domaine à part

Les enduits peints sont préparés dans leur très grande majorité avec des matières premières locales particulièrement bien sélectionnées ou traitées, afin d'obtenir des matériaux d'une qualité supérieure à ce qui est visible dans les murs des différents bâtiments. Le nombre

de couches de compositions différentes varie de deux à cinq pour l'essentiel. Un minimum de deux est toujours de mise dès lors que l'artisan souhaite pouvoir soigner la finition de l'enduit, avec un granulat plus fin dans la dernière couche. La nature de ce dernier granulat est choisie avec soin, en fonction des possibilités économiques et des nécessités techniques. Suivant les cas on y retrouve du tuileau fin, du sable siliceux (quartz ou silex surtout) « lavé » ou pur, ou encore un sable calcaire ou calcitique privilégiant les éléments à gros cristaux de calcite (monocristaux et fragments polycristallins).

Un cas particulier doit être signalé. Il nous a été possible d'envisager plus précisément le patrimoine technique des *tectores* à l'échelle de toute une ville, grâce à l'étude des échantillons d'Aix-en-Provence. L'existence des ateliers pour le I^{er} s. ap. J.-C. a été pressentie par l'étude des peintures murales et peut être déduite de similitudes et de filiations sérieuses entre les supports (cf. assemblages stratigraphiques A, E et H). Des échantillons de même provenance et de même âge s'écartent des assemblages caractéristiques des ateliers, sans doute pour des raisons « fonctionnelles » (zones moins luxueuses ou plus exposées aux intempéries ; assemblages B et C). D'autres échantillons se rapprochent des assemblages caractéristiques, les matières premières sont identiques, mais les supports diffèrent au point qu'aucune filiation stricte n'a été définie (assemblages G et I). Ces derniers correspondent aux deux seuls échantillons plus tardifs. Les différences sont minimales : elles témoignent d'une persistance dans cette ville d'une pratique de mise en œuvre des supports de peintures murales, fondées, globalement, sur une stratigraphie de trois (à cinq) couches, celle d'accrochage étant riche de diverses familles de granulat (quartz, gravillons de calcaire fin, fragments de roches calcaires à gros cristaux), celle(s) de transition à mélange dominé par les roches calcaires à gros cristaux, et la dernière chargée de calcite, soit des fragments de roches calcaires à gros cristaux, soit des cristaux anguleux de type marbre broyé.

IV.4.2. Contrôle et influences

Ces grands traits caractéristiques du métier des *structores* et *tectores* témoignent d'un patrimoine technique commun au groupe des artisans antiques. Les différentes études que nous avons menées montrent toutefois une large diversité des matériaux et de nombreuses variantes dans les recettes et dans l'application de ces concepts communs.

Ces variantes techniques expriment une règle simple : des tâches sensiblement équivalentes pourront être réalisées de bien des manières différentes. Les variantes se

manifestent dans le choix des matières premières, de leurs traitements, de leurs proportions relatives et de leur mise en œuvre. Les choix seront guidés par la fonction du matériau, par les limites physico-chimiques imposées par le matériau, les propriétés et la durabilité qu'il doit posséder, par les ressources en matières premières, par les impératifs du chantier (coût et rapidité), les demandes des commanditaires, la nature de l'édifice et son statut, par les traditions et standardisations de la communauté (phénomènes culturels), par les innovations ou au contraire les régressions, etc.

On y observe donc les interférences de plusieurs éléments : les besoins, les connaissances, les savoir-faire, l'environnement géologique local et la structure sociale. Ces éléments vont jouer tour à tour dans le choix et le déroulement de la chaîne opératoire. De fait, pour une pratique commune à tous les artisans de Gaule, les résultats observés sur chaque site, ou pour plusieurs phases d'un même site, pourront éventuellement être divergents. L'illustration la plus exemplaire est fournie par le domaine des enduits peints. Nous avons vu que la mise en œuvre de leur support répondait à des « codes » répandus mais souvent transgressés. Même suivis, ces codes permettent toute latitude aux opérateurs telle que diverses techniques de préparation des supports s'observent, suivant les régions ou au contraire au sein d'un même environnement (géologique) ; il suffit de reprendre l'exemple des peintures de la ville d'Aix-en-Provence pour s'en assurer, les enduits de support variant sensiblement, mais peu, d'un site à l'autre. Cette latitude d'ajustement d'une technique pérenne à une situation locale donnée, suivant les compétences et l'habileté (voire aussi l'idiosyncrasie) des acteurs, explique la richesse du monde gallo-romain en mortiers de chaux, supports d'enduits peints et procédés de maçonneries. L'encadrement de la main d'œuvre et le respect des recettes expliquent que cette richesse puisse être perçue comme telle et, par extension, étudiée par la typologie.

a) Les besoins

On regroupe sous ce terme ce qui renvoie à la réalisation de la tâche visée : la réalisation d'un matériau, celle d'un assemblage de matériaux (enduits ou sols), ou la construction d'une structure. La nature de l'ouvrage à réaliser ou la fonction du mortier guidera l'artisan dans le choix des techniques à employer, qu'il puisera dans ses connaissances. Les propriétés et la durabilité nécessaires des liants seront la principale motivation de ce choix.

b) Les connaissances

Les connaissances peuvent être définies comme les représentations, concepts et modalités d'action des acteurs, acquises par imprégnation ou éducation (on les dissocie des savoir-faire). Elles se perçoivent dans la partie commune du métier antique de *structor* et *tector*. Elles sont les traditions du métier, et découlent d'une certaine standardisation des pratiques. Les informations et conseils des auteurs antiques sont une partie de ces connaissances. Ces connaissances portent notamment sur les contraintes physico-chimiques posées par le matériau.

c) Les savoir-faire

Ils correspondent à l'expérience pratique de chaque individu. Une recherche plus approfondie sur les ateliers nous permettrait de pointer les adaptations issues des observations d'un groupe de maçons antiques, les amenant à faire évoluer leur technique entre la réalisation de deux ouvrages pourtant sensiblement équivalents.

Ces savoir-faire permettent de donner une « souplesse » aux chaînes opératoires modèles, autorisant toutes les adaptations en fonction de la richesse de l'environnement géologique en matières premières et des impératifs économiques.

d) L'environnement géologique local

Nous avons vu dans le chapitre III.2 (chantier) qu'il s'agissait d'une composante importante du système. La nature, la pureté, la granulométrie, la proximité, l'accessibilité, etc. des ressources vont nécessiter des choix, de la part des opérateurs, pour une convenance « acceptable » des matières premières avec leur utilisation. Il semble toutefois que les choix effectués dans une région géologique donnée soient rapidement diffusés et acceptés par le plus grand nombre. La pérennité des solutions est alors assurée, et cela malgré, parfois, la richesse de l'environnement.

e) Les contraintes économiques

Le métier antique du mortier de chaux était évidemment régi par des contraintes économiques. Les artisans devaient rarement ne pas être restreints par des limites financières. De fait, toutes les étapes du travail, depuis le choix des recettes jusqu'à leur application, prenaient en compte les nécessités de limitation des coûts. S'ajoutaient sans doute à cela d'autres impératifs de chantier, telle, notamment, la rapidité de la construction.

Le statut de l'édifice était vraisemblablement un paramètre important dans le choix des matières premières et des recettes. Les grands monuments publics, ceux qui se posaient comme la vitrine de la grandeur de Rome dans les provinces gauloises, pourraient avoir drainé une bonne part des compétences et des finances. D'autres bâtiments publics, tel le sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre, laissent en revanche apparaître les limites de l'évergétisme par le report des compétences et des interventions sur les éléments visibles de la construction (en priorité la décoration).

Si le rôle des commanditaires est indéniable, par leurs apports financiers et éventuellement par l'expression de leurs préférences techniques, celui des architectes et des ouvriers spécialisés l'est aussi. Ils apportent bien sûr leurs connaissances et leur savoir-faire, mais aussi l'expression de leur originalité perceptible par deux phénomènes culturels d'importance : les innovations et, *a contrario*, les régressions.

IV.4.3. L'évolution du métier

a) Quelle évolution ?

L'histoire du mortier est jalonnée des grandes innovations. La découverte des propriétés des pouzzolanes et parallèlement de celles des terres cuites pilées en sont les principales. Toutefois, l'apport fondamental de Rome est souvent perçu comme étant, avant tout, l'usage systématique de ce matériau, qui était jusqu'alors limité, et une rationalisation du travail avec une mise en œuvre soignée et surveillée.

Une fois les concepts romains établis et retranscrits par les auteurs anciens³⁰, c'est une stabilité technique apparente, sans apogée, qui semble faire loi dans les textes antiques. Les

³⁰ Relativement tôt puisque les écrits de Caton remontent au milieu du II^e s. av. J.-C. alors que l'on date l'introduction du mortier de chaux dans l'architecture romaine vers la fin du III^e s. av. J.-C. (Adam 1995).

grands traits du métier sont tirés, une inertie s'instaure dans l'évolution des traditions telle que la prochaine « révolution » dans ce domaine interviendra au début du XIX^e siècle avec la découverte des « ciments naturels », puis la fabrication des ciments de synthèse. Une perte de savoir-faire fut même revendiquée au Moyen Age, puisque l'on peut lire dans la chronique des comtes d'Anjou, datée du XII^e siècle, à propos des murs romains d'Angers : « ils sont construits en grandes pierres de taille qui font ressortir la mesquinerie des Modernes, et montrent clairement que la science de mêler le sable au fort ciment a presque disparu de nos jours ».

L'évolution de la technique est donc marquée par des changements brutaux liés à des sauts qualitatifs, ou au contraire à des pertes progressives de savoir-faire. Si l'on se restreint à la période gallo-romaine au sens strict, ces grandes innovations sont écartées ; mais cette période débute par la création *ex nihilo* d'une demande en nouvelles pratiques de construction. L'application des nouvelles techniques, mêlant pierres et mortier de chaux, ne fut pas immédiatement démocratisée, ce que l'archéologie nous apprend. Il faut attendre, hors de la Narbonnaise, quelques décennies avant d'observer le passage des traditions celtiques à celles romaines. Cela se perçoit dans notre corpus, et plus particulièrement sur deux sites³¹ : le sanctuaire de Ribemont-sur-Ancre (Somme), dont seules les fondations du premier temple romanisé furent maçonnées (vers 30 av. J.-C.) et le site de Molesme (Côte d'Or), dont tous les bâtiments de la fin du I^{er} s av. J.-C. se présentent sur poteaux, alors que les bâtiments faisant suite, érigés au tout début de notre ère, furent pour la plupart construits en pierre, avec de surcroît un liant de mortier de chaux pour l'édifice principal³². La qualité des premiers liants architecturaux de ces deux sites est faible, ils se caractérisent par un forte teneur en terre (fig.IV.2). Les mortiers de Ribemont préparés les siècles suivant pour le deuxième portique (seconde moitié du II^e s. ap. J.-C.), bien qu'argileux, sont de meilleure qualité puisqu'il est encore possible d'observer les joints en anglet ou en chanfrein. De la même période, le blocage du mausolée de Faverolles (Haute-Marne) est lui aussi à mortier de piètre qualité ; mais il s'agit ici d'un édifice privé dont l'équilibre architectural était assuré en priorité par des blocs de grand appareil. De nouvelles études devraient nous permettre de confirmer et d'infirmer la tendance générale de l'emploi de mortiers terreux. D'autant plus que le domaine des enduits peints montre un tout autre visage, puisque les ensembles picturaux les plus anciens (Roz Avel, Fréjus, Aix-en-Provence, Ribemont et, éventuellement, Molesme), datés

³¹ Et, dans une moindre mesure, pour le *fanum* augustéen du sanctuaire de la Forêtterie, à Allonnes.

³² Le bâtiment maçonnée sud-est (BMSE).

du début ou du milieu du I^{er} s. ap. J.-C., sont déjà d'une très bonne maîtrise technique qu'ils soient, ou non, de Narbonnaise. Nous ne sommes cependant pas ici dans le cadre de la construction, mais dans celui de la décoration, qui ne pouvait nécessiter que l'intervention de praticiens qualifiés, quitte, peut-être, à les faire se déplacer de loin.

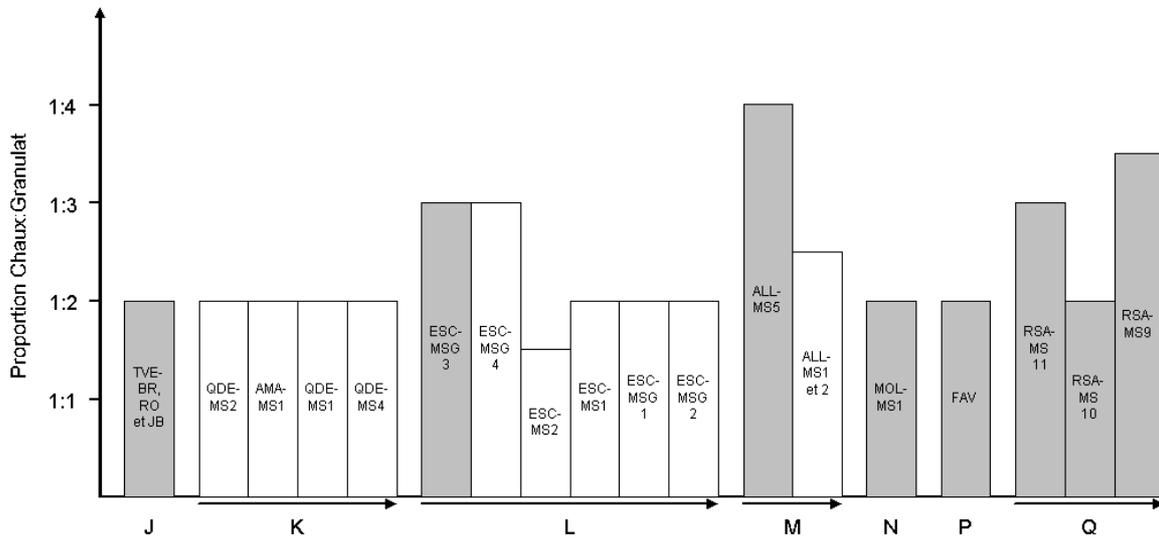


Fig.IV.2a. Principaux types de mortier de maçonnerie (dans l'ordre du chapitre II), avec en gris ceux terreux ou contenant de l'argile en quantité. Les flèches indiquent, pour chaque site, la progression chronologique.

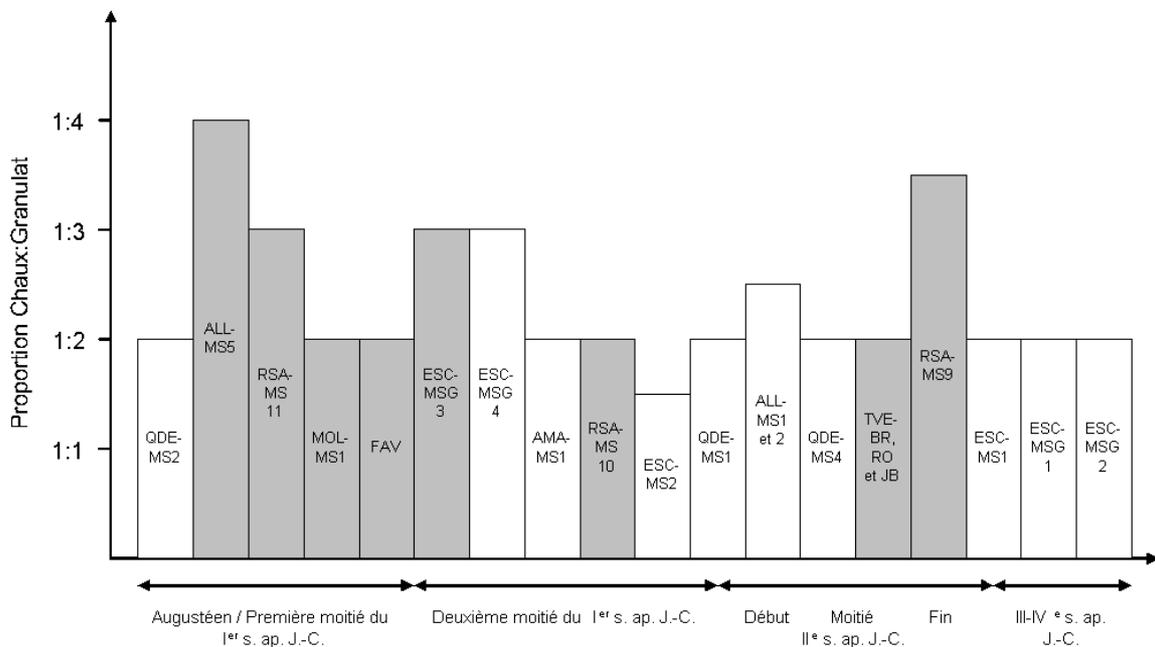


Fig.IV.2b. Idem. Les types sont présentés par grandes phases chronologiques.

L'archéologie est friande de ce qui est appelé en géologie les « fossiles directeurs », c'est-à-dire les éléments dont l'apparition et/ou la disparition permettent d'établir de façon relativement certaine une datation. Cette propriété était espérée pour les mortiers à partir de leur étude typologique, au même titre que l'étude stylistique des peintures (pour citer un exemple). La typologie apporte beaucoup à l'échelle du site, mais la comparaison de plusieurs d'entre elles, établies sur des sites sans relation possible d'ateliers, n'a jamais permis de tirer des caractéristiques dont l'apparition, la disparition ou l'apogée permettrait d'avancer une datation précise. La restitution des pratiques nous paraissait donc prometteuse pour appréhender à nouveau l'identification de marqueurs temporels liés à l'évolution du métier. Cependant, nous n'en avons découvert aucun.

Cet état de fait ne signifie pas qu'il n'en existe pas. Une raison simple pourrait en effet expliquer les lacunes actuelles : un corpus encore limité. Nous pouvons proposer ici quelques clés pour une telle recherche :

- Tout d'abord, un type de mortier établi sur un site archéologique, daté par méthode de datation absolue ou par le contexte archéologique, ne pourra être employé pour la datation que dans un cadre géographique limité, « l'aire de diffusion » de ce mortier étant sensiblement la même que celles des matières premières. Cela étant dit, les remarques suivantes ne porteront plus sur les types à proprement parler, mais sur les pratiques et leur application à l'échelle de toute la Gaule romaine.
- La nature et l'abondance de certains granulats, présents volontairement ou témoignant d'erreurs de fabrication, pourraient éventuellement apporter des informations chronologiques. Le marbre s.s., les charbons de bois, les grumeaux de chaux et incuits calcaires, sont parmi ces granulats. Ce critère seul ne pourra toutefois pas être employé, puisqu'il est pour partie lié à l'économie générale du chantier et à l'habileté de la main d'œuvre.
- La proportion chaux/granat ne semble pas être un critère exploitable, du fait de ses variations générales dans un intervalle de « bon sens ».
- Le nombre de couches d'enduit peint est lui aussi problématique, puisqu'il est variable pour un même atelier, pour deux décors contemporains (cf. l'étude d'Aix-en-Provence).
- La mise en évidence de réelles diversités des matériaux, chacun répondant à un emploi bien précis (multiplication des procédés de maçonnerie), pourrait marquer un apogée dans le métier antique. Nous avons toutefois démontré que la richesse des pratiques s'observait

dès le début du I^{er} s. ap. J.-C. (site de Molesme pour exemple), jusque notamment la fin du II^e s. ap. J.-C., et même après³³.

Ces différentes remarques montrent la difficulté de présager du résultat de la recherche de marqueurs chronologiques sûrs. Le métier antique du mortier de chaux est un système complexe qui, nous l'avons vu, est régit par de nombreuses composantes dont la hiérarchisation est chaque fois à reconsidérer ; les caractéristiques des mortiers doivent donc être discutées pour chaque site avant de pouvoir les intégrer dans une réflexion globale de comparaisons chronologiques. C'est pourquoi nous postulons qu'une telle recherche ne devra s'effectuer en premier lieu que dans des cadres géographiques restreints, permettant de contraindre ou de maîtriser deux paramètres d'importance :

- L'existence de réponses différentes suivant l'environnement géologique.
- La mise en évidence et le suivi des ateliers, qui seront possibles, permettant de dissocier ce qui est la « patte » de chaque atelier ou des autorités et ce qui témoigne d'un patrimoine technique local commun (déjà entrevu lors des études d'Arles, pour la construction, et Corseul et Aix-en-Provence pour les décors).

b) Quels moteurs d'évolution du métier ?

Nous n'avons pas pu définir des changements généraux dans le métier antique du mortier de chaux. Mais cela ne signifie en rien une stabilité totale des pratiques puisqu'il a été possible sur plusieurs sites d'établir des diagrammes stratigraphiques (typochronologiques) des mortiers, sur des bases autres que le simple suivi de l'exploitation d'une formation sableuse hétérogène. Nous avons déjà évoqué plus haut les raisons pouvant expliquer la pluralité des recettes de mortier. Le système, tel qu'énoncé, pourrait paraître statique ; il faut au contraire lui restituer toute sa dynamique.

La transmission des recettes est un phénomène qui se comprend aisément. La tradition est de fait d'un poids conséquent dans le système. Toutefois, le champ des possibles de la technique est vaste et l'esprit romain réputé pour son penchant vers la technologie. L'inventivité n'était pas nécessairement tournée vers la création *ex nihilo* de nouvelles techniques. Une part de progrès découlait de leur rationalisme économique. Paul Veyne

³³ Les thermes de Constantin (Arles, Bouches-du-Rhône), dont l'étude est à venir, datés du IV^e s. ap. J.-C., présentent aussi une riche palette de matériaux à base de chaux, de sable et/ou de tuileau.

écrivait récemment à propos de ce rationalisme romain, par comparaison avec notre société (Veyne 2001, p.149) : « leur méthode était plus empirique ; il y a deux façons de gagner une bataille militaire ou économique : élire doctement, grâce au raisonnement ou au calcul, la tactique la meilleure, ou bien supposer naïvement qu'il doit y avoir plusieurs tactiques sensiblement équivalentes pour parvenir à la victoire et que l'important, une fois qu'on en a choisi une qui ne soit pas absurde ou que la tradition a consacrée, est de faire de son mieux et de soigner les détails ». Le technicien antique, « au lieu d'essayer de chiffrer, de prévoir et d'élire une voie, (...) se contente de réduire les frais sur sa route traditionnelle, de voir ce qui lui reste de revenu net à la fin de l'année, pour rectifier le tir en conséquence, l'année d'après, selon la méthode des essais et des erreurs. Il en tire des résultats qu'il juge satisfaisant ». Une part de risques est inhérente à chacune de ces rectifications. Si un effet néfaste se produit à court terme, la solution technique sera abandonnée, sinon elle pourra se répéter, perdurer, voire évoluer, toujours selon la méthode des essais et des erreurs. L'innovation ne se pose donc pas nécessairement comme une amélioration du matériau (propriétés accrues d'étanchéité, de durabilité, de légèreté, etc.), mais aussi comme la réduction des coûts de production, ce qui se traduit par une rationalisation des procédés de maçonnerie ou la simplification de la chaîne opératoire. L'exemple le plus symptomatique, s'il venait à se vérifier, est la pose limitée au minimum d'un enduit de mortier de tuileau sur le canal et/ou les piédroits des aqueducs, tel le cas de la rigole de Rungis ; c'est un choix tactique osé, mais il aura permis de réaliser une réelle économie et, surtout, le fin recouvrement aura suffi à la protection de l'ouvrage. Cela nous permet de supposer, s'il s'agissait d'un essai, que la solution technique aura été jugée satisfaisante et validée *a posteriori*. D'autres exemples ou hypothèses de rationalisation peuvent être évoqués : l'emploi d'une même recette pour toutes les (sous)couches de préparation d'un support de peinture murale, la construction d'un mur tripartite dont le blocage interne est de pierre qualité car la structure est équilibrée par les seuls enduits (de bonne qualité), etc. Nous pouvons aussi rappeler un « essai » intrigant : les piles d'hypocauste à carreaux en mortier de tuileau, liés par ce même mortier de tuileau, dans les thermes de l'Esplanade à Arles.

Les innovations touchant à la rationalisation des processus techniques doivent, *a priori*, ne pas ou peu porter atteinte à la durabilité et à qualité finale de l'ouvrage. Si celle-ci ne correspond pas à ce que l'on est « en droit d'attendre » d'une maçonnerie montée au mortier de chaux ou d'une toute autre réalisation antique, c'est que des éléments du système technique ont fait défaut. Il y a alors, d'un point de vue théorique, une régression. Seulement,

en pratique, il peut s'agir d'un choix de recette gouverné en premier lieu par des restrictions économiques. Dès lors, il serait intéressant de vérifier si la qualité générale des mortiers suit les grands événements et périodes historiques à contrecoups économiques. En Gaule nouvellement romaine, nous pourrions proposer la relative cherté de la technique étrangère comme l'une des nombreuses raisons de l'inertie avant l'avènement général de la construction concrète.

Conclusion générale et perspectives

La recherche pétroarchéologique sur les mortiers de chaux s'appuie sur une méthodologie analytique simple apportant le maximum d'informations sur le matériau et les différentes étapes de sa chaîne opératoire. Une réflexion a été engagée sur l'adéquation du cortège analytique aux matériaux et aux problématiques posées. La dépose d'une fresque expérimentale nous a fourni la possibilité de tester, en aveugle, notre méthodologie. Toutes les recettes utilisées par les archéologues ont pu être retrouvées, sur la seule base des observations macroscopiques et en microscopie optique en transmission.

Il est apparu, par nos recherches bibliographiques et lors de l'étude de l'amphithéâtre d'Arles, que les méthodes d'analyse chimique, si elles autorisent la classification des échantillons, ne permettent pas seules d'expliquer les changements de type de mortier ; cela est d'autant plus perceptible lorsque le cortège de mortiers est préparé avec une même source de matières premières. Au même titre que l'analyse granulométrique, les informations obtenues renseignent sur le matériau et l'origine des matières premières, mais ne permettent pas d'envisager l'ensemble des étapes de la chaîne opératoire et les paramètres du chantier.

La classification typologique des mortiers a permis pour chaque site, après discussion des données archéologiques, de mieux entrevoir la chronologie relative des maçonneries et des ensembles ou parties de fresques murales. Généralement, l'histoire de la construction et des phases de restauration du site fut éclairée.

Loin d'être une finalité, ces études de sites se posaient comme le fondement d'une recherche plus globale du métier du mortier de chaux gallo-romain. Plus qu'une confrontation méthodologique avec les précédents travaux sur les mortiers de chaux anciens, notre travail s'est nourri de leurs résultats dès que cela était possible. De même, les textes antiques ont été discutés et ont, parallèlement, permis d'éclairer certaines pratiques. Nous avons ainsi pu démontrer que la richesse des codifications antiques était retrouvée sur le terrain. Ces codifications sont toutefois bien trop précises et rarement parfaitement observées. Elles sont aussi, et surtout, incomplètes, en deçà de la richesse observée des pratiques communes des *structores* et *tectores* antiques.

L'étude des matériaux permet d'identifier les pratiques. L'apport immédiat de la pétroarchéologie à l'étude des techniques concerne le déroulement du chantier antique, toutes les observations sur la préparation et la mise en œuvre du mortier y renvoyant. On peut en rappeler les principales étapes :

- L'approvisionnement en matières premières (choix des substances, influence de la diversité de l'environnement géologique, distances d'approvisionnement, etc.).
- Le traitement des matières premières après prélèvement (pour le granulat : tri, criblage, lavage, concassage, etc.).
- Les pratiques de « récupération » pour le granulat : marbre, charbons, tuileau, céramiques, etc.
- La mise en œuvre : ce qui peut s'observer à l'échelle du site (respect de la recette par exemple) et de l'échantillon (pollutions, ou encore les traitements tel que le damage, le polissage, etc.).

Les choix techniques qui sont amenés à évoluer le plus rapidement découlent directement de problèmes matériels (« accessibilité » des matières premières), mais aussi de la conception de l'artisan des propriétés du liant architectural face à sa fonction. Afin d'engager une réflexion sur les techniques antiques, et plus particulièrement sur le choix des recettes en relation avec leur utilisation, un travail de « décomposition » a été effectué, en vue d'établir quels aspects architecturaux intervenaient et dans quelles mesures. Les notions de fonctions « primaires » et « secondaires » ont été définies. Les relations entre les compositions des mortiers et leur(s) fonction(s) ont ensuite été discutées. Une cohérence architecturale, basée notamment sur une interdépendance indéniable entre la préparation des maçonneries et celle de leurs enduits, semble nous permettre de percevoir le statut de l'édifice et les limites de l'évergétisme fondateur.

Ce travail nous a permis de tracer les traits généraux du métier, puis de percevoir quels sont les marqueurs et les motivations des adaptations de recettes. L'importance de l'environnement géologique est démontrée, puisqu'il induit des choix économiques et techniques, obligeant parfois au remplacement de matières premières. Il pose aussi les limites géographiques de « l'intérêt » de la propagation des « innovations », souvent liées à des problèmes locaux d'approvisionnement en matières premières.

Mais l'on ne peut pas considérer ces actes techniques seulement comme des actes d'adaptation à un environnement géologique. L'innovation peut être perçue normale, fondée sur la rationalisation des processus techniques ou en réponse à la qualité du matériau obtenu. Le cas des mortiers hydrauliques est en cela remarquable. La Gaule étant relativement pauvre en pouzzolanes naturelles, l'utilisation du tuileau s'est de fait imposée comme la solution commune. Le résultat n'est pas l'emploi d'un matériau uniformisé à l'échelle de la Gaule et de

la période gallo-romaine, mais au contraire une prolifération de types différents, suivant la granulométrie, la nature, la teneur, etc., en tuileau. On perçoit bien une volonté de tester les limites des qualités des matériaux, afin de créer, ponctuellement, soit des mortiers d'exception, soit au contraire des procédés de maçonnerie ou des matériaux aux propriétés « minimales » requises (acceptables) mais à des coûts les plus bas possibles.

L'ensemble des pratiques que nous avons identifiées permet de comprendre quelles propriétés étaient souhaitées pour les matériaux mis en œuvre : résistance mécanique, durabilité, étanchéité, volant thermique... Si l'on peut juger de la justesse des choix techniques par la comparaison des pratiques avec l'emploi fait des mélanges, nous n'avons pas pu mettre en œuvre les techniques analytiques et les essais susceptibles de démontrer l'existence effective des propriétés attendues par les constructeurs gallo-romains. Cependant, le domaine des mortiers hydrauliques nous permet de faire nombre de réflexions en ce qui concerne les propriétés des matériaux, nous amenant à définir trois notions particulières : les propriétés « voulues », « manquées » et « involontaires ».

Les premières sont celles qui ont été souhaitées et obtenues. Cela concerne les mortiers d'étanchéité préparés avec une chaux aérienne et dont l'ajout de tuileau, généralement fin et en grande proportion, a permis d'obtenir des composés pouzzolaniques augmentant en premier lieu l'étanchéité et en second la durabilité.

Les deuxièmes font référence aux nombreux mortiers de tuileaux dont la granulométrie grossière et/ou la faible teneur n'ont pu rendre le mortier hydraulique, la matrice étant entièrement formée de calcite microcristalline. Des réactions d'adhérence s'observent tout de même à l'interface chaux/tuileau mais, nous l'avons signalé et montré, cela n'est pas systématique et dépend grandement de la nature et de la température de cuisson des terres cuites.

Les troisièmes correspondent au caractère hydraulique de certains mortiers de chaux et de sable naturel, généralement siliceux, considéré inerte par les maçons antiques. Pour citer deux exemples, les mortiers de chaux et de sable siliceux (principalement quartzeux) des thermes du Vieil-Evreux et de l'amphithéâtre d'Arles ont révélé, lors de leur analyse par fluorescence X au MEB, la présence de composés hydrauliques dans la matrice. L'origine de ces éléments est liée soit à la présence de kaolinite dans les mortiers, pour le Vieil-Evreux, venue avec le granulat, soit à l'utilisation d'une chaux faiblement hydraulique couplée à l'emploi d'un granulat faiblement réactif (feldspaths, micas et quartz ; Bérubé *et al.* 1990) pour Arles.

Ces trois notions permettent d'aborder les propriétés des matériaux d'un point de vue qui ne se veut plus uniquement technique. Elles permettent de comprendre ce qui, dans ce système complexe du métier du mortier de chaux, sera générateur de durabilité ou au contraire de variabilité des recettes, en réponse à la qualité apparente et immédiate du matériau.

Le mortier de chaux fait partie de ces apports du monde romain qui se généralisèrent autour du bassin méditerranéen et dont la traduction et la mise en œuvre « furent loin d'être uniformes. Les matériaux disponibles, les savoir-faire des uns et des autres, les traditions, les moyens financiers variables, autorisèrent et suscitèrent des adaptations, des évolutions et des compléments, parfois surprenants, jamais sans raison. Réalisés artisanalement, souvent par leur propres utilisateurs, les constructions antiques de la Gaule apparaissent, malgré la similitude des techniques de construction employées, toutes semblables mais toutes différentes » (Seigne 1999, p.98).

On ne peut considérer un ensemble aussi complexe de techniques comme figé dans le temps. Notre étude portait sur toute la période gallo-romaine, qui commence par une acculturation qui popularisera une technologie jusque-là délaissée. Aucun marqueur temporel, déduit de l'apparition, la disparition ou l'apogée d'une pratique, n'a été révélé. Nous considérons que seule une étude des mortiers selon leur emploi et pour une « région » restreinte permettrait, actuellement, de percevoir des évolutions chronologiques à valeur de datation. La recherche sur les supports de peinture de la ville d'Aix-en-Provence a première valeur d'exemple, puisqu'elle nous permet d'ores et déjà d'entrevoir une circulation d'atelier ainsi qu'une filiation des techniques à travers les siècles. L'étude des mortiers de construction des édifices arlésiens apparaît en ce sens primordiale : des mortiers issus d'un même patrimoine local montrent des utilisations parfaitement circonscrites dans le temps, nous permettant d'avancer des hypothèses de datation pour des maçonneries mal datées ou à datation encore sujette à controverse (le cirque antique d'Arles).

Nous pourrions vérifier si la « Paix romaine » fut à l'origine d'une plus grande diversité des matériaux et d'une substantielle utilisation des matières premières onéreuses (le marbre broyé en premier lieu) et si, à l'inverse, l'Antiquité tardive est marquée par la relative perte de ces caractéristiques. De tels résultats poseraient le statut économique global de cette province comme l'un des moteurs principaux de l'évolution générale du métier antique du mortier de chaux. Ce travail se pose maintenant comme une perspective, une recherche dans la durée sur l'histoire des techniques.

BIBLIOGRAPHIE

et

ANNEXES

Bibliographie

ADAM J.-P. (1995) – *La construction romaine : matériaux et techniques*. 3^{ème} édition. Grands manuels Picard, éditions A. et J. Picard.

ADAM J.P. et FRIZOT M. (1983) – *Dégradation et restauration de l'architecture pompéienne*. Editions du CNRS, 112p.

ADAMS A.E. and MACKENZIE W.S. (1998) – *A colour atlas of carbonate sediments and rocks under the microscope*. Manson Publishing, London, 180 p.

AKRICH M. (1994) – Comment sortir de la dichotomie technique/société : Présentation des diverses sociologies de la technique. In LATOUR B. et LEMONNIER P. (dir.) – *De la préhistoire aux missiles balistiques : L'intelligence sociale des techniques*. Collection « Recherches », éditions La Découverte, Paris, 105-131.

ANDERSON J.C. jr. (1997) – *Roman architecture and society*. The Johns Hopkins Press ltd., Londres, 442 p.

BACCI M., CHIARI R., PORCINAI S. and RADICATI B. (1997) – Principal component analysis of near-infrared spectra of alteration products in calcareous samples: An application to works of art. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **39** (1), 115-121.

BAKOLAS A., BISCONTIN G., MOROPOULOU A., ZENDRI E. (1995) – Characterization of the lumps in the mortars of historic masonry. *Thermochimica Acta*, **269/270**, 809-816.

BAKOLAS A., BISCONTIN G., MOROPOULOU A., ZENDRI E. (1998) – Characterization of structural byzantine mortars by thermogravimetric analysis. *Thermochimica Acta*, **321**, fasc. 1-2, 151-160.

BALMELLE A. *et al.* (1999) – *Reims, 14-16 Rue des Moissons (site 51454074) (Marne)*. D.F.S. de sauvetage urgent 15.02.98 – 15.03.98. Série Archéologie Urbaine, AFAN grand est base de Reims, Châlons en Champagne : SRA Champagne-Ardenne.

BANFILL P.F.G. and FORSTER A.M. (2000) – A relationship between hydraulicity and permeability of hydraulic lime. In BARTOS P., GROOT C. and HUGHES J.J. ed. – Historic mortars : characteristics and tests. *Proceedings (PRO 12) of the International RILEM Workshop*, Paisley (Scotland), 12th-14th May 1999, 173-193.

BARBET A. (1985) – Fouilles de l'Ecole Française de Rome à Bolsena (Poggio Moscini). Tome V. La maison aux salles souterraines. Fasc. 2. Décors picturaux (murs, plafonds, voûtes). 2 vol. *Ecole Française de Rome, Mélanges d'Archéologie et d'Histoire*, supplément 6, Palais Farnèse.

- BARBET A. (2001) – *Les citées enfouies du Vésuve : Pompéi, Herculaneum, Stabies et autres lieux*. Fayard, Paris, 220 p.
- BARBET A. et ALLAG C. (1972) – Techniques de préparation des parois dans la peinture murale romaine. *MEFRA*, **84**, 1972-2, 935-1069.
- BARBET A., ALLAG Cl., ADAM J.-P., GUINEAU B. et VIBERT-GUIGUE Cl. (1990) – La mise en valeur des peintures murales romaines : relevés, analyses, techniques audiovisuelles et publications. *Bulletin de liaison du Centre d'Etude des Peintures Murales Romaines*, **10**, CNRS/ENS, 47 p.
- BARBET A. et COUTELAS A. (2002) – Une fresque à la romaine. *Archéologia*, **392**, septembre 2002, 24-41.
- BARBIN V., RAMSEYER K., DECROUEZ D., HERB R. (1989) – Marbres blancs : caractérisation par cathodoluminescence. *C.R.A.S.*, série II, **308**, 861-866.
- BARÇON J.-C. et JACCOTTEY L. (1999) – L'aqueduc romain de Besançon. *Archéologia*, **355**, 34-39.
- BARONIO G., BINDA L. and LOMBARDINI N. (1997) – The role of brick pebbles and dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks. *Construction and Building Materials*, **11** (1), 33-40.
- BEARAT H. (1993) – Analyses minéralogiques sur les peintures altérées de la villa gallo-romaine de Vallon. *Revue d'Archéométrie*, **17**, 65-74.
- BERNARD A., MILLET J., HOMMEY R. et POINDEFERT A. (1975) – Influence de la température de cuisson et de la nature du calcaire sur la minéralogie des chaux vives. *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, **79**, 45-50.
- BERTRAND C., LEFEVRE J.-F. et BARBET A. (1996) – Rouen, station Métrobus – Palais de Justice. *Rapport d'étude des peintures murales du CEPMR*, UMR 8546 CNRS/ENS.
- BÉRUBÉ M.-A., CHOQUETTE M. and LOCAT J. (1990) – Effects of lime on common soil and rock forming minerals. *Applied Clay Science*, **5**, 145-163.
- BESTMANN M., KUNZE K. & MATTHEWS A. (2000) – Evolution of a calcite marble shear zone complex on Thassos Island, Greece: microstructural and textural fabrics and their kinematic significance. *Journal of Structural Geology*, **22**, 1789-1807.
- BLANC N. (1983) – Les stucateurs romains : témoignages littéraires, épigraphiques et juridiques. *MEFRA*, **95** (2), 859-907.

- BLANC N. (1984) – Gardes du corps ou stucateurs ? Les *teectores* dans l'armée romaine. *MEFRA*, **96** (2), 727-737.
- BINDA L., BARONIO G. and TEDESCHI C. (2000) – Experimental study on the mechanical role of thick mortar joints in reproduced Byzantine masonry. In BARTOS P., GROOT C. and HUGHES J.J. ed. – Historic mortars: characteristics and tests. *Proceedings (PRO 12) of the International RILEM Workshop*, Paisley (Scotland), 12th-14th May 1999, 227-247.
- BISCONTIN G., BAKOLAS A., ZENDRI E. and MARAVELAKI P. (1993) – Microstructural and composition characteristics of historic mortars in Venice. In THIEL M.-J. ed. – *Conservation of stone and other materials*. Volume one, Causes of disorders and diagnosis. Proceedings of the international RILEM/UNESCO congress, Paris, June 29 – July 1, 1993, E&FN Spon edition, 178-185.
- BISTON V. (1836) – *Manuel théorique et pratique du chafournier*. Réédition Léonce Laget, Paris, 1981.
- BLÄUER-BÖHM C., JÄGERS E. (1996) – Analysis and recognition of dolomitic lime mortars. In BEARAT H., FUCHS M., MAGGETTI M. & PAUNIER D. (dir.) – Roman wall painting : materials, techniques, analysis and conservation. *Proceedings of the International Workshop on Roman Wall Painting*, Fribourg 1996, 223-235.
- BRINDLEY G.W. & BROWN G. ed. (1980) – *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. Mineral Society monograph n°5, Londres, 495 p.
- BROISE H. (1991) – Vitrages et volets des fenêtres thermales à l'époque impériale. *Collections de l'Ecole française de Rome*, **142**, 61-78.
- BRUNAUX J.-L. *et al.* (2000) – Ribemont-sur-Ancre (Somme), Bilan préliminaire et nouvelles hypothèses. *Gallia*, **56**, 1999, CNRS éditions, Paris, 177-283.
- BUGINI R., FOLLI L. (1996) – Materials and making techniques of Roman Republican wall paintings (Capitolium, Brescia, Italy). In BEARAT H., FUCHS M., MAGGETTI M. & PAUNIER D. (dir.) – Roman wall painting : materials, techniques, analysis and conservation. *Proceedings of the International Workshop on Roman Wall Painting*, Fribourg 1996, 121-130.
- BUGINI R., FOLLI L. (2001) – Calcite crystals as mortar aggregate in Northern Italy. *Symposium EUG XI*, Strasbourg (France), 8-12 avril 2001.
- BULLOCK P., FEDOROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G., TURSINA T. (1985) – *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications, Wolverhampton, 152 p.
- BURDY J. (2002) – Deux aqueducs romains : Xanthos et Antioche de Pisidie. *Archéologia*, **390**, 50-55.

BUSCH J.P. & VAN DER PLUIJM B.A. (1995) – Calcite textures, microstructures and rheological properties of marble mylonites in the Bancroft shear zone, Ontario, Canada. *Journal of Structural Geology*, **17** (5), 677-688.

CAILLERE S., HENIN S. et RAUTUREAU M. (1982a) – *Minéralogie des argiles. Volume 1 : Structure et propriétés physico-chimiques*. 2^{ème} édition. INRA, actualités scientifiques et agronomiques 9. Masson, Paris, 183 p.

CAILLERE S., HENIN S. et RAUTUREAU M. (1982b) – *Minéralogie des argiles. Volume 2 : Classification et nomenclature*. 2^{ème} édition. INRA, actualités scientifiques et agronomiques 8. Masson, Paris, 189 p.

CALLEBAT L. (1999) – *Vitruve, De l'architecture*, Livre II. Commenté par GROS P., Paris, Les Belles Lettres.

CANONGE P., AUTRIC F., NOURISSIER G. (1998) – *Techniques et pratique de la chaux*. Ecole d'Avignon. Editions Eyrolles. 211 p.

CHAMLEY H. (1987) – *Sédimentologie*. Paris, Dunod, 175 p.

CHAROLA A.E. and HENRIQUES F.M.A. (2000) – Hydraulicity in lime mortars revisited. In BARTOS P., GROOT C. and HUGHES J.J. ed. – Historic mortars : characteristics and tests. *Proceedings (PRO 12) of the International RILEM Workshop*, Paisley (Scotland), 12th-14th May 1999, 95-104.

COULTHARD N. (2000) – Les activités artisanales gallo-romaines à Touffréville (Calvados, France), et quelques réflexions sur leur importance dans le développement du site. In POLFER M. dir. – *Artisanat et productions artisanales en milieu rural dans les provinces du nord-ouest de l'Empire romain*. Actes du colloque d'Erpeldange, mars 1999. Monographies *instrumentum* 9, éditions Monique Mergoil, 165-183.

COURTY M.-A., GOLDBERG P., MACPHAIL R. (1989) – *Soils and micromorphology in archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge. 344 p.

COUDELAS A., GUYARD L. et DAVID C. (2000) – Pétroarchéologie de mortiers gallo-romains. Application de méthodes analytiques à l'étude des thermes du Vieil-Evreux (Eure). *Les Nouvelles de l'Archéologie*, **81**, 31-36.

DAVIDOVITS F. (1994) – A la recherche du Carbunculus. *Voces*, **5**, 33-46.

DE ANGELIS D'OSSAT M. (2000) – I nuovi affreschi dagli scavi di palazzo Altemps a Roma. In PALÁGYI S.K. éd. – *De la fouille à la présentation*. Actes du colloque international pour la peinture mural de l'époque romaine. 17-18 mai 1999, Veszprém (Hongrie). MTA – VEAB. 59-64.

- DELOYE F.-X. (1996) – La chaux à travers les âges. *Bull. des Labo. P. et Ch.*, **201**, 94-98.
- DIDEROT D., LE ROND D'ALEMBERT J. (1751-1780) – *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. Paris, Briasson, chap. 730, p. 943.
- DRON R. (1978) – L'activité pouzzolanique. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, **93**, 66-69.
- DUBOIS Y. (1996) – Les *villae* gallo-romaines d'Orbe-Boscéaz et d'Yvonand-Mordagne : observations sur les techniques de préparation et de réalisation des parois peintes. In BEARAT H., FUCHS M., MAGGETTI M. & PAUNIER D. (dir.) – Roman wall painting : materials, techniques, analysis and conservation. *Proceedings of the International Workshop on Roman Wall Painting*, Fribourg 1996, 153-166.
- FISHER R.V. & SCHMINCKE H.-U. (1984) – *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 472 p., 339 fig.
- FOLLAIN E. (1998) – Lillebonne gallo-romain. *Archéologia*, **351**, 56-65.
- FOURNIER A. (1975) – Les facteurs de qualité des chaux industrielles. *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, **79**, 73-77.
- FRANZINI M., LEONI L., LEZZERINI M. and SARTORI F. (1999) – On the binder of some ancient mortars. *Mineralogy and Petrology*, **67** (1-2), 59-69.
- FRIZOT M. (1975) – Mortiers et enduits peints antiques, étude technique et archéologique. *Centre de recherches sur les techniques gréco-romaines*, n° 4, Université de Dijon, 351 p.
- FRONTEAU G., PAICHELER J.-C., BERTHELOT F. (2001) – Différenciation pétrographique d'éléments de construction en pierre calcaire : utilisation couplée de l'analyse sédimentologique et de l'analyse d'images (Reims, site gallo-romain). *Livre des résumés du colloque Archéométrie 2001*, GMPCA, La Rochelle 24-28 avril 2001.
- FURLAN V. et BISSENGER P. (1975) – Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifique. *Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte (Revue suisse d'Art et d'Archéologie)*, **32** (2), 166-178.
- FURLAN V. et HOUST Y. (1980) – Les matériaux pouzzolaniques et leur utilisation. *Chantiers*, **7/80**, 29-32.
- GINOUVES R. (1992) – *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. Tome II. Eléments constructifs : supports, couvertures, aménagements intérieurs*. CNRS. Ecole française d'Athènes, Ecole française de Rome. 352 p., 90 pl.

GINOUVES R. et MARTIN R. (1985) – *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. Tome I. Matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor*. CNRS. Ecole française d'Athènes, Ecole française de Rome. 307 p., 65 pl.

GOINS E. (2000) – A new protocol for the analysis of historic cementitious materials : interim report. In BARTOS P., GROOT C. and HUGHES J.J. ed. – Historic mortars : characteristics and tests. *Proceedings (PRO 12) of the International RILEM Workshop*, Paisley (Scotland), 12th-14th May 1999, 71-79.

GROOT C.J.W.P., BARTOS P.J.M. and HUGHES J.J. (2000) – Historic mortars : characteristics and tests – Concluding summary and state-of-the-art. In BARTOS P., GROOT C. and HUGHES J.J. ed. – Historic mortars : characteristics and tests. *Proceedings (PRO 12) of the International RILEM Workshop*, Paisley (Scotland), 12th-14th May 1999, 443-454.

GRUEL K. et BROUQUIER-REDDE V. dir. (2000) – *Sanctuaire gallo-romain de Mars Mullo, la Forêterie, Allonnes (Sarthe)*. Rapport 2000 de fouilles archéologiques. UMR 8546 CNRS/ENS.

GRUEL K. et BROUQUIER-REDDE V. dir. (2001) – *Sanctuaire de Mars Mullo, la Forêterie, Allonnes (Sarthe)*. Rapport 1999-2001 de fouilles archéologiques. UMR 8546 CNRS/ENS.

GUYARD L., LEPERT T. (1999) – Le Vieil-Evreux, ville-sanctuaire gallo-romaine. *Archéologia*, **359**, 20-29.

GUYARD L. et ROQUECAVE M.-H. (1998) – *Thermes gallo-romains du Vieil-Evreux (Eure), état des lieux de la zone 2 (bloc thermal), situation au 30 mai 1998*. Conseil Général de l'Eure, Evreux, 192 p.

HÄFNER K. (1996) – Experiments on the reconstruction of the Roman wall painting technique. In BEARAT H., FUCHS M., MAGGETTI M. & PAUNIER D. (dir.) – Roman wall painting : materials, techniques, analysis and conservation. *Proceedings of the International Workshop on Roman Wall Painting*, Fribourg 1996, 143-152.

HE C., OSBÆCK B. and MAKOVICKY E. (1995) – Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: activation, reactivity assessments and technological effects. *Cement and Concrete Research*, **25** (8), 1691-1702.

HUGHES D.C. and SUGDEN D.B. (2000) – The use of brick dust as a pozzolanic addition to hydraulic lime mortars. In BARTOS P., GROOT C. and HUGHES J.J. ed. – Historic mortars : characteristics and tests. *Proceedings (PRO 12) of the International RILEM Workshop*, Paisley (Scotland), 12th-14th May 1999, 351-359.

JÁRÓ M. (1996) – Comparison of the painting materials used for wall painting in four sites of the Roman province Pannonia. In BEARAT H., FUCHS M., MAGGETTI M. & PAUNIER D. (dir.) – Roman wall painting: materials, techniques, analysis and conservation. *Proceedings of the International Workshop on Roman Wall Painting*, Fribourg 1996, 75-84.

KURZ W., NEUBAUER F., UNZOG W., GENSER J. & WANG X. (2000) – Microstructural and textural development of calcite marbles during polyphase deformation of Penninic units within the Tauern Window (Eastern Alps). *Tectonophysics*, **316**, 327-342.

LANDGREBE D. (1999) – Some fundamentals and methods for hyperspectral image data analysis. In COHN G.E. & OWICKI J.C. ed. – *Systems and technologies for clinical diagnostics and drug discovery II*. Proc. of SPIE vol. 3603.

LAPUENTE M.P., TURI B. and BLANC Ph. (2000) – Marbles from Roman Hispania : stable isotope and cathodoluminescence characterization. *Applied Geochemistry*, **15**, 1469-1493.

LAVERGNE D. et SUMERA F. (2000) – La fabrication de la chaux : une activité pérenne ou occasionnelle pendant l'Antiquité gallo-romaine ? Premiers éléments de réponse. In Pétrequin P., Fluzin P. Thiriot J. et Benoit P. (dir.) – *Arts du feu et productions artisanales*. XX^e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 21-23 octobre 1999. Editions APDCA, Antibes, 453-472.

LETOLLE R., GEGOUT P., RAFAI N. et REVERTEGAT E. (1992) – Stable isotopes of carbon and oxygen for the study of carbonation/decarbonation processes in concretes. *Cement and Concrete Research*, **22**, 235-240.

LIEBIG E. and ALTHAUS E. (1997) – Kaolinite and Montmorillonite as pozzolanic components in lime mortars – Untreated and after thermal activation. *ZKG International*, **50**, n° 5, 282-290.

LUGLI G. (1957) – *La tecnica edilizia Romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*. Rome, pp. 390-401.

MACKENZIE R.C. ed. (1970) – *Differential thermal analysis. Volume 1: fundamental aspects*. Academic Press, Londres, 775 p.

MADHOK V. & LANDGREBE D. (2002) – A process model for remote sensing data analysis. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. **40**, n°3, 680-686.

MALINOWSKI R. (1979) – Concretes and mortars in ancient aqueducts. *Concrete International / January*, 66-76.

MANFRA L., MASI U., TURI B. (1975) – Carbon and oxygen isotope ratios of marbles from ancient quarries of western Anatolia and their archaeological significance. *Archaeometry*, **17**, 215-221.

MASSE S. (1993) – Ciments et bétons : principes, technologie et industrie. *Les dossiers de la Galerie*, **3**, M.N.H.N., 2-6.

- MEGGIOLARO V., MOLIN G.M., PAPPALARDO U., VERGERIO P.P. (1996) – Contribution to studies on Roman wall painting materials and techniques in Greece: Corinth, the Southeast Building. In BEARAT H., FUCHS M., MAGGETTI M. & PAUNIER D. (dir.) – Roman wall painting : materials, techniques, analysis and conservation. *Proceedings of the International Workshop on Roman Wall Painting*, Fribourg 1996, 105-118.
- MOROPOULOU A., BAKOLAS A. (1998) – Range of acceptability limits of physical, chemical and mechanical characteristics deriving from the evaluation of historic mortars. *PACT : (Strasbourg)*, **56**, 165-178.
- MOROPOULOU A., BAKOLAS A., AGGELAKOPOULOU E. (2001) – The effects of limestone characteristics and calcination temperature to the reactivity of the quicklime. *Cement and concrete research*, **31** (4), 633-639.
- MOROPOULOU A., BAKOLAS A., BISBIKOU K. (2000a) – Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, **1**, 45-58.
- MOROPOULOU A., BAKOLAS A., BISBIKOU K. (2000b) – Physico-chemical adhesion and cohesion in joint mortars imparting durability to the historic structures. *Construction and Building Materials*, **14**, 35-46.
- MOROPOULOU A., CAKMAK A., BISCONTIN G. (1997) – Crushed brick / lime mortars of Justinian's Hagia Sophia. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol. **462**, 307-316.
- MUSATTI G. (2000) – Il recupero e il restauro dello Studiolo di Augusto sul Palatino. In PALÁGYI S.K. éd. – *De la fouille à la présentation*. Actes du colloque international pour la peinture mural de l'époque romaine. 17-18 mai 1999, Veszprém (Hongrie). MTA – VEAB. 47-57.
- PALAZZO-BERTHOLON B. (1998) – *Histoire, archéologie et archéométrie des mortiers et des enduits au Moyen Age*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon II.
- PAPADAKIS V.G., FARDIS M.N. and VAYENAS C.G. (1992) – Effect of composition, environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation. *Materials and Structure*, **25**, 293-304.
- PAPADAKIS M. et VENUAT M. (1974) – *Industrie de la chaux, du ciment et du plâtre*. Dunod, Paris.
- PETIT Ch. et WAHLEN P. coord. (2000) – *Le site de Molesme « Sur-les-Creux », année 2000*. Rapport de fouilles de la campagne 2000.
- PETTIJOHN F., POTTER P. & SIEVER R. (1973) – *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, Berlin, 618 p.
- PICARD G. (1964) – *Empire Romain*. Collection Architecture Universelle. Office du Livre. 192 p.

PICHON H., GAUDON P., BENHASSAINE A. et ETERRADOSSI O. (1996) – Caractérisation et quantification de la fraction réactive dans les pouzzolanes volcaniques. *Bull. des Labo. P. et Ch.*, **201**, 29-38.

PLINE l'Ancien – *Histoire naturelle*. Livre XXXVI. Texte établi par ANDRE J., traduit par BLOCH R. et commenté par ROUVERET A. ; Collection université de France, édition Les Belles Lettres, Paris, 1981.

PLOUX S. et KARLIN Cl. (1994) – Le travail de la pierre au paléolithique, ou comment retrouver l'acteur technique et social grâce aux vestiges archéologiques. In LATOUR B. et LEMONNIER P. (dir.) – *De la préhistoire aux missiles balistiques : L'intelligence sociale des techniques*. Collection « Recherches », éditions La Découverte, Paris, 65-82.

POMEROL B., POMEROL C., RENARD M., WYNS R., DEWOLF Y. (1977) – Carte géologique de la France à 1/50 000 – Feuille Evreux.

QUENEE B. (1990) – *Transformations minéralogiques et texturales de matériaux rocheux, mortiers et bétons d'ouvrages variés. Approche de la cinétique des mécanismes et identification des facteurs responsables*. Thèse, Université Nancy I, spécialité Géosciences et Matériaux, 190 p.

RAFAI N., LETOLLE R., BLANC Ph., GEGOUT P. et REVERTEGAT E. (1992) – Carbonatation-decarbonatation of concretes studied by the way of carbon and oxygen stable isotopes. *Cement and Concrete Research*, **22**, 882-890.

RASSINEUX F. (1987) – *Altération des mortiers : étude expérimentale et analogues anciens*. Thèse spécialité « Géochimie de la surface », Université de Poitiers. 254 p.

RASSINEUX F., PETIT J.C., MEUNIER A.(1989) – Ancient analogs of modern cement calcium hydrosilicates in mortars and concretes from Gallo-Roman thermal baths of Western France. *Journal of the American Ceramic Society*, **72** (6), 1026-1032.

RAYMENT D.L. and PETTIFER K. (1987) – Examination of durable mortar from Hadrian's Wall. *Materials Science and Technology*, **3**, 997-1004.

RIOULT M. et VIPARD P. (1999) – L'utilisation de la pierre dans la demeure gallo-romaine de Vieux. In SAN JUAN G. et MANEUVRIER J. dir. – *L'exploitation ancienne des roches dans le Calvados : Histoire et Archéologie*. Couleur Calvados, Conseil Général du Calvados, Service Départemental d'Archéologie, 189-203.

RODDAZ J.-M. (2002) – Le Panthéon. *Dossiers de l'Archéologie*, **274**, 70-75.

ROUGEAU P. (1994) – *Apport de l'étude de matériaux analogues anciens à la modélisation du comportement des barrières ouvragées en ciment vis-à-vis de la migration des radioéléments*. Thèse spécialité Matériaux-Minéraux, Université de Poitiers, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers.

SAPIN C. *et al.* (1991) – Enduits et mortiers. Archéologie médiévale et moderne. *Dossier de documentation archéologique* n°15. Editions du CNRS. 123 p.

SAPIN C., RIOU S., BÜTTNER S. (2000) – Les matériaux de construction. In SAPIN C. (dir.) - *Archéologie et architecture d'un site monastique, V^e - XX^e siècles, 10 ans de recherches à l'abbaye St Germain d'Auxerre*. CEM & Editions du CTHS, 401-413.

SEIGNE J. (1999) – Technique de construction en Gaule romaine. In BESSAC J.-C., JOURNOT F., PRIGENT D., SAPIN C., SEIGNE J. – *La construction, la pierre*. Editions Errance, collections « Archéologiques », Paris, 53-99.

SUMERA F. et VEYRAT E. (1997) – Les fours à chaux gallo-romains de “Brétinoust”, commune de Sivry-Courty (Seine et Marne). *Rev. Arch. Centre*, **36**, 99-130.

TERRY R.D. & CHILINGAR G.V. (1955) – Summary of « concerning some additional aids in studying sedimentary formations » by M.S. Shvetsov. *Journal of Sedimentary Petrology*, **25** (3), 229-234.

TEUTONICO J.M., ASHALL G., GARROD E. and YATES T. (2000) – A comparative study of hydraulic lime-based mortars. In BARTOS P., GROOT C. and HUGHES J.J. ed. – *Historic mortars : characteristics and tests. Proceedings (PRO 12) of the International RILEM Workshop*, Paisley (Scotland), 12th-14th May 1999, 339-349.

VAN BALEN K. and VAN GEMERT D. (1994) – Modelling lime mortar carbonation. *Materials and Structures*, **27**, 393-398.

VAN OSSEL P. et DEFGNÉE A. (2001) – *Champion, Hamois. Une villa chez les Condruses. Archéologie, environnement et économie d'une exploitation agricole antique dans la Moyenne Belgique*. Namur, Ministère de la Région wallonne, Etudes et Documents Archéologie 7, 280 p., 191 fig.

VELDE B. (2000) – Identification des sources de l'argile dans les céramiques. *Dossiers d'Archéologie*, **253**, « Archéométrie », mai 2000, 24-29.

VEYNE P. (2001) – *La société romaine*. Editions du Seuil, collection « Points Histoire », 343 p.

VIPARD P. (1999) – Les matériaux architecturaux en terre cuite dans la *domus* du « Bas de Vieux ». In SAN JUAN G. et MANEUVRIER J. dir. – *L'exploitation ancienne des roches dans le Calvados : Histoire et Archéologie*. Couleur Calvados, Conseil Général du Calvados, Service Départemental d'Archéologie, 208-219.

VITRUVÉ – Livre II, traduit par CALLEBAT L., commenté par GROS P., *Vitruve, De l'architecture*, Paris, Les Belles Lettres 1999.

VITRUVÉ – livre VII, traduit par LIOU B. et ZUINGHEDAU M., commenté par CAM M.-Th., *Vitruve, De l'architecture*, Paris, Les Belles Lettres 1995.

VITRUVÉ – *Les dix livres d'architecture*. Traduction intégrale de Claude PERRAULT (1673). Editions Balland, 1979.

WATTEZ J., CAMMAS C. et COURTY M.-A. (1998) – Marqueurs spatio-temporels des ambiances pédo-climatiques dans les sols archéologiques. *16^{ème} Congrès Mondial de Science du Sol*, Montpellier (France), 20-26 août 1998.

WERNER A.M. and LANGE D.A. (1999) – Quantitative image analysis of masonry mortar microstructure. *Journal of Computing in Civil Engineering*, **13** (2), 110-115.

ZOURIDAKIS N.M., ECONOMOU I.G., TZEVELEKOS K.P. and KIKKINIDES E.S. (2000) – Investigation of the physicochemical characteristics of ancient mortars by static and dynamic studies. *Cement and Concrete Research*, **30**, 1151-1155.

Annexe 1

Glossaire

Argiles d'illuviation : Les revêtements argileux sont des traits texturaux d'origine pédologique. Ils résultent d'un processus d'illuviation, c'est-à-dire qu'ils sont le résultat d'un dépôt de particules fines dans la porosité de la matrice d'une formation superficielle (Courty et al. 1989, p152-153). On peut les retrouver dans le sol en remplissage des pores, ou simplement tapissant la paroi des vides et/ou du granulat (Bullock et al. 1985).

Automorphes : Se dit de cristaux dont la géométrie des faces correspond à celle suggérée par la structure moléculaire interne.

Cella : Pièce retirée d'un temple où l'on plaçait la statue du dieu (In Barbet 2001 ; voir *naos*).

Gravelles : Particules émoussées, voire arrondies, plus grossières que les sables (diamètre supérieur à 2mm, graviers à cailloutis).

Maçonnerie en petit appareil : Maçonnerie à blocage d'*opus caementicium* et à parements majoritairement de petite taille (Seigne 1999).

Naos : Salle centrale du temple abritant la statue du dieu (voir *cella*).

Paragenèse : Une association de minéraux caractéristique d'un processus de formation d'une roche.

Pellets : Fragments de formes sphériques et elliptiques de roche calcaire micritique (aux cristaux de calcite inférieurs à 20 µm).

Péribole : Mur d'enceinte d'un portique.

Pontates : Pour une paroi peinte, registres d'environ 2m de haut correspondant aux niveaux des différents étages de l'échafaudage.

Pronaos : Vestibule d'un temple donnant accès au *naos*.

Structure : La structure d'un mortier de chaux désigne la façon dont les constituants (matrice et grains) sont arrangés et dont ils ménagent des vides.

Stylobate : Soubassement d'une colonnade, généralement le « mur intérieur » dans un portique.

Surface spécifique : Elle définit la surface totale par unité de masse de produit qui est accessible aux atomes et aux molécules. Elle augmente avec la « division » du produit : pour des poudres, le rapport surface sur volume est immensément supérieur à celui des matériaux massifs.

Tector : « Issu de la même famille que *tegere*, couvrir, protéger, le terme de *tector* désigne en latin un artisan spécialisé dans les enduits ; c'est lui qui recouvre voûtes et parois des différentes couches à base de chaux constituant l'*opus tectorium* dont Vitruve a longuement décrit la technique, c'est lui encore qui exécute les corniches et les reliefs de stuc figurés dont s'ornent façades et intérieurs de nombreux bâtiments. » (Blanc 1984, p.727).

Texture : La texture d'un mortier désigne l'éventail des tailles des grains et des particules élémentaires (leur granulométrie).

Volcano-clastique : Se dit d'une roche contenant des fragments de roches volcaniques.

Annexe 2

Numérotation et codification des échantillons et des supports de peintures

Ce travail nécessitant l'étude d'un nombre important de sites archéologiques et d'échantillons, il nous a semblé préférable d'utiliser un système de numérotation homogène. La numérotation et la désignation interviennent à plusieurs niveaux.

a) Les échantillons

Le code d'identification des échantillons doit pouvoir de suite renvoyer au site archéologique d'origine. C'est pourquoi nous avons choisi d'affecter à la plupart des échantillons les trois premières lettres du site, suivies d'un numéro qui témoigne uniquement de l'ordre dans lequel ils ont été prélevés.

Exemple : *site d'Allonnes, dixième prélèvement : ALL 10.*

b) Cas des enduits peints

Les enduits peints bénéficient d'une numérotation plus avancée. En effet, chaque échantillon d'enduit se définit systématiquement comme une association de plusieurs couches. L'organisation de ces couches est, depuis Frizot (1975), parfaitement encodée. Nous reprenons ici la notation de Frizot, agrémentée de quelques ajouts. La description des couches s'effectue de la couche picturale vers le mur, soit donc de l'avant vers le revers. Un enduit peint se décompose comme suit :

- couche picturale notée Cp
- couche d'épiderme notée (a)
- les couches de transition et de préparation, notées (b), (c), (d), etc.

Les termes intonaco, arriccio et rinzaffo, respectivement pour les couches d'épiderme, de transition et de préparation, ont été mis de côté, l'utilisation qui en est faite par les différents auteurs étant trop variable (le terme rinzaffo, pour exemple, est rarement employé).

Lorsqu'un échantillon d'enduit peint présente une double association, visible par la présence d'une autre couche picturale dans le support, chaque couche est repérées par un indice, tel que de l'avant au revers :

$$Cp_1, (a_1), (b_1), (c_1), Cp_2, (a_2), (b_2), (c_2)$$

Mais ceci n'est pas toujours suffisant. Il se peut qu'une couche se subdivise en plusieurs sous-couches, nous obligeant à faire des distinctions entre ces dernières. La subdivision se note comme suit, toujours de l'avant au revers :

Exemple : *la couche (b) se subdivise en deux sous-couches : (b') et (b'')*.

Lorsque l'on souhaite nommer une couche (ou une sous-couche) d'un échantillon, on utilise le nom de l'échantillon suivi du code de la couche.

Exemple : *site d'Allonnes, échantillon ALL 10, sous-couche (b₂') : ALL 10 (b₂').*

c) Les types de mortier

La notation des types de mortier obéit à la même volonté de clarté et de simplicité que celle des échantillons. Le lecteur doit pouvoir identifier de suite à quelle famille de mortiers il est confronté. Nous avons encodé l'ensemble des familles (voir tableau). Pour la plupart des sites, les types de mortier sont désignés par ce code, suivi par un chiffre indiquant uniquement leur ordre de découverte.

Famille de mortiers	Code
Mortier sableux	MS
Mortier de tuileau	MT
Mortier de tuileau et de sable	MTS
Béton de gravier naturel	BG
Béton de tuileau	BT
Béton à tuileau et gravier	BTG
Bétons à teneur importante en sable	BGS, BTS, BTSG

Pour la comparaison de types de mortier de sites différents, les trois lettres indiquant le site sont ajoutées devant le nom du type.

Exemple : *site d'Allonnes, type MTS1 : ALL-MTS1.*

Annexe 3

La calcul minéralogique : Méthode « F.X.D. » (Calcul Minéraux LCPC)

La méthode du calcul minéralogique a été développée par F.-X. Deloye au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). D'abord appliquée aux sols argileux, cette analyse minéralogique quantitative, associée à un calcul normatif, a été transposée aux pierres, mortiers et bétons actuels. Elle permet, par exemple, d'identifier la composition du ciment d'un béton moderne. L'utilisation de l'informatique pour effectuer les calculs a permis de se pencher sur le cas des matériaux anciens afin de retrouver leur composition d'origine et, ainsi, reconstituer leur évolution avec le temps (Deloye 1991).

L'application de cette méthode sur un mortier ancien fournit des renseignements particulièrement complets sur le matériau d'origine : la nature et la proportion du granulat, la nature et la proportion de la matrice, et la nature et la proportion des espèces minérales nouvellement formées. Ces dernières peuvent être liées à l'altération du matériau ou bien aux réactions pouzzolaniques. Les incuits, pollutions de la fabrication de la chaux, sont regroupés avec le granulat calcaire (s'il existe). Le matériau pouzzolanique n'ayant pas réagi avec la chaux est lui associé au granulat siliceux.

Le processus pour arriver à cette caractérisation du matériau d'origine et de son évolution est assez complexe. Il fait appel à tout un cortège d'analyses (Martinet et Quénéé 1999) :

- Microscope optique polarisant pour l'identification du granulat.
- Diffractométrie des rayons X (XRD) pour identifier le liant du mortier et les produits d'altération.
- Microscope électronique à balayage (MEB) couplé à un spectromètre X à dispersion d'énergie (EDS) pour caractériser la microstructure des carbonates et des hydrates de la matrice et détecter les signes d'une dégradation physique ou chimique, avec identification des phases d'altération ; l'analyse élémentaire quantitative est possible localement.
- Analyse chimique de la fraction soluble après dissolution du mortier (acide HNO₃ 1:50).
- Analyses thermogravimétriques (TGA) pour déterminer la proportion d'eau dans les hydrates et la proportion de carbonates (à partir des pertes en CO₂).

La composition minéralogique est obtenue ensuite grâce au logiciel « Calcul Minéraux LCPC » qui effectue un calcul itératif, sur la base d'une supposition de la composition originelle de la matrice, après calcul du rapport entre la teneur en oxydes du mortier et la teneur en oxydes de la matrice. La série d'itérations permet d'obtenir une approximation de la composition initiale de la matrice.

Le plus gros problème inhérent à cette méthode, comme pour toutes les méthodes faisant appel à une dissolution du mortier par l'acide, vient des difficultés à dissocier les carbonates de calcium provenant du granulats calcaire de ceux formés par carbonatation de la matrice. Actuellement, plusieurs techniques existent pour résoudre cette question : le couplage de l'analyse thermogravimétrique (TGA) avec la thermogravimétrie différentielle (DTA) semble pouvoir entraîner une distinction entre le CO₂ provenant d'une calcite naturelle et celui issu de la carbonatation de la chaux, tout comme l'analyse des isotopes stables (discrimination des domaines ¹³C et ¹⁸O) ou instables (¹⁴C, dont le taux est nul dans les roches calcaires).

Les premières applications de cette méthode sur des mortiers anciens ont porté sur des matériaux de toutes époques (Deloye 1991), afin d'établir un début de référentiel concernant à la fois les recettes (proportion de chaux surtout) et l'effet pouzzolanique. Il apparaît que l'activité pouzzolanique n'est jamais nulle et, pour l'auteur, que l'on puisse faire la différence entre les cas où l'effet est intentionnel de ceux où il est fortuit. F.-X. Deloye penche pour une préméditation de l'effet pour l'ensemble des mortiers de l'époque romaine. Notons toutefois que les échantillons gallo-romains provenaient de l'aqueduc du Gier et de plusieurs ponts, c'est-à-dire de structures nécessitant une bonne résistance à l'eau et donc l'emploi de mortiers hydrauliques. On ne peut généraliser à l'ensemble des mortiers romains.

Cette méthode trouve son application première dans l'étude de l'état de conservation des matériaux, en préalable à une restauration (avec des matériaux de composition et propriétés proches), puisqu'elle permet de remonter à la recette d'origine et d'identifier les éléments liés à son altération. On trouve quelques exemples dans la littérature, traitant soit de mortiers de chaux éteinte « pure » (Bromblet 1995), soit de mortiers de chaux hydraulique ou ayant subi des réactions pouzzolaniques (notamment avec des argiles type kaolinite ; Martinet et Quénéé 1999), mais ne portant pas sur des matériaux antiques.

Les avantages de cette méthode sont certains. Pourtant, elle est peu utilisée pour des matériaux gallo-romains, car les demandes d'étude en vue de restauration sont rares. Cette méthode serait tout aussi appréciable pour une étude pétroarchéologique, même si l'on peut s'interroger sur ses apports dans le cas de familles de mortiers employant des matières premières de même nature en des proportions relativement équivalentes.

Les inconvénients de la méthode « FXD » ne sont pas à négliger. Tout d'abord le volume de matière nécessaire pour effectuer l'ensemble des analyses est relativement important (au minimum à peu près le volume du poing). Cet état de fait est très vite limitant en archéologie, le volume de matériau étant souvent faible, et pose de suite problème pour le cas particulier des enduits peints et de leur stratigraphie. Ensuite, cette méthode, assez complète, fait appel à un grand nombre d'analyses, à des techniques variées, ce qui a un coût. Il est peu envisageable d'effectuer pour un site une étude complète des mortiers (ce qui signifie généralement plusieurs dizaines de prélèvements) avec l'application de cette méthode pour chaque échantillon. Le calcul minéralogique peut, au contraire, se révéler être un très bon complément d'analyse une fois la typologie des mortiers établie, tout en permettant de discuter de sa validité.

Références

BROMBLET Ph. (1995) – Utilisation de la méthode du calcul normatif (méthode F.X. Deloye) pour la mise au point d'un mortier de rejointoiement. Application au portail sud de la façade occidentale de la cathédrale d'Amiens. In colloque *La chaux et les mortiers ; natures, propriétés, traitements*. Section française du Conseil International des Monuments et des Sites (ICOMOS) et Direction du Patrimoine – Ministère de la Culture et de la Francophonie / LRMH. Paris, le 24 janvier 1995, Musée des Arts et Traditions Populaires.

DELOYE F.-X. (1991) – Le calcul minéralogique. Application aux monuments anciens. *Bull. liaison Labo. P. et Ch.*, **175**, 59-65.

MARTINET G. et QUENEE B. (1999) – Proposal for an useful methodology for ancient mortars study. In RILEM technical Committee – “Characterisation of old mortars, with respect to their repair”. *International workshop Historic Mortars : Characteristics and tests at the Advanced Concrete and Masonry Center*, University of Paisley, Scotland, 12-14 mai 1999.

RESUME

La recherche pétroarchéologique sur les mortiers de chaux gallo-romains s'appuie sur une méthodologie analytique simple, fondée sur les observations en microscopie optique en transmission, apportant le maximum d'informations sur le matériau et les différentes étapes de sa chaîne opératoire.

Ce travail nous a permis de tracer les traits généraux du métier (les pratiques communes des *structores* et *tectores* antiques), d'établir les relations entre les compositions des mortiers et leurs fonctions architecturales « primaires » et « secondaires », puis de percevoir quels sont les marqueurs et les motivations des adaptations de recettes. L'importance de l'environnement géologique est démontrée, puisqu'il induit des choix économiques et techniques, obligeant parfois au remplacement de matières premières. Il pose aussi les limites géographiques de « l'intérêt » de la propagation des « innovations », souvent liées à des problèmes locaux d'approvisionnement en matières premières.

Les notions de propriétés « voulues », « manquées » et « involontaires » permettent toutefois de comprendre ce qui, dans le système complexe du métier du mortier de chaux, sera générateur de durabilité ou au contraire de variabilité des recettes, en réponse à la qualité apparente et immédiate du matériau.

Actuellement, seule une étude des mortiers selon leur emploi et pour une « région » restreinte permet de percevoir des évolutions chronologiques à valeur de datation. L'étude des mortiers de construction des édifices de la ville d'Arles apparaît en ce sens exemplaire : des mortiers issus d'un même patrimoine local montrent des utilisations parfaitement circonscrites dans le temps, nous permettant d'avancer des hypothèses de datation pour des maçonneries mal datées ou à datation encore sujette à controverse.

MOTS-CLES : Mortier de chaux ; Pétroarchéologie ; Gaule romaine ; Choix techniques ; Réactions pouzzolaniques.

ABSTRACT

The petroarchaeological research on Gallo-Roman lime mortars is based on a simple analytical methodology (the observations by transmission optical microscopy) which brings the maximum of information about the building material and the various stages of its chaîne opératoire.

This work allowed us to draw the general features of the profession (the *structores* and *tectores* common practices), to establish the relations between the mortar compositions and their “primary” and “secondary” architectural functions, then to perceive which are markers and motivations of the adaptations of mixtures. The importance of the geologic environment is demonstrated, because it leads economic and technical choices, sometimes obliging the replacement of raw materials. It also puts the geographic limits of “the interest” for propagation of the innovations, often connected to local problems of supply in raw materials.

The notions of “wanted”, “missed” and “involuntary” properties allow however to understand what, in the complex system of the lime mortar profession, will be generative of durability or unlike variability of mixtures, in answer to the visible and immediate quality of the material.

At present, only a study of mortars according to their use and for a restricted “region” allows to perceive chronological evolutions with value of dating. The study of mortars of masonry buildings in the city of Arles seems this way exemplary : mortars stemming from the same local technical patrimony show uses perfectly confined in the time, allowing us to advance hypotheses of dating for badly dated masonry structures.

KEY WORDS : Lime mortars ; Petroarchaeology ; Roman Gaul ; Technical choices ; Pozzolan reactions.

DISCIPLINE : Archéologie

UFR 03 Histoire de l'Art et Archéologie - Université Paris I - 3 rue Michelet - 75006 Paris