Géologie et construction dans le "De architectura" de Vitruve

Frédéric Davidovits

▶ **To cite this version:**

Frédéric Davidovits. Géologie et construction dans le "De architectura" de Vitruve. Etudes classiques. Université de Caen / Basse-Normandie, 2007. Français. NNT : . tel-03000458

HAL Id: tel-03000458

https://normandie-univ.hal.science/tel-03000458

Submitted on 11 Nov 2020

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.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

UNIVERSITÉ DE CAEN/BASSE-NORMANDIE
U.F.R. : SCIENCES DE L'HOMME
ECOLE DOCTORALE LITTÉRATURE,
CULTURES ET SCIENCES SOCIALES

THÈSE

présentée par

Mr Frédéric DAVIDOVITS

et soutenue

le 28 mars 2007

en vue de l'obtention du

DOCTORAT de l'UNIVERSITE DE CAEN
Spécialité : Langues et Littératures Anciennes
Arrêté du 07 avril 2006

<u>Titre</u> : Géologie et construction dans le *De architectura* de Vitruve

<u>MEMBRES du JURY</u>

Mr Pierre Gros, Professeur émérite, Université de Provence et Institut Universitaire de France **(*rapporteur*)**
Mme Agnès Rouveret, Professeur, Université de Nanterre **(*rapporteur*)**
Mme Carmen Codoñer, Catedratica, Université de Salamanque
Mr Philippe Fleury, Professeur, Université de Caen
Mr Pierre Savaton, Maître de Conférences, Université de Caen
Mr Louis Callebat, Professeur émérite, Université de Caen **(*Directeur de thèse*)**

Remerciements

Je tiens avant tout à remercier le Professeur Louis Callebat pour sa patience et sa disponibilité. Son exigence intellectuelle comme directeur de thèse m'a donc permis de mener à bien ce travail de longue haleine.

Je remercie les membres du jury, qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir évaluer ce travail.

Je remercie enfin ma famille pour son soutien sans faille.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **15**

1. ARGILLA **29**

1. ETYMOLOGIE D'*ARGILLA* 29
2. USAGE ET SENS D'*ARGILLA* AVANT VITRUVE 29
3. *ARGILLA* CHEZ VITRUVE 29

3.1. Analyse de l'unique syntagme argilla cum capillo subacta *30*

3.1.1. *Capillus* chez Vitruve 30

3.1.2. *Subigere* chez Vitruve 30

3.2. Argilla cum capillo subacta « torchis de crin » : fabrication d'une bauge spécialisée *35*

3.2.1. Types d'argiles pour le « torchis de crin » 35

3.2.2. Le dégraissant de fibre, le crin 36

3.3. Usages du « torchis de crin » (5, 10, 2 et 3 ; 10, 15, 1) *37*

3.3.1. L'*argilla cum capillo subacta* de la « tortue fortin » (10, 15, 1) 37

3.3.2. *Argilla* et l'hypocauste (5, 10, 2) 38

3.3.3. Le « torchis de crin » des voûtes de bain : les joints d'extrados (5, 10, 3) 42

4. CONCLUSION 43

2. BITUMEN - BITUMINOSUS **45**

1. ÉTYMOLOGIE DE *BITUMEN* ET DE *BITUMINOSUS* 45
2. USAGE ET SENS DE *BITUMEN* AVANT VITRUVE 45
3. *BITUMEN* ET *BITUMINOSUS* CHEZ VITRUVE 45

3.1. Géologie de bitumen, et de bituminosus *46*

3.1.1. *Bitumen* et le volcanisme des profondeurs de la terre (2, 6, 1 ; 8, 6, 12) 46

3.1.2. *Bituminosus* et les eaux souterraines (8, 2, 8 ; 8, 3, 4) 50

3.2. Extraction et usage du bitume *53*

3.2.1. Le bitume exploitable contenu dans les eaux : *bitumen liquidum* et *bituminosa terra* (8, 3, 8-9) 53

3.2.2. Usage du bitume (1, 5, 8) 54

4. CONCLUSION 55

3. CAEMENTUM - CAEMENTICIUS **57**

1. ÉTYMOLOGIE DE *CAEMENTUM* ET DE *CAEMENTICIUS* 57
2. USAGE ET SENS DE *CAEMENTUM* ET DE *CAEMENTICIUS* AVANT VITRUVE 57
3. *CAEMENTUM* ET *CAEMENTICIUS* CHEZ VITRUVE 58

3.1. Caementum et la géologie *58*

3.1.1. Extraction des moellons (2, 7, 1 et 5) 59

3.1.2. Nature des pierres utilisées comme *caementum* (2, 6, 1 ; 2, 8, 6 ; 7, 6, 1 ; 8, 6, 14) 60

3.2. Caementum, la fabrication des moellons (2, 8, 7 ; 8, 6, 14) et leur granulométrie (2, 8, 2 ; 4, 4, 4 ; 8, 6, 14) 62

3.3. Edification de la structura caementicia (5, 12, 3-5 ; 8, 6, 14) *68*

3.3.1. Notice technique de la *structura caementicia* : les murs des citernes signiennes (8, 6, 14) 69

3.3.2. Les *structurae caementiciae* bâties sur mer (5, 12, 3 et 5) 71
3.4. Exposé taxinomique des structurae caementiciae dans le huitième chapitre du livre II (2, 8, 1-2, 5-7) 79
3.4.1. *Genus incertum* et *genus reticulatum* d'après Vitruve (2, 8, 1) 79
3.4.2. Comparaison avec la nomenclature archéologique *(opus incertum*, *quasi-reticulatum*, et *reticulatum*) ... 81
3.4.3. Les *structurae* grecques et romaines (2, 8, 5-6) 84
3.4.4. L'*emplecton* (2, 8, 7) : une maçonnerie à l'aspect tressé 89
3.5. Le concept de « maçonnerie plastique » (caementum molle) (2, 8) 93
4. CONCLUSION 93

4. CALCULUS - CALCULOSUS 97

1. ÉTYMOLOGIE DE *CALCULUS* ET DE *CALCULOSUS* 97
2. USAGE ET SENS DE *CALCULUS* AVANT VITRUVE 97
3. *CALCULUS* ET *CALCULOSUS* CHEZ VITRUVE 98
3.1. Calculi crudi « nodules incuits (de chaux), incuits, pigeons » (7, 2, 1): les déchets de la cuisson de la chaux et la dolomie 98
3.1.1. Le calcaire et la dolomie 99
3.1.2. Comment se forment les incuits dans un chaufour 100
3.2. Ratio macerationis « règle d'extinction de la chaux » et calculi « incuits de la chaux » (7, 2, 2) 102
3.2.1. Comment déterminer le type et la qualité de la chaux 103
3.2.2. Extinction « ordinaire » ou « à grande eau » (*maceratio*) (Vitr. 7, 2, 1-2) 104
3.2.3. La fin de l'extinction et le début du corroyage (7, 2, 2) 107
4. CONCLUSION 108

5. CALX 109

1. ÉTYMOLOGIE DE *CALX* 109
2. USAGE ET SENS DE *CALX* AVANT VITRUVE 109
3. *CALX* CHEZ VITRUVE 110
3.1. La théorie phlogistique de Vitruve et ses applications : la théorie atomique des quatre éléments, la composition théorique des calcaires et la chaux (2, 5, 1-3) 110
3.1.1. Volonté vitruvienne d'une démarche théorique pour expliquer la chaux 112
3.1.2. La cuisson dans le chaufour et ce qui s'y passe (Vitr. 2, 5, 2-3) 112
3.2. Que se passe-t-il dans la fosse d'extinction ? Les réactions chimiques d'après Vitruve 114
3.2.1. Principe de l'extinction (*maceratio*) (2, 5, 3; 7, 2, 1; 7, 3, 7) 114
3.2.2. Les phases d'extinction (2, 5, 3) 115
3.2.3. Interprétation de la réaction d'extinction 116
3.2.4. Le vocabulaire de l'extinction de la chaux (*calx* + adjectif) 116
3.3. La notion de ieiunitas et la chimie de la prise d'après Vitruve (2, 5, 3 ; 2, 8, 2 ; 7, 4, 3 ; 7, 3, 7) 118
3.3.1. La *ieiunitas*, moteur de la prise de la chaux (7, 3, 7) 119
3.3.2. Définition de la *ieiunitas* 119
3.3.3. *Ieiunitas* et les *materiae* hydrauliques (2, 6, 1 ; 2, 6, 4) 121

3.3.4. Deux conséquences de la *ieiunitas* (2, 8, 2 ; 7, 4, 3) 123
3.4. Quelques usages particuliers de la chaux (7, 1, 7 ; 7, 9, 5 ; 8, 6, 8) *125*
3.4.1. Le mastic de chaux vive et d'huile (7, 1, 7 ; 8, 6, 8) 125
3.4.2. Chaux pour falsifier les couleurs (7, 9, 5) 126
3.5. Evolution de la chaux depuis Pline l'Ancien (Nat. 36, 174) *127*
4. CONCLUSION 128

6. CARBUNCULUS 131

1. ÉTYMOLOGIE DE *CARBUNCULUS* 131
2. EMPLOI ET SENS DE *CARBUNCULUS* AVANT VITRUVE 131
3. *CARBUNCULUS* CHEZ VITRUVE 132
3.1. Harena carbunculus : un tuf volcanique (8, 1, 2) *132*
3.1.1. Les propriétés du tuf en sous-sol (8, 1, 2) 132
3.1.2. Les tufs volcaniques qu'on a coutume d'appeler *carbunculus* dans la littérature archéologique 134
3.2. La formation du carbunculus, tuf peu induré (materia excocta) (2, 6, 5-6) *135*
3.2.1. La *materia* et le *carbunculus*: les effets du volcanisme sur les roches et leurs propriétés comme matériau de construction (2, 6, 6) 135
3.2.2. *Terra exusta* « terre brûlée » et *excocta materia* « roche calcinée » : un classement du degré de cuisson naturelle des roches issues du volcanisme 137
3.2.3. La structure de la *materia excocta* (2, 6, 5-6) : un brusque dégazage de la pierre volcanique lors du refroidissement 138
3.2.4. Les gaz pipes dans la carrière de Paringianu (Sardaigne) 139
3.2.5. Relation entre *carbunculus* et *materia* : les ignimbrites, le gaz pipe et les fumerolles fossiles 140
3.2.6. La *materia excocta* (2, 6, 6) : une structure volcanique meuble peu ordinaire alliée à une *ieiunitas* naturelle 142
3.3. Résultats archéologiques : le carbunculus post-vitruvien est un sable volcanique cuit au four . 143
4. CONCLUSION 145

7. CRETA - CRETOSUS - ΘΕΟΔΟΤΕΙΟΝ 147

1. ÉTYMOLOGIE DE *CRETA*, DE *CRETOSUS* ET DE ΘΕΟΔΟΤΕῖΟΝ 147
2. USAGE ET SENS DE *CRETA* ET DE *CRETOSUS* AVANT VITRUVE 147
3. *CRETA*, *CRETOSUS* ET ΘΕΟΔΟΤΕῖΟΝ CHEZ VITRUVE 148
3.1. Terra albida cretosa « argile blanche plastique » et les adobes (2, 3, 1) *149*
3.2. Creta « poudre minérale fine » et la finition des enduits des plafonds cintrés (7, 3, 3) *150*
3.3. Les pigments cretae uirides « terres vertes » (7, 7, 4) *152*
3.3.1. *Creta uiridis*, *θεοδοτεῖον* (7, 7, 4) et *appianum* (Plin. *Nat*. 35, 48) 152
3.3.2. Types d'argiles vertes et gisements connus 153
3.3.3. Les terres vertes en peinture romaine : analyses d'échantillons 154
3.4. Les supports de couleurs obtenues par voie humide (7, 14, 1-2) (creta, creta selinusia, creta anularia) et les laques *155*
3.4.1. La recette type vitruvienne : imitation du sil attique (*sil atticum imitari*) (7, 14, 1) 156
3.4.2. *Creta* et les laques rouges pour imiter la pourpre (7, 14, 1-2) 157
3.4.3. *Creta selunisia* : succédané d'indigo à base de guède (7, 14, 2) 158

3.4.4. Les laques de *rubia*, *uaccinium* et de *uiola* 161
3.5. La nature de la creta anularia (Vitr. 7, 14, 2 ; Plin. Nat. 35, 46; 35, 48) *161*
4. CONCLUSION 163

8. GLAREA - GLAREOSUS 165

1. ÉTYMOLOGIE DE *GLAREA* ET DE *GLAREOSUS* 165
2. USAGE ET SENS DE *GLAREA* ET DE *GLAREOSUS* AVANT VITRUVE 165
3. *GLAREA* ET *GLAREOSUS* CHEZ VITRUVE 165
3.1. Glarea et glareosus dans le discours géologique vitruvien (2, 6, 5 ; 8, 1, 2) *165*
3.1.1. *Glareosa* « les sols de nature graveleuse » (2, 6, 5) 166
3.1.2. *Glarea* et ses propriétés de filtration de l'eau (8, 1, 2) 167
3.2. L'extraction d'un sable à partir de la glarea (2, 4, 2) *168*
4. CONCLUSION 169

9. GYPSUM 171

1. ÉTYMOLOGIE DE *GYPSUM* 171
2. USAGE ET SENS DE *GYPSUM* AVANT VITRUVE 171
3. *GYPSUM* CHEZ VITRUVE : L'INUTILITE DU PLATRE DANS LE STUC (7, 3, 3) 171
3.1. « minime gypsum debet admisceri » *172*
3.2. Comment utiliser le plâtre dans une corniche *172*
4. CONCLUSION 173

10. HARENA – HARENATIO – HARENATUM – HARENARIA – HARENOSUS 175

1. ETYMOLOGIE D'*HARENA*, D'*HARENATIO*, D'*HARENATUM*, D'*HARENARIA* ET D'*HARENOSUS* 175
2. USAGE ET SENS D'*HARENA*, D'*HARENATIO*, D'*HARENATUM*, D'*HARENARIA*, ET D'*HARENOSUS* AVANT VITRUVE 176
3. *HARENA*, *HARENATIO*, *HARENATUM*, *HARENARIA*, ET *HARENOSUS* CHEZ VITRUVE 178
3.1. Harena et sa géologie *178*
3.1.1. Les terrains sableux : *lutum harenosum* (2, 3, 1), (*loca/sola*) *harenosa* (2, 6, 5), *solum harenosum* (8, 6, 3) 179
3.1.2. La géologie de l'*harena fossicia* (2, 4, 1 ; 8, 6, 14) et les carrières de sable pouzzolanique (*harenaria*) (2, 4, 3) 180
3.1.3. Les sables fluviaux et marins (*harena fluuiatica*, *harena marina*) (2, 4, 2) 184
3.2. Harena et son usage sur le chantier *186*
3.2.1. L'*harena fossicia* est un produit de qualité (1, 2, 8) 186
3.2.2. L'*harena fossicia* pour la *structura caementicia* (1, 2, 8 ; 2, 4, 1 ; 8, 6, 14) 187
3.2.3. Les sables et les enduits (7, 3, 2-3 ; 7, 3, 6 ; 7, 3, 8 ; 7, 3, 10) ; *harenatum* (7, 3, 5 ; 7, 3, 11 ; 7, 4, 1 ; 7, 4, 3) ; *harenatio* (7, 3, 9) 191
3.3. L'harena à usage industriel : caeruleum, la recette du bleu égyptien (7, 11, 1) *197*
3.3.1. Le célèbre pigment « bleu égyptien » 198
3.3.2. Étude archéologique, historique et archéométrique 199
3.3.3. La reprise de la recette par Cetius Faventinus (27, 10) 201
4. CONCLUSION 203

11. LAPIS - LAPIDICINA - LAPIDEUS 205

1. ÉTYMOLOGIE DE *LAPIS*, DE *LAPIDICINA* ET DE *LAPIDEUS* 205
2. USAGE ET SENS DE *LAPIS*, DE *LAPIDICINA* ET DE *LAPIDEUS* AVANT VITRUVE 205
3. *LAPIS*, *LAPIDICINA* ET *LAPIDEUS* CHEZ VITRUVE 206

3.1. Lapidicina, lapis et la géologie des pierres (2, 7, 1-5) 207

3.1.1. Brève nomenclature des carrières (2, 7, 1) 208
3.1.2. *Lapidicinae molles* « carrières de tufs volcaniques tendres » (2, 7, 2) 210
3.1.3. Les *lapidicinae temperatae* « pierres calcaires moyennement dures » (2, 7, 2) 213
3.1.4. Les *lapidicinae durae*, *uti siliceae*: les carrières d'Anicius (2, 7, 3-4) 214

3.2. Usage architectural de lapis et de lapideus 218

3.2.1. Les *lapides quadrati* « pierres de taille » (2, 8, 3 ; 4, 4, 4 ; 5, 12, 6) 219
3.2.2. *Theatrum lapideum* « théâtre de pierre » (3, 3, 2) 222
3.2.3. Parties architecturales de pierre : *columna lapidea* « colonne de pierre », *epistylium lapideum* « architrave de pierre », *pila lapidea* « pilier en pierre » 222

4. CONCLUSION 227

12. LUTUM - LUTEUS - LUTOSUS 229

1. ÉTYMOLOGIE DE *LUTUM*, DE *LUTEUS* ET DE *LUTOSUS* 229
2. USAGE ET SENS DE *LUTUM,* DE *LUTEUS* ET DE *LUTOSUS* AVANT VITRUVE 229
3. *LUTUM*, *LUTEUS* ET *LUTOSUS* CHEZ VITRUVE 231

3.1. Lutum et la géologie (2, 3, 1 ; 5, 9, 7) 232

3.1.1. *Lutum harenosum, calculosum, sabulonosum* (2, 3, 1) : ressources géologiques impropres pour l'adobe 232

3.2. Lutum (2, 3, 1-2), luteus (2, 1, 3) et le chantier 235

3.2.1. Cahier des charges pour le torchis et l'adobe d'après les textes anciens (Caton, Lucilius, Vitruve) 236
3.2.2. *Luteae glaebae «* boules de terre façonnée » (2, 1, 3) 242
3.2.3. Les premiers *luta* « préhistoriques » d'après Vitruve (2, 1, 2-5) 244
3.2.4. Le *lutum* « torchis » contemporain de Vitruve (7, 3, 11) 246

4. CONCLUSION 248

13. MARMOR – MARMOREUS – MARMORARIUS 251

1. ETYMOLOGIE DE *MARMOR*, DE *MARMOREUS* ET DE *MARMORARIUS* 251
2. USAGE ET SENS DE *MARMOR* ET DE *MARMOREUS* AVANT VITRUVE 251
3. *MARMOR*, *MARMOREUS* ET *MARMORARIUS* CHEZ VITRUVE 253

3.1. Marmor et sa géologie (2, 8, 10; 7, 6, 1; 10, 2, 12 et 15) 253

3.1.1. *Farina parata* « poudre native de marbre » (7, 6, 1) 254
3.1.2. Calcaires sparitiques consolidés (2, 8, 10 ; 7, 6, 1 ; 10, 2, 15) 255

3.2. Marmor, marmoreus : usage du marbre dans les grands sanctuaires de Rome (3, 3, 5 ; 7, pr., 17) 260

3.2.1. Le temple d'Honos et de Virtus de Cossutius bâti non en marbre, mais en matériaux ordinaires (7, *pr*., 17) : le prestige (*autoritas*) conféré par le marbre 261
3.2.2. Les architraves de marbre (*epistylia marmorea*) dans les temples aréostyles (3, 3, 5) 263

3.3. Marmorarius : les tailleurs de marbre dans les équipes de chantier (7, 6, 1) 264

3.4. La poudre de marbre et son emploi *265*
3.4.1. La poudre de marbre dans les enduits : synthèse des passages vitruviens (7, 3, 3 ; 7, 3, 6 et 9 ; 7, 6, 1) 265
3.4.2. La granulométrie de la calcite dans les enduits 267
3.5. Imitation des plaques de marbre (crustae marmoreae) dans la peinture murale (7, 5, 1) *269*
4. CONCLUSION 270

14. MATERIA - MATERIES 273

1. ÉTYMOLOGIE DE *MATERIA* ET DE *MATERIES* 273
2. USAGE ET SENS DE *MATERIA* ET DE *MATERIES* AVANT VITRUVE 273
3. *MATERIA*/*MATERIES* CHEZ VITRUVE 274
3.1. Materia et sa nature géologique (2, 6, 5-6) *275*
3.2. La materia « mortier, liant » et les règles de fabrication du mortier terrestre (2, 4, 1; 2, 5, 1) . *275*
3.2.1. L'ordre de corroyage du liant (*materiam miscere* 2, 5, 1) et les types des *materiarum* selon leur usage chez Vitruve 276
3.2.2. La « règle de proportions du mortier » *ratio mixtionis temperaturae* (2, 5, 1) : cahier des charges et *compendium* des textes vitruviens et des connaissances modernes 277
3.2.3. Préparation de la pâte de chaux (7, 2, 1) 282
3.2.4. Le gâchage de la *materia* d'après les données archéologiques 283
3.3. Materia et les enduits *285*
3.3.1. Préparation de la *materia*: synthèse sur les enduits à la grecque et l'enduit de marbre (7, 3, 6 et 10) 286
3.3.2. Le problème du nombre de couches (7, 3, 6) 288
3.3.3. *Materies ex calce et harena mixta*: l'enduit imperméable de l'extrados des berceaux (7, 3, 2) 290
4. CONCLUSION 290

15. PARAETONIUM 293

1. ETYMOLOGIE DE *PARAETONIUM* 293
2. *PARAETONIUM* CHEZ VITRUVE 293
2.1. Le paraetonium chez Vitruve (7, 7, 3) *293*
2.2. Le blanc de Paraetonium d'après les données archéologiques *294*
2.3. Usage en peinture romaine *295*
3. CONCLUSION 296

16. PULUIS 297

1. ETYMOLOGIE DE *PULUIS* 297
2. USAGE ET SENS DE *PULUIS* AVANT VITRUVE 297
3. *PULUIS* CHEZ VITRUVE 298
3.1. Puluis ruber la poussière du cinabre (7, 8, 1) *298*
3.2. Puluis, la pouzzolane de Baïes et sa géologie (2, 6, 1-4) *299*
3.3. Usage du puluis comme pouzzolane : les môles (5, 12, 2) *301*
4. CONCLUSION 302

17. PUMEX - PUMICOSUS 305

1. ÉTYMOLOGIE DE *PUMEX* ET DE *PUMICOSUS* 305

2. USAGE ET SENS DE *PUMEX* ET DE *PUMICOSUS* AVANT VITRUVE 305
3. *PUMEX* ET *PUMICOSUS* CHEZ VITRUVE 305
4. CONCLUSION 309

18. RUBRICA 311

1. ÉTYMOLOGIE DE *RUBRICA* 311
2. USAGE ET SENS DE *RUBRICA* AVANT VITRUVE 311
3. *RUBRICA* CHEZ VITRUVE 311
3.1. Rubrica « argile plastique rouge » et les adobes (2, 3, 1) 311
3.2. Rubrica, pigment de peinture (7, 7, 2) 312
3.2.1. Minéralogie de la *rubrica* 313
3.2.2. Les différentes *rubricae* mentionnées par Vitruve et revues par Pline (*Nat*. 35, 31-34) 314
4. CONCLUSION 316

19. SABULO — SABULOSUS/SABULONOSUS 317

1. ETYMOLOGIE DE *SABULO* ET DE *SABULOSUS* 317
2. USAGE ET SENS DE *SABULO*/*SABULUM* ET DE *SABULOSUS* AVANT VITRUVE 317
3. *SABULO* ET *SABULOSUS*/*SABULONOSUS* CHEZ VITRUVE 318
3.1. Sabulo, sabulosus/sabulonosus et la géologie (2, 3, 1 ; 2, 6, 5 ; 8, 1, 2) 318
3.1.1. *Sabulo masculus*, *sabulo solutus* et eau potable (8, 1, 2) 318
3.1.2. *Lutum sabulonosum* et les briques crues (2, 3, 1) 321
3.1.3. *Sabulosa* « terrains sablonneux » (2, 6, 5) 322
3.2. Sabulo et le chantier (2, 3, 1 ; 5, 9, 7 ; 7, 4, 5) 323
3.2.1. *Sabulo masculus* : agent démoulant ou dégraissant (2, 3, 1) 323
3.2.2. Le *sabulo*, élément filtrant dans un système de drainage pour les *ambulationes* « promenades » des portiques (5, 9, 7) 325
3.2.3. Le pavement filtrant de cendres et de *sabulo* (7, 4, 5) 329
4. CONCLUSION 330

20. SAXUM - SAXEUS 333

1. ETYMOLOGIE DE *SAXUM* ET DE *SAXEUS* 333
2. USAGE ET SENS DE *SAXUM* ET DE *SAXEUS* AVANT VITRUVE 333
3. *SAXUM* ET *SAXEUS* CHEZ VITRUVE 334
3.1. Saxum et la géologie (2, 7, 2 et 5 ; 8, 1, 2 ; 8, 3, 16-19-22 ; 8, 6, 3) 335
3.1.1. Les tufs volcaniques tendres (2, 7, 2 ; 8, 1, 2) 335
3.1.2. *Saxa silices / Saxa silicea* pierres dures et roches calcaires (8, 1, 2 ; 8, 3, 19) 337
3.1.3. L'extraction des *saxa quadrata* dans les carrières (2, 7, 1-5) 339
3.2. Saxum : le gros œuvre et le chantier (2, 5, 1-3 ; 10, 2, 2 ; 10, 11, 1-3) 342
3.2.1. *Saxum* et la pierre à chaux hydraulique (2, 5, 1-3) 342
3.2.2. *Saxa forata* : les blocs soulevés au moyen de griffes (10, 2, 2) 351
3.3. Saxum quadratum « pierre de taille » (1, 5, 8 ; 2, 7, 1 ; 2, 8, 4 ; 2, 8, 16 ; 4, 4, 4 ; 5, 12, 6 ; 6, 8, 9) 352
3.4. Autre usage architectural de saxum (7, 1, 3 ; 8, 6, 8-9) 352

3.4.1. *Saxum* composant d'un radier de fondation (7, 1, 3) ... 352
3.4.2. Les pierres rouges de raccord (*saxum rubrum*) dans les siphons inversés (8, 6, 8-9) ... 353
4. CONCLUSION ... 354

21. SIL - ΄ΩΧΡΑ - VSTA ... 357

1. ETYMOLOGIE DE *SIL*, D'ὤΧΡΑ ET D'*USTA* ... 357
2. ΄ΩΧΡΑ , *SIL* ET *USTA* CHEZ VITRUVE ... 358
2.1. Sil « ocre » et ὤχρα attica « ocre jaune » (7, 7, 1) ... 358
2.1.1. Extraction de l'ocre attique dans les mines d'argent selon Vitruve ... 359
2.1.2. Les mines du Laurion et l'extraction du sil attique ... 360
2.1.3. Méthodes traditionnelles d'extraction de l'ocre ... 360
2.2. La fabrication de l'ocre rouge (usta) par calcination de l'ocre jaune (7, 11, 1) ... 361
2.2.1. Préparation de l'hématite désordonnée (*ustam temperare*) d'après Vitruve ... 362
2.2.2. Comparaison avec Pline, Théophraste et les données archéologiques ... 363
3. CONCLUSION ... 364

22. SILEX - SILICEUS ... 365

1. ETYMOLOGIE DE *SILEX* ET DE *SILICEUS* ... 365
2. USAGE ET SENS DE *SILEX* ET DE *SILICEUS* AVANT VITRUVE ... 365
3. *SILEX* ET *SILICEUS* CHEZ VITRUVE ... 366
3.1. Silex, siliceus et la géologie (2, 7, 1 ; 8, 1, 2 ; 8, 3, 19 ; 8, 6, 14) ... 366
3.1.1. (*Lapidicinae*) *siliceae* « carrières de pierres dures » (2, 7, 1) : leur nature et les indices de difficulté de taille de la pierre selon l'AFNOR ... 366
3.1.2. Le *silex* des citernes signiennes (8, 6, 14) ... 369
3.1.3. *Saxa silicea*/*saxa silices* : pierres dures et roches calcaires (8, 1, 2 ; 8, 3, 19) ... 370
3.2. Silex et le gros œuvre (1, 5, 8 ; 2, 5, 1 ; 2, 8, 4-5) ... 371
3.2.1. Les pierres dures à chaux chez Vitruve (2, 5, 1) et chez le Naturaliste (*Nat*. 36, 174) ... 371
3.2.2. Le matériau *silex* pour la construction (1, 5, 8) ... 373
3.2.3. Les pierres dures assisées (*Ordinaria ex silicibus, ordinaria de silice seu lapide duro*) (2, 8, 4-5) ... 373
4. CONCLUSION ... 374

23. SPONGIA ... 377

1. ETYMOLOGIE DE *SPONGIA* ... 377
2. USAGE ET SENS DE *SPONGEA* / *SPONGIA* AVANT VITRUVE ... 377
3. *SPONGIA* CHEZ VITRUVE ... 377
3.1. Observation et théorie du volcanisme à partir de la géologie campanienne : la méthodologie vitruvienne (Vitr. 2, 6, 2-3) ... 378
3.2. Théorie vitruvienne de la ieiunitas et spongia ... 381
4. CONCLUSION ... 382

24. TERRA - TERRENUS - TERROSUS ... 385

1. ETYMOLOGIE DE *TERRA*, DE *TERRENUS* ET DE *TERROSUS* ... 385
2. USAGE ET SENS DE *TERRA*, DE *TERRENUS* AVANT VITRUVE ... 385

3. *TERRA*, *TERRENUS* ET *TERROSUS* CHEZ VITRUVE 387
3.1. Terra, terrenus, terrosus et la géologie (2, 6, 2-6 ; 8, 1, 2 ; 8, 2, 3-4 ; 8, 2, 9 ; 8, 3, 1-2 ; 8, 3, 7-8 ; 8, 3, 11 ; 8, 3, 15 ...) *389*
3.1.1. *Terra*, *terrenus*, les quatre éléments (8, *pr.* 1 ; 2, 7, 2-3) et les roches 389
3.1.2. *Terra* et l'hydrologie (8, 1, 2 ; 8, 2, 3-4 ; 8, 2, 9 ; 8, 3, 1-2 ; 8, 3, 7-8 ; 8, 3, 11 ; 8, 3, 15) 389
3.1.3. *Harena* (*fossicia*) *terrosa* « sable volcanique altéré » (2, 4, 1 ; 2, 4, 3) 397
3.2. Terra et le chantier (2, 1, 5 ; 2, 3, 1 ; 6, 8, 5) *398*
3.2.1. *E terra maximi grumi* « de très grosses mottes de terre » 2, 1, 5 398
3.2.2. *Terra cum paleis subacta* « terre pétrie de paille » 2, 1, 5 400
3.2.3. *Onus terrenum* (1, 5, 7), *terrae congestio* « remblai » (6, 8, 5), *terrenum* « masse de terre » (6, 8, 7) ... 401
4. CONCLUSION 402

25. TESTA - TESTACEUS 405

1. ETYMOLOGIE DE *TESTA* ET DE *TESTACEUS* 405
2. USAGE ET SENS DE *TESTA* ET DE *TESTACEUS* AVANT VITRUVE 405
3. *TESTA* ET *TESTACEUS* CHEZ VITRUVE 406
3.1. Testa et ses composants (2, 8, 19 ; 8, 6, 14) *407*
3.1.1. *Testa* et les tuiles de récupération (2, 8, 19) 407
3.1.2. Le type d'argile utilisé pour la *testa* de Segni (8, 6, 14) 412
3.2. Testa et le chantier (2, 5, 1 ; 7, 1, 3 et 5) *417*
3.2.1. *Testa tunsa* : la granulométrie d'une *harena* et le ratio avec la chaux (2, 5, 1 ; 7, 1, 3 et 5) 417
3.2.2. Catalogue de l'emploi du tuileau dans les enduits étanches (*testacea trullisatio*) (5, 10 , 3 ; 7, 4, 1 ; 7, 4, 3) 425
3.2.3. Discussions : d'où vient la *testa* qu'on met dans la chaux et pourquoi la technique du tuileau ne s'est-elle pas universellement répandue ? 427
3.3. Usage de la brique cuite (testa et testaceus) *432*
3.3.1. *Structurae testaceae* « maçonneries de briques cuites » (2, 8, 4; 2, 8, 17-18) 432
3.3.2. *Pauimenta testacea tiburtina* : les mosaïques de briques de chant à la mode de Tibur (7, 1, 4 et 7) 433
3.3.3. Pourquoi Vitruve ne parle-t-il pas plus des briques cuites ? 434
4. CONCLUSION 434

26. TOFUS 437

1. ETYMOLOGIE DE *TOFUS* 437
2. USAGE ET SENS DE *TOFUS* AVANT VITRUVE 437
3. USAGE DE *TOFUS* CHEZ VITRUVE 437
3.1. La formation volcanique du tofus et la « jéjunisation » de cette roche (2, 6, 1 et 3) *438*
3.2. Typologie des tofi (2, 6, 6 ; 2, 7, 1) pour les pierres de taille et les moellons *439*
3.3. Le tuf des canaux souterrains (8, 6, 3) *441*
4. CONCLUSION 441

CONCLUSION ET PERSPECTIVES GENERALES 443

BIBLIOGRAPHIE 457

INDEX RERUM..... 471

INDEX FRANÇAIS..... 479

FICHES ECHANTILLONS GEOCISTEM, CARTES, ET FIGURES 483

Introduction

Architecte romain, Vitruve publia vers 25 *a. C.* son traité d'architecture. Composé de dix livres, le *De architectura* aborde des programmes architecturaux, mais aussi des sujets qui y sont associés (les matériaux de construction, les aqueducs, l'urbanisme, les travaux de finitions, les pigments), des thèmes techniques (les machines d'ingénieurs civils et d'inventeurs célèbres) et scientifiques (géologie, astronomie). Le *De architectura* est l'œuvre d'un *architectus*, c'est-à-dire de quelqu'un qui cumule entre autres le métier d'architecte et celui d'un ingénieur de bureau d'étude. Comme ses prédécesseurs grecs, l'*architectus* romain est architecte et ingénieur (civil et militaire), mais il peut aussi être entrepreneur, superviseur de construction, inspecteur des travaux… Nul doute que Vitruve assura plusieurs de ces fonctions au long de sa carrière : il est vraisemblable que l'architecte était un fonctionnaire (*apparitor*) au service d'un responsable politique. Ce type de fonctionnaire, organisé en corporation, fournissait toutes les compétences techniques nécessaires à la gestion d'un projet, lorsqu'un magistrat devait accomplir une mission. Dans le cas d'un magistrat affecté à la construction ou de la rénovation d'un bâtiment, l'*apparitor* pouvait recommander les solutions techniques ou s'occuper de la supervision du chantier [1].

Seul traité d'architecture complet que l'Antiquité ait jamais légué, le *De architectura* est déjà connu et utilisé au Bas-Empire et au Moyen-Age, mais c'est surtout à partir de la Renaissance, qu'il devient la source majeure d'inspiration des architectes européens lesquels ambitionnent de bâtir comme les Anciens dans le cadre de la redécouverte des textes gréco-latins et de la Rome antique. Tous les grands noms de l'architecture italienne ont lu Vitruve : Vignole, Palladio… Son traité est traduit et commenté dans toutes les langues éminentes de l'Europe intellectuelle (Italie, France, Espagne). Des architectes européens, à partir de la Renaissance, voyagent en Italie pour copier les monuments romains et les reproduire. Les traductions et les commentaires du *De architectura* constituèrent la source du mouvement architectural appelé « vitruvianisme », qui tendait à appliquer les préceptes de l'architecte romain [2]. Au XVIII[e] siècle, la découverte des cités romaines englouties de Pompéi et d'Herculanum relance l'intérêt pour le traité. Les archéologues et les historiens se sont intéressés à ce texte pour comparer, entre autres, les descriptions données dans le livre VI des maisons romaines aux habitations retrouvées dans les villes campaniennes. De même, les spécialistes ont fait une comparaison entre, dans le livre VII, les prescriptions vitruviennes concernant les peintures murales et les fresques qui avaient été découvertes sur les murs de

[1] Gros 1994.
[2] Cf. Vitruv, *Baukunst*, traduction Auguste Rode, introduction Georg Germann, commentaire Andrei Giere, Artemis Verlag für Architektür, München, 1987. L'introduction Vitruv, Vitruvianismus und Rodes Übersetzung résume les caractéristiques de ce mouvement et la réception du texte vitruvien en

Pompéi et qui, d'une certaine manière, illustraient les propos de l'architecte. Enfin, de manière générale, comme le traité décrit des matériaux de construction (pierre, argile, sable, tuileau, chaux) et des produits dérivés (mortiers, pigments, peintures…), des livres II ou VII furent tirées des recettes dont on vérifiait la pertinence en les appliquant aux structures républicaines ou impériales (mortiers, enduits, maçonneries), voire à celles de périodes beaucoup plus récentes.

Problématique de l'étude

Telle est la place importante qu'occupe Vitruve dans l'histoire de l'architecture et des sciences. Or, il n'est pas aisé d'utiliser les informations extraites du *De architectura*, comme le remarque P. Gros. Ce dernier se penche sur les raisons qui rendent si problématiques parfois la rencontre entre le traité et ceux qui, un jour, décident de l'approcher, qu'ils soient archéologues, traducteurs ou historiens de l'art et des sciences : « Cette démarche est souvent grevée par une absence de réflexion préliminaire sur les singularités et la finalité de l'exposé vitruvien. Nous nous contentons en général d'isoler de leur contexte les phrases ou les mots dont nous avons besoin pour les intégrer à un glossaire dont la logique ne répond pas toujours à celle mise en œuvre par l'auteur latin. Plusieurs difficultés, inhérentes à l'interprétation de l'ensemble du *De architectura,* sont ici amplifiées par ces lectures fractionnées, et s'avèrent à l'usage d'autant plus redoutables qu'elles sont dissimulées par l'aspect concret du propos et l'apparente précision de la terminologie. » [3]

P. Gros a distingué trois types de difficultés, qui attendent tous ceux qui s'attachent à extraire des conseils d'un texte vieux de deux millénaires. Le premier obstacle vient de la manière dont le traité est rédigé et dont l'information technique est répartie dans l'ouvrage tout entier. L'architecte latin peut faire référence à des pratiques de construction qui semblent évidentes à lui et ses contemporains, mais qui ne le sont plus pour les spécialistes modernes. Ainsi, dans le quatrième chapitre du livre II, la notion d'*harena fossicia*, renvoyant à un type de sable d'usage courant dans les maçonneries du traité, n'est pas clairement explicitée et risquerait de demeurer lettre morte pour le lecteur moderne, à moins cependant d'adjoindre l'adjectif épithète « volcanique » à la traduction habituelle de « sable fossile ». Sans cette précision de la plus haute importance, les recettes de mortiers de Vitruve perdent de leur pertinence et aboutissent à des contresens. De plus, le concept d'*harena fossicia* est relié indirectement à une théorie volcanique que Vitruve développe au sixième chapitre du livre II et qui explique le comportement des composants du mortier (chaux, granulat) entre eux lors de la prise.

Europe depuis le Moyen-Age.
[3] Gros 2003, pp. 142-144.

Pour P. Gros, la deuxième difficulté du traité vitruvien « réside dans la fragmentation de l'exposé, due au souci pédagogique de ne traiter dans chaque *volumen* qu'un aspect rigoureusement circonscrit de la science architecturale : le livre II étant consacré aux matériaux (*materiae*, ou *materiarum copiae*), Vitruve ne voit pas toujours la nécessité de s'attarder sur les méthodes de taille ou de mise en oeuvre de chacun d'entre eux, attaché qu'il est à décrire les propriétés de chaque catégorie, qu'elle soit naturelle (pierres, sables), ou obtenue par transformation (chaux, briques). » Et en outre, il lui arrive de considérer comme acquises des données sur lesquelles il ne juge pas utile de revenir, alors que celles-ci n'ont été qu'effleurées dans les volumes précédents. Quand l'architecte aborde la maçonnerie concrète (*structura caementicia*), thème fondamental de l'architecture romaine pour les archéologues, il n'en donne aucune définition préliminaire.

Quant à la troisième difficulté, elle tient à la polyvalence du vocabulaire latin dans les diverses notices techniques et architecturales : la description des mélanges plastiques durcissant avec le temps (torchis, liant de chaux ou de plâtre, bitume) est l'un des domaines du *De architectura* où se sont exprimées de nombreuses interrogations. Ainsi, les discussions et les polémiques, qui en résultent parmi les archéologues, n'ont pas encore abouti à des solutions satisfaisantes. Par exemple, on donne conventionnellement, dans la littérature archéologique, le nom d'*opus* aussi bien à la structure considérée dans son ensemble (*opus caementicium*) qu'à ses faces parementées (*opus incertum* ou *opus reticulatum*). Mais ces syntagmes latins, entrés dans la terminologie archéologique, peuvent ne plus avoir le même sens en regard des textes latins d'origine d'où ils ont été extraits. P. Gros conclut ainsi : « Cette situation est bien connue, et a souvent été dénoncée, mais ses conséquences sur l'interprétation de certaines notices de Vitruve, et aussi de Pline l'Ancien qui sont largement tributaires des premières, n'en ont pas été pour autant tirées. » (Un autre exemple de polémique archéologique dont parle P. Gros concerne l'*opus sigininum* ou « coccio pesto » ; cf. *Testa*.)

Enfin, nous pouvons ajouter une quatrième difficulté, qui est le mode dont on traite l'information technique ou scientifique selon les époques. Des encyclopédies comme le *Larousse du XIX^e^ siècle* peuvent sembler dépassées du point de vue de la connaissance, mais le recours à de tels instruments pour comprendre le *De architectura* peut se justifier pour deux raisons. Tout d'abord, la manière dont l'énoncé scientifique est présenté au XIX^e^ siècle est encore proche de celle de l'Antiquité et l'on y découvre toutes sortes de détails sur les qualités du matériau. Ainsi, pour l'argile, les propriétés y sont exposées de la même façon que si le lecteur se trouvait dans un atelier de poterie et observait le travail de l'artisan. A l'inverse, les manuels modernes mettent en avant des descriptions physiques qui sont le résultat d'analyses sophistiquées (rayons X, microscopie électronique…). Par conséquent, la présentation d'un texte scientifique contemporain et celle donnée par le *Larousse du XIX^e^ siècle* diffèrent l'une de l'autre.

Comment Vitruve aborde-t-il les matériaux dans son traité d'architecture ? Dans le

livre II, l'architecte se propose, dès la préface, de « traiter des matériaux dont on dispose et dont l'emploi, pour la maçonnerie et pour la charpente, permet de mener à bien des constructions ». Or, pour cela, il importe de bien connaître « les qualités d'usage, spécifiques à ces matériaux, et, [d']identifier, les éléments naturels qui les composent ». L. Callebat écrit à propos de cette définition des matériaux du livre II :

« Deux types de rapports, liant l'architecte aux matériaux nécessaires à son oeuvre, paraissent sous-tendre cette définition:

— le premier rapport s'inscrit dans la perspective de la gestion et de la pratique des chantiers : il intéresse le choix pertinent des matériaux les mieux adaptés (par leur qualité, la facilité d'en disposer, leur coût...) au projet de l'architecte.

— le second rapport est d'ordre intellectuel, tendant à détacher, par l'analyse de leurs composantes, les matériaux minéraux et végétaux de leur matérialité brute, d'établir, en isolant leurs principes naturels, une « physique » de l'architecte qui participe de l'ordre même du monde. » [4]

Le traité vitruvien est donc un mélange de divers genres techniques, scientifiques et philosophiques. C'est un manuel d'architecture, mais aussi un livre de sciences naturelles où l'auteur mêle à des conseils pratiques, des anecdotes diverses, des conceptions de l'univers atomistes et pythagoriciennes, sans doute puisées dans des recueils gréco-romains de vulgarisation scientifique. Comment l'esprit du chercheur peut-il tamiser à maille correcte une information scientifiquement exploitable à partir d'un texte où fourmillent toutes sortes de croyances dans les quatre éléments ? Le *De architectura* est-il un empilement hétéroclite d'idées physiques grecques et de suggestions avisées d'un écrivain féru d'architecture ? Ou au contraire, y trouve-t-on une certaine cohérence dans la définition des matériaux et de leur composition physico-chimique « élémentaire » ? Telles sont les difficultés qui, à travers ces perspectives, peuvent se rencontrer lors d'un travail, d'une étude sur Vitruve.

Si le *De architectura* aborde autant de sujets techniques, dont les matériaux de construction, c'est parce que l'*architectus* romain est un généraliste (architecte et ingénieur). Vitruve (1, 1, 1) écrit : « Le savoir de l'architecte (*architecti scientia*) est riche d'un assez grand nombre de disciplines et de connaissances variées […]. Ce savoir procède de la pratique et de la théorie (*ex fabrica et ratiocinatione*). » Quelques paragraphes plus loin, il continue : « Ainsi apparaît-il que celui qui se veut architecte doit être exercé sur l'un et l'autre aspect [pratique et théorie]. C'est pourquoi aussi il faut qu'il soit doué et disposé à acquérir un savoir ; en effet, des dons sans savoir ou un savoir sans dons ne peuvent produire un professionnel accompli. » [5]

La documentation archéologique tend à établir que l'immense majorité des

[4] Callebat 2003, pp. 88-89.
[5] Trad. P. Fleury.

maçonneries trouvées dans les fouilles est médiocre, alors qu'une minorité est excellente. Si la remarque de Vitruve est appliquée à cette constatation, les architectes et les maçons, qui ont bâti ces *structurae caementiciae* de basse qualité, ne seraient pas des professionnels accomplis, car ils n'auraient pas appris convenablement leurs métiers. À l'inverse, les constructeurs des meilleures structures maîtriseraient la *fabrica* « pratique » et la *ratiocinatio* « théorie ». En fait, la constatation vitruvienne, prise isolément, n'explique pas vraiment la différence qualitative entre les bonnes et les mauvaises *structurae caementiciae*. Pourtant, elle est le signe indirect de l'existence d'une tradition de formation au sein des ateliers d'artisans ou d'*architecti*, où s'enseignent la pratique et la théorie.

Dans le *De architectura*, une exigence qualitative se retrouve dans les *modi operandi* décrits par Vitruve, de telle sorte que les maçonneries ainsi édifiées sont le résultat de ce qu'on peut appeler des standards « moraux » : *firmitas* « solidité », *uenustas* « beauté », et *utilitas* « utilité ». Telle est la déontologie de l'architecte d'après Vitruve (1, 3, 2). En outre, on s'aperçoit que les normes qualitatives et les chaînes opératoires développées à l'époque de Vitruve vont être formalisées et appliquées dans les programmes architecturaux postérieurs. Les constructions gallo-romaines fournissent un exemple intéressant. Lors du programme augustéen de la ville d'Arles, l'ampleur des travaux et la puissance du commanditaire impliquaient une politique globale de gestion des chantiers et donc une normalisation des mortiers au niveau de leurs composants de telle sorte que la recette des liants n'évoluât presque pas durant les deux siècles suivants : les mêmes matières premières et proportions relatives chaux/granulat se retrouvent à peu de choses près (de 1/1 à 1/3) à la fin du I^{er} siècle et au II^{e} siècle de notre ère. Les proportions des liants, déjà formalisées dans l'œuvre de Vitruve, auraient perduré à Arles [6].

Mais, ce qui précède est une exception. En fait, pour les archéomètres travaillant sur les constructions gallo-romaines, il est plus courant de trouver dans un bâtiment ou dans un site entier, une grande variation des mortiers, aussi bien dans la nature du granulat que dans leurs combinaisons. On peut interpréter cet éventail de *modi operandi* comme la conséquence, soit de l'intervention de plusieurs équipes de maçons ayant leurs propres habitudes techniques, soit de la piètre formation des ouvriers eux-mêmes, lesquels inventent de nouvelles recettes de liant sans connaître à l'avance les résultats : dans la majorité des cas, ceux-ci seront mauvais.

En tout cas, la variation des recettes des mortiers est la situation la plus courante dans une région où la normalisation venue de Rome n'est pas bien implantée. La diversité gallo-romaine des pratiques édilitaires est perçue par les archéomètres comme étant le résultat d'un esprit d'innovation engendrant une « richesse », c'est-à-dire un large corpus de mortiers, ce qui ne signifie pas forcément que ces liants soient excellents. L'inverse serait

[6] Coutelas 2003, pp. 443-444.

plutôt la règle.

Au contraire, l'association de deux facteurs (l'enseignement du métier et la standardisation des mortiers) intervient non seulement sur le choix des matériaux, mais aussi sur les modes de fabrication : elle apporte une énorme amélioration de la qualité des ouvrages quand elle est adoptée sur un site. Le site d'Arles est exemplaire, car le programme architectural utilisé durant le règne d'Auguste peut s'assimiler à un transport des méthodes qualitatives édilitaires de l'Urbs vers la Gaule romaine. C'est pourquoi la normalisation augustéenne des mortiers, et donc des pratiques édilitaires, est l'extension à un niveau « industriel » des règles qualitatives déjà formalisées par Vitruve pour l'habitat privé ou public [7]. Ce sont ces règles qualitatives et les modes opératoires pour les matériaux de construction et leur usage que nous nous proposons, entre autres, d'étudier dans ce corpus des termes latins dans le *De architectura*.

Corpus des termes étudiés

La présente thèse se veut une étude du vocabulaire des matériaux géologiques, des produits issus de ces matières premières dans le *De Architectura* de Vitruve. L'ensemble de ce corpus lexical est étudié dans une perspective lexicographique, archéologique et « technologique ». L'étude se présente sous la forme d'un lexique alphabétique. Le corpus des termes est tiré de l'ensemble du *De architectura* de Vitruve. Il constitue un champ lexico-notionnel des matières minérales et de leurs produits dérivés, utilisés dans l'architecture romaine: pierre, moellon, sable, pouzzolane, brique crue et cuite, chaux, mortiers, enduits, pigments, maçonneries (*opus caementicium, opus signinum*)… On peut les regrouper en différents domaines.

<u>Termes de géologie et matériaux</u> :

— *argilla* « argile »,
— *bitumen* « bitume », *bituminosus* « bitumineux »,
— *caementum* « moellon, caillou », *caementicius* « de moellon »,
— *calculus* « caillou », *calculosus* « composé de cailloux »,

[7] La standardisation à un niveau industriel aurait été plutôt considérée par Vitruve comme une décadence pour plusieurs raisons. D'abord, la rapidité de fabrication des matériaux et leur mise en place dans une maçonnerie par une main d'œuvre servile n'ont aucun rapport avec les méthodes professionnelles des carriers, des maçons et des tailleurs de pierre lesquels maîtrisent un vrai savoir-faire, source de qualité pour Vitruve. Ensuite, à l'inverse, ces manœuvres et cette main d'œuvre n'apprennent pas un véritable métier du bâtiment, mais produisent rapidement en masse des matériaux (briques, moellons), dont ils n'ont pas à se préoccuper de l'utilisation. Cf. *Vitruve II, Introduction*, pp. LIV-LV.

— *carbunculus* « tuf volcanique carboncle, sable volcanique carboncle »,
— *creta* « craie, argile », *cretosus* « crayeux, argileux »,
— *glarea* « gravier, cailloutis », *glareosus* « graveleux »,
— *harena* « sable », *harenaria* « carrière de sable, sablière », *harenosus* « sableux »,
— *lapis* « pierre, roche », *lapideus* « de pierre », *lapidicina* « carrière de pierre »,
— *lutum* « boue, terre, torchis », *luteus* « de terre, d'argile », *lutosus* « boueux »,
— *marmor* « marbre », *marmoreus* « de marbre, marmoréen »,
— *materia* « tuf volcanique »,
— ὤχρα (*ôchra*) « ocre »,
— *paraetonium* « blanc de Parétonium »,
— *puluis* « poussière, pouzzolane »,
— *pumex* « pierre ponce », *pumicosus* « poreux, ayant l'aspect de pierre ponce »,
— *rubrica* « argile rouge, ocre rouge »,
— *sabulo* « sable fin », *sabulosus* « sablonneux », *sabulonosus* « sablonneux »,
— *saxum* « pierre, roche », *saxeus* « de pierre, pierreux »,
— *sil* « ocre »,
— *silex* « pierre dure », *siliceus* « de pierre dure »,
— *spongia* « pierre ponce »,
— *terra* « terre », *terrenus* « terreux, de terre », *terrosus* « terreux »,
— θεοδοτεῖον (*theodoteîon*) « argile verte de Théodotos »,
— *tofus* « tuf »,

Termes des produits:

— *calx* « chaux »,
— *gypsum* « plâtre »,
— *harenatum* « mortier de chaux et de sable »,
— *materia*/*materies* « mortier, liant »
— *testa* « tuile, brique, tuileau », *testaceus* « de brique, de tuileau »,
— *usta* « ocre brûlée ».

Terme d'opération de chantier :

— *harenatio* « application d'un enduit de chaux et de sable »,

Opérateur :

— *marmorarius* « marbrier »,

Méthode utilisée pour chaque terme

Chaque terme du corpus est analysé lexicographiquement en fonction des données techniques et archéologiques. Chaque étude de mot est divisée en trois parties. Dans une première partie, on procède à un rappel étymologique. Dans une deuxième partie, on effectue une synthèse retraçant l'évolution diachronique et les acceptions du terme dans la littérature latine, avant et après Vitruve. Dans une troisième partie, une analyse sémantique et technique du mot utilisé dans le *De architectura* est ensuite engagée : on rappelle les occurrences du terme et, pour chacune d'elles, soit la monosémie, soit la polysémie du terme chez Vitruve ; enfin, les différentes acceptions sont groupées et analysées selon leur contexte (scientifique, technique, archéologique). Dans la troisième partie, plusieurs cas peuvent se présenter pour l'analyse du terme chez Vitruve selon qu'il est employé en unité lexicale simple (terme) ou dans une unité complexe [8]. Si l'unité simple ou complexe dénote un matériau géologique ainsi qu'une matière première utilisée sur un chantier de construction, on étudie les contextes vitruviens, où cette unité lexicale (simple ou complexe) est utilisée, et on met en évidence des lexies complexes de sens technique décrivant des modes opératoires (extraction, fabrication et/ou utilisation) lesquels concernent ce matériau (nature géologique, matière première). Lorsque les notices vitruviennes montrent des lacunes en ce qui concerne le mode opératoire (extraction ou fabrication), les propriétés ou les descriptions du matériau, on fera appel à quatre approches scientifiques ou techniques (mentionnés *infra*), aux données archéologiques, archéométriques et à d'autres auteurs de l'Antiquité, pour compléter les descriptions de Vitruve. A la fin de chaque étude de l'unité lexicale, il est précisé ou proposé un ou plusieurs sens, une ou plusieurs définitions qui complèteront les notices vitruviennes. De même, si le terme ou la lexie complexe est un produit manufacturé, on use des données archéologiques, techniques et de la littérature ancienne, afin de préciser une définition ou d'en proposer une nouvelle. De plus, si le mot ou l'unité lexicale complexe sont usités dans un discours technico-savant, l'analyse des contextes vitruviens permet d'en établir les conceptions scientifiques (physiques, chimiques, géologiques) en comparant, si besoin est, aux données littéraires ou philosophiques.

Aussi cette étude, outre les composants de la *structura caementicia*, s'ouvre-t-elle à des

[8] En linguistique, on parle de d'*unité lexicale simple* pour ce qui est communément appelé « mot » et d'*unité lexicale complexe* pour un groupe de termes (nom et adjectif, groupe nominal ou verbal, etc. De

domaines de la géologie, de la science antique, élargissant par ailleurs son champ d'investigation des matériaux aux pigments. Cependant, la difficulté liée à la constitution d'un corpus lexical caractéristique du *De architectura* – objet premier de la thèse – tenait pour l'essentiel dans la manière dont ces termes devaient être analysés. Or il n'existe pas d'analyse type d'un vocabulaire technique, car tout dépend du champ notionnel étudié et de ce que l'on veut faire : il faut envisager soit de n'étudier que les concepts scientifiques antiques, soit d'analyser les termes dans une certaine perspective. M. Fruyt constate que l'analyse strictement linguistique ne suffit pas pour expliquer la formation d'une terminologie dans un domaine technique. Ainsi pour le vocabulaire des plantes dans la latinité : « La connaissance extra-linguistique de la réalité dénotée est indispensable pour l'interprétation de nombreuses désignations, et il faut souvent être un vrai spécialiste de botanique pour comprendre la formation de la terminologie botanique. » [9]

Perspectives et outils employés

L'approche la plus intéressante et la plus prometteuse est donc celle de la pluridisciplinarité : comparer les données archéologiques et archéométriques et les informations techniques (géologiques, architecturales...) dans le but de donner un sens précis aux termes des notices vitruviennes. Ainsi, dans le cas des roches (pierre de taille, moellon, sable), on se doit de connaître les méthodes d'extraction et surtout ce qu'on peut extraire comme qualité de pierre suivant l'usage qui en sera fait sur le chantier. De même, l'extraction et la préparation de l'argile, en vue de la fabrication d'adobe ou de brique cuite sont bien documentées dans la littérature archéologique, car ce sont des techniques qui ont fait l'objet d'observations de type ethnologique de la part des archéologues : ceux-ci examinent les pratiques traditionnelles de construction soit simplement à des fins de documentation (cf. Adam 1995), soit pour les reconstituer dans le cadre de l'archéologie expérimentale et éventuellement restaurer des sites archéologiques (cf. Abdul Massih 2000, Fenet 2000). Ce seul exemple montre que les étapes de fabrication de la brique cuite ou crue peuvent être analysées selon diverses perspectives scientifiques : ici l'examen de type ethnologique (confection traditionnelle de brique cuite ou crue) sert une perspective archéologique. Mais, si les données accumulées sont profitables, lorsqu'on rapproche celles-ci de la notice vitruvienne consacrée à l'adobe et au torchis dans le troisième chapitre du livre II, leur usage atteint ses limites. Ainsi, Vitruve énumère dans son exposé les matériaux pour l'adobe ; outre l'argile (*terra albida cretosa*) et la paille (*palea*), il parle d'une matière qu'il nomme *sabulo* « sablon, sable fin » et dont l'emploi est problématique : s'agit-il d'un dégraissant ou d'autre

même, on se sert de *lexie complexe*.
[9] Fruyt 1993, p. 169.

chose ? L'étude de la documentation récente développant les résultats des travaux réalisés sous l'égide du Ministère des Travaux Publics, qui dans les années 1970 avait lancé un plan-construction impliquant une « filière terre » (cf. *infra*), a fourni des éléments de réponse. En effet, elle traite de tous les paramètres nécessaires pour fabriquer, à l'aide de terre et d'argile, des matériaux de construction correspondant à des normes industrielles. Ce faisant, elle donne des principes d'interprétation pour l'usage d'un matériau de type *sabulo*.

Cet exemple n'est pas unique, et nous avons retrouvé de nombreux cas similaires dans notre étude. C'est pourquoi nous avons recherché dans la littérature d'ingénierie civile quels étaient les concepts développés pour caractériser les matériaux minéraux. Il s'agit des prospections et des données relatives aux différentes substances exploitées (géologie, utilisation, prospection des gisements, tests à réaliser lors des recherches). Voici la liste des procédures auxquelles il sera fait référence :

- classification géotechnique des sols (composition granulométrique des sols naturels),
- prospections des matériaux,
- procédures d'identification des matériaux (sable, terre, torchis, pierre),
- étude de la granulométrie (pouzzolane, sable, pierre),
- plasticité et compression (adobe, pisé, torchis, béton, mortier)
- données minéralogiques (argile, sable volcanique et sédimentaire, ocre)
- mécanisme de stabilisation du produit (rôle de la fibre dans un mélange plastique, agrégats)
- contrôle qualité (attention à la réactivité des sables, au tuileau et à la chaux, respect des normes dans la fabrication des briques, des pierres, des pigments, des liants)
- caractéristique mécanique et durabilité du matériau (béton, tuiles, pierre, moellon)
- standards d'extraction, d'élaboration et de mélange des matériaux (sable, terre, pierre)

Comme nous l'avons mentionné plus haut, dans son traité d'architecture, Vitruve insiste sur les notions de *firmitas* « solidité », de *uenustas* « beauté », et d'*utilitas* « utilité », et celles-ci s'appliquent à la recherche de la qualité depuis le choix des matières premières jusqu'à leur utilisation sur le chantier. Ce sont les mêmes préoccupations qu'ont à l'esprit les ingénieurs modernes et leurs concepts développés au XX^{e} siècle devraient éclairer les pratiques de chantier mentionnées dans le *De architectura.*

A cet effet, outre la documentation archéologique sur l'architecture antique, nous avons utilisé notamment trois ouvrages, à savoir Le *Traité de construction en terre* d'Hugo Houben et d'Hubert Guillaud, *The Roman Pantheon*, *The Triumph of Roman Concrete* de David Moore, *Opus caementitium*, *Bautechnik der Römer* de H. O. Lamprecht, et enfin les connaissances acquises durant notre formation académique sur le terrain et en laboratoire par exemple les résultats du projet de recherche GEOCISTEM.

Issu de la « filière terre », le *Traité de construction en terre* est une synthèse des pratiques traditionnelles de construction associée à des normes de qualité et des standards exigés par l'époque moderne. Abordant le torchis, le pisé et leur fabrication, c'est un manuel de construction et d'architecture qui présente des procédés de test des matériaux (description géotechnique des terres, dégraissants, graphiques granulométriques), détaille les stades de confection (extraction, préparation, concassage), et vulgarise des notions d'architecture (sols, murs, fondations, voûtes). Sa lecture permet de comparer et de compléter les données techniques qui ne sont pas mentionnées chez Vitruve. Nous y voyons que les problèmes d'élaboration du torchis et du pisé sont identiques à ceux de la fabrication du mortier de chaux.

Le deuxième ouvrage est le livre de l'Américain David Moore, ingénieur en génie civil, qui s'est penché sur les méthodes de travail des maçons romains. Il étudie les différentes chaux, dont les chaux magnésiques, et il met l'accent sur les tests à effectuer pour éteindre ce liant. De même, il s'interroge sur la manière dont le mélange (mortier et agrégats) pouvait être versé entre deux parements.

Enfin, le livre du professeur de génie civil H. O. Lamprecht, de l'université technologique d'Aix-la-Chapelle (Allemagne). C'est dans son ouvrage, que nous avons découvert un graphique qui met en parallèle la granulométrie d'un béton (*opus caementicium*) de l'aqueduc de Cologne (à Sötenich) avec les standards des bétons de l'industrie allemande. De manière étonnante, cette courbe granulométrique du béton de Sötenich est conforme aux normes du XX^{e} siècle.

La documentation archéologique, issue des équipes des universités (françaises ou étrangères) ou du CNRS, abonde de travaux dont, par exemple, l'objectif était de retrouver la provenance de pierres présentes dans les structures archéologiques. Ainsi, lors des fouilles de l'Ecole française de Rome, avec l'aide des carriers locaux de Bolsena et de sa région, les archéologues ont déterminé le type et l'origine des roches découvertes dans les fouilles (cf. Balland, Barbet 1971). Dans ce même contexte géologique, il se trouve que notre participation au projet de recherche européen GEOCISTEM a eu des conséquences inattendues, mais bénéfiques pour la thèse, tout en étant la mise en pratique de nos connaissances en géologie appliquée à l'archéologie, acquises au cours de la formation de III^{e} cycle. Le GEOCISTEM avait pour objectif de fabriquer de nouveaux ciments à partir de tufs volcaniques [10]. Cet

[10] Le projet (1994-1997) – BRITE-EURAM BE 7355 33 financé par la commission européenne - visait à fabriquer à partir de matériaux naturels de faible coût, des nouveaux ciments alcalins, résistants aux conditions agressives du milieu (acidité, toxicité, etc.). Ce programme avait pour coordinateur scientifique Joseph Davidovits, et il réunissait des centres européens de recherche, dont CORDI-GEOPOLYMÈRE/Institut Géopolymère, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM, Orléans), et les départements des sciences de la Terre des universités de Barcelone (Espagne) et de Cagliari (Sardaigne). Les prospections furent effectuées par Philippe Rocher (B. R. G. M., Orléans), Sandro Tocco et Carlo Marini (Université de Cagliari), et Domingo Gimeno (Université de Barcelone). Ceux-ci choisirent des tufs volcaniques à composition de mélilite potassique. Ils parcoururent

usage des tufs volcaniques meubles dans un mortier à la chaux figure déjà dans Vitruve (quatrième et sixième chapitre du livre II). Sans avoir voulu évoquer le traité de l'architecte romain, mais en se fondant seulement sur l'enseignement géologique moderne, les géologues ont échantillonné deux sites en Etrurie méridionale, entre Tarquinia et le lac de Bolsena, sites qu'ils considéraient dans la région comme les candidats préférables à la réalisation de ces nouveaux ciments. Or, Vitruve précise que les meilleures *harenae fossiciae* « sables volcaniques », dont le *carbunculus,* proviennent de cette même région. La sélection opérée par Vitruve correspondait-elle à celles des géologues du programme ? De même sans référence ni à Vitruve ni à des travaux archéométriques et archéologiques, toujours dans le cadre du projet, la visite de la carrière de Paringianu en Sardaigne, où les géologues prélevèrent du tuf volcanique, permit de connaître les différentes duretés de roches exploitées et celles qui ne l'étaient pas (cf. *Carbunculus* et *Lapis*). D'une manière générale, cette découverte du terrain s'est avérée indispensable pour perfectionner des notions théoriques d'exploitation de carrière, mais aussi pour découvrir des phénomènes géologiques, familiers aux spécialistes, phénomènes qui se trouvèrent alors avoir un écho dans les notices vitruviennes.

Note sur la terminologie employée

Telle qu'elle a été définie précédemment, la thèse est une recherche pluridisciplinaire. Or, chaque discipline se sert de sa propre terminologie. Pour la géologie, science en constante évolution, les terminologies enseignées à l'université peuvent changer et se voir attribuer de nouvelles définitions. Elles diffèrent aussi d'un pays à l'autre. Bien qu'étant conscients de cette réalité et des reproches que pourrait nous valoir l'usage d'une terminologie hétéroclite, nous avons toutefois été amenés à puiser dans les réserves disponibles selon qu'il s'agissait du corpus italophone ou anglophone ou francophone. Même ancienne, la terminologie dont nous nous servons n'est pas en contradiction avec la discipline et reste toujours d'usage (cf. *supra* pour le *Larousse du XIX^e^ siècle*) : pour l'argile, il peut sembler surprenant de recourir à des lexies complexes comme « argile fusible » ou « argile infusible », mais celles-ci sont encore employées dans les corps de métier.

---

l'Europe et collectèrent dix échantillons de tufs volcaniques, prospectés principalement en Italie (Etrurie, Latium, Toscane, Sardaigne, Campanie) et en Espagne (Murcia, Canaries). Pour les essais industriels, ceux-ci étaient calcinés à partir de 800 °C, devenant des pouzzolanes artificielles, et servaient de matières premières pour la fabrication de ciments géopolymères. Ce projet GEOCISTEM contenait en outre un volet archéologique destiné à comparer les performances des matériaux modernes issus de la recherche industrielle avec celles des mortiers et bétons romains. Le CERLA de l'université de Caen était partenaire pour ce volet archéologique. Il a été effectué des prélèvements archéologiques de mortiers à Rome et dans ses environs, et nous avons assisté à l'analyse de leurs composants (granulats volcaniques ou céramiques) et à leur comparaison avec des équivalents modernes.

On proscrit traditionnellement en français le terme *ciment* dans la littérature archéologique pour ne pas le confondre avec le moderne *Portland*, que ne connaissaient pas les Anciens (cf. Martin, Ginouvès 1985). On lui préfère le mot générique *mortier*. Mais la terminologie manufacturière n'utilise pas *ciment* et incline pour user de l'abréviation *OPC* (*Ordinary Portland Cement*) « ciment portland ordinaire », sigle qu'on retrouve même chez des auteurs archéologues invoquant des références archéométriques ou industrielles (cf. Coutelas 2003). Pour éviter l'usage répétitif de *mortier* et dans une perspective de *variatio sermonis*, nous nous sommes donc servis de *liant*, *colle*, et plus rarement de *ciment*. Dans ce cas, nous l'employons comme terme générique équivalent de *mortier*. Mais il n'y a pas confusion de notre part entre le *ciment Portland* ou *OPC* avec *mortier* qui est l'hyperonyme. Enfin, le terme *ciment* a aussi le sens de substance collante dans d'autres disciplines (*ciment dentaire*). De même, en français, la terminologie archéologique distingue le *béton* du *blocage* pour les mêmes raisons ; pourtant, toujours dans une perspective de *variatio sermonis*, nous utilisons *béton* et *blocage* de manière synonymique, de même que *remplissage* qui est d'après R. Ginouvès et R. Martin le terme général pour désigner tout mélange de matériaux entre deux parements. D'ailleurs, l'anglais use indifféremment de *concrete* tant dans la littérature industrielle qu'archéologique (cf. Moore 1995). La littérature archéologique allemande se sert de *Beton* (cf. H. O. Lamprecht).

1. Argilla

1. Etymologie d'*argilla*

Le terme *argīlla, -ae* f, « argile, terre blanche, terre à potier, marne » est emprunté au grec ἄργιλος (ἄργιλλος) «argile, terre blanche à potier» [11] ; on retrouve la même racine que dans *argentum* ; la terre blanche est le « kaolin » ou « terre à porcelaine », que les Chinois utilisaient [12]. Varron rapporte une tradition voulant que le mont Argilète (*Argiletum*) soit rattaché à *argilla* (argile), car on trouvait là un genre de terre argileuse (*quod ibi id genus terrae sit*). D'après J. Collart, cette étymologie semble être correcte [13]. Outre ἄργιλλος, le grec a aussi un nom féminin ἄργιλλα du même sens. On rapproche ἄργιλλος de l'adjectif ἀργός , -ή, -όν « d'un blanc brillant » [14].

2. Usage et sens d'*argilla* avant Vitruve

Argilla [15] est usité pour la première fois par Caton (*Agr*. 40, 2) et la mention la plus récente est d'Isidore de Séville (*Orig*. 16, 1, 6 ; 20, 4, 4). *Argilla* a une unique acception générale : « argile ». Les auteurs mentionnent surtout l'usage qu'on en fait : « argile de terrain agricole » (Varron, Virgile), « argile figuline » (César, Pline, Juvénal, Tertullien, Sidoine Apollinaire, Isidore de Séville), « argile pour greffon » (Caton, Varron, Scribonius Largius), etc. Pour un emploi d'*argilla* en construction, on trouve Varron (1, 57, 1-2) et Palladius (1, 39, 2 et 5).

3. *Argilla* chez Vitruve

Argilla se trouve trois fois dans le syntagme :
— *argilla cum capillo subacta* « argile pétrie avec du crin » : 5, 10, 2 / 5, 10, 3 / 10, 15, 1 [16].

[11] Ernout, Meillet 1985, p. 46, *s. v.* argilla; Walde, Hofman 1982, p. 66; Chantraine 1990, pp. 104-105.
[12] Larousse 1886, pp. 605-607, *s. v.* argile.
[13] *Varron V*, note 4 p. 246.
[14] Chantraine 1990, pp. 104-105.
[15] *T. L. L.* II, col. 530, l. 6-61.
[16] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* argilla, p. 32.

Argilla entre dans le champ notionnel de *creta* « argile, craie » et de *lutum* « boue, argile, torchis ». Puisque *argilla* est usitée dans un même syntagme pour les trois occurrences, l'analyse portera sur chacun des éléments lexicaux.

3.1. Analyse de l'unique syntagme *argilla cum capillo subacta*

Le syntagme se compose de quatre éléments lexicaux : *argilla*, *cum*, *capillo* et *subacta*. Les unités à analyser sont le nom *capillus* « cheveu, poil » et le verbe *subigere* « travailler ». L'étude de ces deux unités lexicales et des liens grammaticaux qui les unissent devrait permettre de traduire au mieux *argilla cum capillo subacta*.

3.1.1. *Capillus* chez Vitruve

Capillus « cheveu, chevelure » apparaît avec Plaute [17]. Il désigne aussi, chez d'autres auteurs, le poil relativement à certaines espèces animales (Caton, Columelle, etc.). Il se trouve dix fois chez Vitruve : 3, 1, 2 / 3, 1, 2 / 3, 1, 2 / 5, 10, 2 / 5, 10, 3 / 6, 1, 3 / 6, 1, 4 / 10, 11, 2 / 10, 11, 9 / 10, 15, 1.

Capillus « cheveu » : 3, 1, 2 / 3, 1, 2 / 3, 1, 2 / 6, 1, 3 / 6, 1, 4 / 10, 11, 2 / 10, 11, 9.
Capillus « crin, bourre » : 5, 10, 2 / 5, 10, 3 / 10, 15, 1. Le crin est un poil long, ferme et souple à la fois, qui pousse à certains animaux (bœuf, cheval), particulièrement au cou et à la queue et son utilisation était recherchée pour des tamis, et pour des cordes [18].

3.1.2. *Subigere* chez Vitruve

Subigere « pousser vers le haut, faire avancer » d'où « forcer, contraindre », « soumettre », « mélanger, pétrir », « travailler », etc. apparaît chez Plaute [19]. Dans la langue rustique, *subigere* possède des sens techniques:
— « retourner la terre, labourer » (Caton Cicéron, Virgile, Pline l'Ancien…),
— « pétrir (pain, farine) » (Caton, Mela, Pline l'Ancien),
— « mélanger, pétrir (du torchis) » : Caton (*Agr*. 92).

Une polysémie technique se retrouve aussi chez Vitruve et *subigere* est usité vingt et une fois dans le *De architectura* [20] : 1, *pr*, 1 / 2, 1, 5 / 5, 10, 2 / 5, 10, 3 / 7, 1, 7 / 7, 1, 7 / 7, 3, 6

[17] *T. L. L.*, III, col. 314-318.
[18] *T. L. L.* III, col. 317, l. 36-37 : pour ces occurrences vitruviennes, une note précise qu'il s'agirait de « crin de queue de cheval » *de saetis caudae equinae dictum esse uidetur*. Larousse, 1869, pp. 527-528, *s. v.* crin.
[19] Glare 1977, pp. 1840-1841, *s. v.* subigo.

/ 7, 3, 6 / 7, 3, 6 / 7, 3, 9 / 7, 3, 10 / 7, 4, 4 / 7, 9, 3 / 7, 10, 2 / 8, 6, 8 / 10, 5, 2 / 10, 7, 3 / 10, 8, 1 / 10, 8, 3 / 10, 8, 4 / 10, 15, 1. A l'inverse de *capillus*, dont le sens est aisé à comprendre, la signification de *subigere* est plus vaste chez Vitruve.

- ***Polysémie de* subigere *dans le De architectura***

Subigere:

1) soumettre: *omnes gentes* ***subigere*** « **soumettre** les nations » 1, *pr*, 1 ;

2) travailler pour obtenir une consistance douce ou homogène

a) malaxer, mélanger, pétrir
— *argilla cum capillo* ***subacta*** « argile **pétrie** avec du crin » 5, 10, 2-3; 10, 15, 1;
— *terra cum paleis* ***subacta*** « terre **pétrie** avec de la paille, torchis » 2, 1, 5; (Cf. Cato, *Agr*. 92 *subigere bene* « bien mélanger (la paille, la boue et l'amurque) » ;
— *calx ex oleo* ***subacta*** « chaux **pétrie** d'huile » 7, 1, 7; 8, 6, 8;
— *materies* ***subigatur*** « **mélanger** l'enduit (de marbre concassé) » 7, 3, 6 ;
— *fuligo ex gummi* ***subacta*** « suie de résine **malaxée** avec de la gomme (pour l'encre des livres) » 7, 10, 2;

b) réduire en poudre, moudre: *uersatione* ***subigitur*** *farina* « la farine est **moulue** par la rotation d'une meule » 10, 5, 2 ;

3) rendre plan, égaliser

a) rendre plan en damant : *nucleus uirgis caedendo* ***subigatur*** « travailler le *nucleus* **en le battant** avec des verges » 7, 1, 7 (Cf. Cato *Agr*. 18, 7 : (*primum corium*) *pilis subigito* « travailler, damer la première couche du pavement avec des hies »).

b) égaliser, dresser un enduit:
— *e marmore graneo directiones sunt* ***subigendae*** « il faut **dresser** des cueillies d'enduit de marbre concassé » 7, 3, 6;
— *corium* ***subactum*** *fuerit* « la couche d'enduit sera **dressée** » 7, 3, 6 ;
— *tectoria sunt politionibus crebris* ***subacta*** « les enduits ont été **soumis à des dressages et des polissages** répétés » 7, 3, 9 ;

---

[20] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* subigo, p. 53; Callebat, Bouet, 1984, p. 1082, *s. v.* subigo.

c) recouvrir d'une substance pour rendre plan
— *candela linteisque puris* ***subigat*** « **lustrer** à la chandelle et au linge propre » 7, 9, 3;
— *abaci ex atramento sunt* ***subigiendi*** *et poliendi* « **peindre en noir** et polir des panneaux (orthostates) » 7, 4, 4;

d) appliquer de l'huile ou de la graisse, lubrifier
— *regulae oleo* ***subactae*** « règles (dans l'orgue hydraulique) **frottées** d'huile » 10, 8, 3 ;

e) polir avec un tour
— *emboli masculi torno politi et oleo* ***subacti*** « pistons (de la machine élévatoire de Ctésibius) **polis** au tour et frottés d'huile » 10, 7, 3;
— *fundili ambulatiles* ***subacti*** *ex torno subtiliter* « des pistons (obturateurs mobiles) d'orgue hydraulique **façonnés** au tour avec précision 10, 8, 1;
— *asses* ***subacti*** *sunt ex torno* « clapets (d'orgue hydraulique) **façonnés** au tour » 10, 8, 4.

Vitruve élargit l'usage technique de *subigere*, qui possède déjà des acceptions didactiques chez les auteurs agricoles.

- ***Analyse paradigmatique de*** **subigere cum/ex**

Vitruve emploie *subigere* « travailler au moyen de » avec un complément circonstanciel de manière ou de moyen à l'ablatif. Il est parfois difficile dans certains cas de les distinguer clairement [21]. En outre, *subigere* peut admettre un syntagme nominal construit avec la préposition *inter* + accusatif, et ce syntagme peut avoir une valeur instrumentale, comme dans l'exemple suivant : *lutum* ***inter manus***, *farinam* ***calcibus*** *subigunt* « Les Égyptiens pétrissent l'argile **entre leurs mains**, la farine **avec leurs pieds**. » (Mela 1, 9, 57). Dans cet exemple *subigere* a comme complément un syntagme nominal à l'accusatif (*inter manus*) et un autre à l'ablatif de moyen (*calcibus*) : ces deux compléments sont différents grammaticalement, mais ils expriment la même idée. Enfin, les syntagmes nominaux introduits par des prépositions comme *ex* + ablatif ou *cum* + ablatif se retrouvent sept fois chez Vitruve.

Subigere ex + *ablatif*

Dans les exemples suivants, la préposition *ex* + ablatif peut avoir deux significations différentes : le moyen et l'origine.

[21] Hofmann, Szantyr 1963, § 79, pp. 119-127 ; Touratier 1994, pp. 225-227.

Ex préposition à valeur instrumentale

La valeur notionnelle de *ex* + ablatif illustre le moyen ou l'« instrument » exprimé par le complément.

- *asses* ***subacti*** *sunt* ***ex torno*** « clapets (d'orgue hydraulique) **façonnés au tour** » 10, 8, 4 ;
- *fundili ambulatiles* ***subacti ex torno*** *subtiliter* « des pistons (obturateurs mobiles) d'orgue hydraulique **façonnés au tour** avec précision 10, 8, 1; *ex torno* a une valeur instrumentale, quoique dans le contexte, la préposition *ex* + ablatif puisse indiquer l'origine [22].

Ex préposition de matière

Outre l'instrumental, la préposition *ex* + ablatif désigne aussi ce à partir de quoi, quelque chose ou quelqu'un est formé, et en particulier la matière d'un objet (naturel ou manufacturé) [23].

— *calx* ***ex oleo subacta*** « chaux **pétrie d'huile** » 7, 1, 7; 8, 6, 8;

— *fuligo* ***ex gummi subacta*** « suie de résine **malaxée avec de la gomme** (pour l'encre des livres) » 7, 10, 2;

— *abaci* ***ex atramento*** *sunt* ***subigiendi*** *et poliendi* « **peindre en noir** et polir des panneaux (orthostates) » 7, 4, 4; dans ce passage, *ex atramento subigere* a presque le sens de « peindre ».

Subigere cum + *ablatif*

La préposition *cum* + ablatif (« avec ») a plusieurs significations : en premier lieu, elle désigne la communauté spatiale et temporelle (association et accompagnement) d'une personne ou d'un objet avec un individu ou une majorité d'individus. Elle qualifie donc la participation commune à une action. En outre, elle indique les circonstances étroites de l'accompagnement ou la modalité d'une action. Enfin, cette préposition introduit le moyen et l'outil de l'action [24]. On peut considérer que dans le syntagme *subigere cum* + ablatif, la préposition exprime certaines de ces notions à la fois : le moyen, le rapprochement et la participation commune à une action. *Subigere cum* « pétrir avec, malaxer avec » se retrouve quatre fois chez Vitruve.

— *argilla cum capillo subacta* « argile pétrie avec du crin » 5, 10, 2-3; 10, 15, 1;

— *terra cum paleis subacta* « terre pétrie avec de la paille, torchis » 2, 1, 5.

---

[22] Hofmann, Szantyr 1963, § 147, pp. 264-267 ; Touratier 1994, pp. 267-269 ; pp. 283-284.
[23] Hofmann, Szantyr 1963, § 147, p. 265, Touratier 1994, p. 286.

Cette construction *subigere cum* + ablatif est employée par Pline le Naturaliste et par Columelle (12, 47, 1) dans des contextes techniques où il s'agit de mélanger deux ingrédients pour fabriquer un produit ou un remède [25].

En fait, *subigere* « mélanger, malaxer, pétrir » peut se construire indifféremment avec les prépositions *ex* + ablatif et *cum* + ablatif car ceux-ci peuvent se substituer l'un à l'autre sans que le sens du verbe en soit affecté. Pour l'étude de lexie avec *argilla* chez Vitruve, la différence de sens entre un complément de manière et un autre de matière semble minime. Ainsi, des syntagmes tels que *terra ex paleis subacta* « terre pétrie avec de la paille », *argilla ex capillo subacta* « argile travaillée avec du crin » et inversement d'autres tels que *calx cum oleo subacta* « chaux mélangée avec de l'huile » et *fuligo cum gummi subacta* « suie de résine malaxée avec de la gomme » qui, tous, fonctionnent avec l'une ou l'autre des deux prépositions, expriment de fait le même processus de mélange de plusieurs éléments entre eux. *Ex* peut donc remplacer *cum*, comme le montre le compilateur de Vitruve du III^e^ siècle *p. C.*, Cetius Faventinus (16, 2 et 17 : *ex capillo et argilla subacta* « de crins et d'argile malaxés ») [26], même si la construction du syntagme n'est plus la même que celle de Vitruve : *subacta* s'accorde en genre et en nombre avec le terme le plus proche, c'est-à-dire *argilla*. De même, Palladius, qui est postérieur à Cetius Faventinus (1, 39, 2 et 1, 39, 5) semble séparer *capillo*, qui était le complément de *subigere* chez Vitruve, du verbe :
- *pilae laterculis argilla subacta et capillo constructae fiant*, « on montera de petits piliers faits de briquettes liées entre elles par un mortier d'argile et de crin » ;
- (*bipedas*) *capillo inter se atque argilla subacta cohaerentes* « (des briques de deux pieds de large) soudées entre elles par du mortier de crin et d'argile ».

Au terme de cette partie lexicologique, *argilla cum capillo subacta* « argile malaxée avec du crin » serait en quelque sorte la définition par inclusion d'un dictionnaire, dont Vitruve ne donnerait pas l'entrée. Si la définition *terra cum paleis subacta* « terre pétrie avec de la paille » (Vitr. 2, 1, 5) peut avoir comme entrée *lutum* « torchis », *argilla cum capillo subacta*, pourrait, hypothétiquement, avoir pour adresse **lutum capillatum* « bauge de crin » : ce syntagme serait possible dans la littérature latine, mais il n'est pas attesté. L'hyperonyme *lutum* apparaît ainsi comme une entrée convenable pour la définition de « l'argile malaxée avec du crin ». Toujours est-il que Vitruve ne donne aucun nom à ce torchis spécialisé, qu'est la « bauge de crin ».

---

[24] Hofmann, Szantyr 1963, p. 259.
[25] Plin. *Nat*. 22, 67 ; 23, 124 ; 26, 22 ; 28, 185 ; 29, 49 ; 29, 106 ; 34, 153 ; 35, 181.

3.2. *Argilla cum capillo subacta* « torchis de crin » : fabrication d'une bauge spécialisée

Après l'analyse syntaxique de lexie complexe, il reste à aborder la fabrication du torchis de crin avant de voir l'usage qui en est fait dans le *De architectura*. Vitruve n'en dit pas davantage sur le torchis de crin tout comme sur la préparation de la bauge en général (cf. *Lutum*). Il a été dit *supra* que cette bauge était fabriquée pour un usage spécifique. En effet, l'*argilla cum capillo subacta* est le seul torchis à subir l'épreuve du feu (Vitr. 5, 10, 3).

3.2.1. Types d'argiles pour le « torchis de crin »

Le *Larousse du XIX^e^ siècle* présente ainsi les argiles. D'une manière générale, les argiles se reconnaissent au goût et au toucher. Ce sont en effet des substances douces et onctueuses. L'argile absorbe l'eau avec avidité. Appliquée sur la langue, elle y adhère fortement, parce qu'elle lui enlève le liquide qui l'humecte. Le souffle de l'haleine lui fait répandre une odeur dite « argileuse ». L'argile est assez tendre pour qu'on puisse aisément la polir, la rayer par l'ongle et l'entamer avec le couteau. Dans le cas d'*argilla cum capillo subacta*, deux types d'argile sont susceptibles de servir : ce torchis est un mortier pour hypocauste, résistant à la chaleur, et il est plastique.

- ***Argiles « infusibles »***

Les premières argiles sont dites infusibles, car elles ne fondent pas à haute température à cause d'impuretés (potassium, composés ferreux...) [27].

Le kaolin

Le kaolin, argile primaire issue de la décomposition des feldspaths (46 % de silice, 40 % d'alumine et 14 % d'eau), est considéré comme la plus pure des argiles. L'argile est blanche et peu plastique ou moyennement plastique. Elle est friable, maigre au toucher et elle se délaye difficilement. Elle est réfractaire et on l'inclut dans certaines terres préparées (la terre cuite, le grès, la porcelaine, et la porcelaine tendre) en vue d'accroître leur blancheur et de mieux pouvoir gérer leur vitrification. Ajouté aux argiles plastiques, le kaolin sert à réduire leur retrait. Vitrifié et broyé il donne une chamotte — le molochite — d'un caractère réfractaire très stable [28]. Il existe aussi des argiles kaoliniques qui peuvent être de couleur.

---

[26] Sur l'hypothèse de Cetius Faventinus du IIIe de notre ère, cf. *Faventinus*, *Introduction*, p. XIII-XVII.
[27] Larousse 1886, pp. 605-607, *s. v.* Argile ; Houben, Guillaud 1995.

L'argile plastique

L'argile plastique, qui est douce et onctueuse au toucher, forme une pâte liante et longue, et est très réfractaire. On l'emploie pour la fabrication des poteries, carreaux, briques réfractaires, creusets, faïences, pots de verrerie, et des cazettes pour la porcelaine. Elle constitue la « terre à potier » ou la « terre à pipe ».

- ***Argiles « fusibles »***

Les argiles fusibles sont moins pures, moins tenaces que les argiles infusibles. Elles sont de deux sortes : les argiles figulines et les argiles smectites (argiles à foulon), lesquelles ne seront pas traitées ici. Les argiles figulines (argile commune, terre glaise) sont plus ou moins solubles dans les acides, et contiennent de 5 à 6 % de calcaire. Elles servent à la fabrication des faïences communes, des briques, des carreaux, des tuiles, au modelage en sculpture. On en glaise le fond et les parois des bassins, afin d'y retenir l'eau. Soumises au feu, ces argiles se colorent, parce que les matières ferrugineuses qu'elles renferment forment des oxydes différemment colorés. Elles contiennent des illites, des montmorillonites et d'autres types d'argile [29].

Ce sont ces deux types d'argile (la fusible et l'infusible), seuls ou en mélange, qui sont utilisés pour le torchis de crin.

3.2.2. Le dégraissant de fibre, le crin

Le torchis de crin, qui doit avoir le comportement d'une pâte céramique, se composera comme celle-ci, d'un élément plastique (argile) et d'un élément antiplastique (dégraissant).

- ***Caractéristiques du « torchis de crin »***

Le torchis de crin est un *lutum* : c'est un mélange d'« eau » *aqua*, de « paille » *palea* et de « terre » *terra (*Cato *Agr*. 14, 3), même si *palea* « paille » est remplacé par *capillus* « crin ». C'est un liant plastique qui durcit avec le temps et qui doit résister à la cuisson. Pour le torchis, la pâte est molle (20-30 % d'eau) et la granulométrie montre une consistance limoneuse et argileuse, c'est-à-dire très fine (< 0,02 mm) [30].

---

[28] *Ibid*. ; Clark 1992, p. 10, pp. 90-91.
[29] Houben, Guillaud 1995, p. 37.
[30] Houben, Guillaud 1995, p. 115.

- ***Préparation du crin* (capillus)**

Le crin, comme la paille, peut être coupé en morceaux. La longueur des fibres dépend de l'usage du torchis. Pour l'adobe, les fibres font entre 8 et 12 cm de longueur ; pour la bauge, entre 30 et 40 cm de longueur ; pour le pisé enfin, cela peut aller de 5 à 10 cm [31].

Le torchis de crin se compose donc d'un élément plastique (un type d'argile ou un mélange de plusieurs) et d'un ingrédient antiplastique qui est le crin. Le tout forme un liant plastique qui durcit avec le temps. Sa proportion en eau est au départ de 20 à 30 %.

3.3. Usages du « torchis de crin » (5, 10, 2 et 3 ; 10, 15, 1)

Argilla cum capillo subacta est attestée trois fois dans le *De architectura*, mais il existe deux usages du liant : d'une part, le torchis résistant au feu (1, 15, 1 et 5, 10, 3) et d'autre part une bauge de joint (5, 10, 2).

3.3.1. L'*argilla cum capillo subacta* de la « tortue fortin » (10, 15, 1)

En 10, 15, 1, Vitruve dépeint une tortue de siège, que L. Callebat a appelée « tortue fortin », et qui possède les mêmes caractéristiques que les tortues de terrassiers, exception faite des chevrons. « Cette « tortue fortin » est ceinturée par un parapet, avec des merlons en planches et, par-dessus, des auvents inclinés que recouvrent et que maintiennent des planches et des cuirs fortement fixés. Au-dessus, on étend une couche d'argile pétrie avec du crin, suffisamment épaisse pour mettre cette machine totalement à l'abri du feu (*Insuper uero argilla cum capillo subacta ad eam crassitudinem inducatur ut ignis omnino non possit ei machinae nocere*). » [32] Si cela est nécessaire, le nombre de roues de cette tortue peut être porté à huit, mais cet aménagement dépend aussi de la nature du terrain.

Cette tortue est également utilisée par les terrassiers et elle possède un toit plat, des créneaux et une couverture en argile [33]. Athénée le Mécanicien (*Mech*. 18, 13-17), lequel a rédigé son traité dans la deuxième moitié du I^er^ s. *a. C.*, écrit que la tortue peut servir pour les terrassements, mais aussi pour l'observation, car les soldats qui s'installent à l'intérieur la conduisent vers le rempart de manière à pouvoir observer l'ennemi. Athénée indique qu'on applique sur la tortue une épaisseur de torchis de façon à ce que le feu ne soit pas une gêne. Puisqu'Athénée et Vitruve font des descriptions assez similaires, il semble intéressant de

[31] Houben, Guillaud 1995, pp. 124-125.
[32] Trad. L. Callebat.
[33] *Vitruve X*, notes 1, 2, 3, pp. 261-262.

comparer les deux textes. Or, on constate que la phrase grecque d'Athénée κατήλειπται δὲ καὶ **πηλῷ τετριχωμένῳ** πάχος ἔχοντι, ὥστε τὸ πῦρ μὴ ἐνοχλεῖν « qu'on applique (sur la tortue) une épaisseur de **torchis de crin** de sorte que le feu ne soit pas une gêne » ressemble au texte vitruvien *insuper uero* ***argilla cum capillo subacta*** *ad eam crassitudinem inducatur ut ignis omnino non possit ei machinae nocere* « on étendra au-dessus une couche d'argile pétrie avec du crin, suffisamment épaisse pour mettre cette machine totalement à l'abri du feu ». Le syntagme qu'utilise Athénée, πηλός τετριχωμένος (*pêlós tetrichôménos*) « torchis mélangé à du crin » ressemble sémantiquement à *argilla cum capillo subacta*. Τετριχωμένος (*tetrichôménos*) « ayant été mélangé avec des cheveux » est le participe parfait medio-passif de τριχόω-ῶ (*trichoô*) « rendre chevelu » [34]. Πηλός τετριχωμένος (*pêlós tetrichôménos*) « bauge mélangée à du crin » est donc l'équivalent du syntagme vitruvien.

Pour trouver du crin dans un contexte identique, il faut lire Apollodore de Damas (*Pol*. 156, 5-157, 1) : « Sur toutes les tortues, on enfonce de manière serrée des clous à large tête, lesquels retiennent une terre malaxée avec ténacité (γῆν λιπαρὰν μεμαλαγμένην) d'au moins quatre doigts [environ 7,5 cm] d'épaisseur et étalée sur les planches de côté ; on a mélangé à la terre du crin (τριχῶν αὐτῇ (γῇ) μιγεισῶν) de sorte que cela tend à éviter les gerçures ». Ce surcroît de poids peut expliquer la présence des huit roues qu'Athénée (*Mech*. 18, 6) et Vitruve mentionnent [35]. L'argile, que les trois auteurs (Apollodore, Athénée, Vitruve) signalent, peut être de nature diverse. Il suffit seulement qu'elle soit plastique.

Il est difficile d'établir avec certitude si Athénée et Vitruve ont une source commune [36], mais on peut constater la similarité entre le syntagme grec (*pêlós tetrichôménos*) πηλός τετριχωμένος « torchis de crin », et celui dont use notre architecte, *argilla cum capillo subacta* « argile malaxée avec du crin ». Pour désigner la bauge, il aurait pu se servir d'un groupe nominal, par exemple *lutum capillatum*, qui serait l'équivalent latin de πηλός τετριχωμένος mais pour des raisons lui appartenant, il a préféré user d'*argilla cum capillo subacta.* Ce syntagme se caractérise par un nom issu du grec (*argilla*) et un verbe (*subigere*) qui est utilisé dans la langue rustique.

3.3.2. *Argilla* et l'hypocauste (5, 10, 2)

Dans le dixième chapitre du livre V, Vitruve décrit les installations des thermes publics, et plus particulièrement, il présente le chauffage de bains chauds (*caldarium*) et tièdes (*tepidarium*) et l'hypocauste [37]. Dans ces établissements, le système d'hypocauste a

---

[34] Cf. Liddell, Scott 1940 : πηλός τετριχωμένος, Polyan., *Strat*. 6, 3, 1; Theophr., *Caus*. *plant*. 1, 6, 7.
[35] *Vitruve X*, pp. 261-262, n. 3.
[36] *Vitruve X*, *Introduction*, pp. XXVIII-XXX : L. Callebat pose l'hypothèse, intéressante, qu'Athénée et Vitruve aient pu suivre la même « école » d'architecture et d'ingénierie.
[37] A partir de la fin de la fin du II^{e} siècle av. J.-C., les *caldaria* font partie des bains du monde romain:

rendu possible le chauffage de grandes quantités d'eau et le maintien de la chaleur dans des baignoires (*alueus*). L'hypocauste est un aménagement dans lequel la chauffe se fait par le passage de gaz chauds sous le sol de baignoires, et par des conduites de terre dans les murs et dans le plafond [38].

Telle est la description faite par Vitruve de ce système : « Les radiers suspendus (*suspensurae*) des bains chauds (*caldariorum*) », écrit-il (5, 12, 2), « doivent être faits de telle sorte que d'abord on carrelle (*sternatur*) le radier inférieur (*solum*) en tuiles d'un pied et demi (*sesquipedalibus tegulis*), lequel est incliné vers le foyer souterrain (*ad hypocausim*) ; de cette manière, lorsqu'on y lance une balle, celle-ci ne peut s'arrêter à l'intérieur, mais elle revient d'elle-même en arrière jusqu'à la bouche du foyer (*ad praefurnium*). Ainsi, la flamme circulera plus facilement sous le radier suspendu. Par-dessus ce carrelage, on maçonnera (*struantur*), en petites briques réfractaires de deux tiers de pied (*laterculis besalibus*), des pilettes d'hypocauste (*pilae*) disposées de telle façon que des tuiles de deux pieds (*bipedales tegulae*) puissent être posées par-dessus. Ces pilettes auront une hauteur de deux pieds et on les maçonnera avec de l'argile réfractaire malaxée avec du crin (*struantur argilla cum capillo subacta*) et on placera d'autres tuiles réfractaires de deux pieds, qui porteront le plancher pilonné. »

- ***Les matériaux des pilettes d'hypocauste***

Pour soutenir la *suspensura caldarium* ou *suspensio* « radier suspendu, plancher », les pilettes d'hypocauste sont la solution architecturale la plus fréquente. Ce sont de petites colonnes de section carrée, rectangulaire ou circulaire, faites en général de briques superposées liées par un mortier de terre, qui reposent sur le radier inférieur et qui supportent le plancher. Vitruve conseille de bâtir les pilettes avec des carreaux de céramique de 19,7 cm de côté (*laterculi besales*). L'emploi de carreaux de céramique constitue une amélioration par rapport aux matériaux sensibles au feu comme les calcaires. La généralisation de pilettes à section carrée se fait dans l'Italie centrale de l'époque tardo-républicaine qui est l'aire géographique des références vitruviennes pour l'architecture des bains. Les *laterculi besales* ne sont pas les seules briquettes carrées à être en usage : on en a trouvé de plus grandes ou de plus petites ; on a relevé en Narbonnaise des briques comprises entre 17 et 24 cm et A. Bouet explique cette variation de dimension par la difficulté pour le

---

Nielsen 1990 (vol. 1), pp. 156-157; Rebuffat 1991 ; Patucci 1993, pp. 15-16 et 48-54. *Vitruvio 1*, pp. 765-769, n. 328-333.

[38] Ginouvès 1992, pp. 211-214.

potier d'anticiper le retrait de l'argile dû au séchage et à la cuisson, afin d'obtenir un produit fini correspondant aux mesures antiques [39].

De plus, le degré de chaleur dans les hypocaustes est un critère déterminant pour le choix des matériaux. D'après les calculs de E. D. Thatcher, les températures étaient de 38 à 135 °C dans l'hypocauste et de 26 à 96 °C dans les *tubuli* des murs. Dans les foyers plus importants des grands thermes, des températures de 600 °C auraient été possibles à l'allumage [40]. Pour résister à la chaleur, on pouvait employer des matériaux réfractaires, comme la pierre ou la lave [41], et l'utilisation d'un liant d'argile est le complément à l'innovation que constitue l'emploi de carreaux de céramiques pour les systèmes de chauffage : ceux-ci sont faciles à produire en série et l'argile crue est un matériau peu coûteux.

- ***L'*argilla cum capillo subacta *des pilettes d'hypocauste***

L'utilisation de l'argile entre les carreaux des pilettes de l'hypocauste peut sembler surprenante, mais elle s'expliquerait si des températures de 600 °C avaient été atteintes à l'allumage du chauffage. En effet, si on avait employé de la chaux, celle-ci aurait pu se retransformer en chaux vive à condition que la température eût dépassé les mesures mentionnées. A cette température, l'argile demeure stable et cuit normalement pour se transformer en céramique et jointoyer les *tegulae*. Toutefois, un tel niveau de chaleur devait être rarement atteint pour de petits établissements, comme cela vient d'être dit. Ainsi, A. Coutelas constate que, pour les joints de *pilae* des thermes de l'Esplanade à Arles (II^e^ - III^e^ s. *p. C.*), l'argile n'est pas cuite dans les pièces 3 et 9 [42]. Pour J.-M. Degbomont, une argile non calcinée donne aux pilettes une souplesse certaine pour résister aux grandes variations de température [43].

---

[39] A. Bouet, *Les matériaux de construction en terre cuite dans les thermes de la Gaule Narbonnaise*, Scripta Antiqua 1, Ausonius Publications, Paris - Bordeaux, 1999, p. 147.

[40] Pour les expériences et les hypothèses : E. D. Thatcher, « The Open Rooms of the Terme del Foro at Ostia », *Memoirs of the American Academy in Rome*, 24, 1956, pp. 169-264 ; Forbes 1958, pp. 36-57; F. Kretschmer, *Die Entwicklungsgeschichte des antiken Bades und das Bad auf dem Magdalensberg*, Düsseldorf, 1961 ; E. Brödner, « Der Einfluss des Heizungssystems und der Warmwasserversorgung auf die Baugestaltung römische Thermen », *Berichte der Tagungen für Ausgrabungswissenschaft und Bauforschung,* Koldeway-Gesellschaft, Cologne, 1964, pp. 94-99 ; E. Fabricotti, « Il grado di riscaldamento nelle terme romane », *Archaeologia*, 48, 1969, pp. 434-438; T. Rook, « The Development and Operation of Roman Hypocausts », *Journal of Archaeological Science*, 5, 1978 ; Yegül 1992, pp. 380-382.

[41] E. Brödner, « Untersuchungen an frühen Hypokaustanlagen », *Technische Gesellschaft*, 43, 1976, pp. 249-267 ; A. Jorio, « Sistema di riscaldamento nelle antiche terme pompeiane », *Bulletino della Commissione Archeologica Communale di Roma*, 86, 1981, pp. 167-189 ; Adam 1995, p. 290.

[42] Coutelas 2003, pp. 383-387.

[43] J. M. Degbomont, *Hypocaustes. Le chauffage par hypocaustes dans l'habitat privé. De la place Saint-Lambert à Liège à l'Aula Palatina de Trèves*, Université de Liège, n° 17, Liège, 1984, p. 102 et n. 216-217. *Faventinus*, p. 106, n. 5.

La présence d'un liant argileux est non seulement attestée à Arles dans les pilettes, mais encore pour la construction des structures de chauffe, aussi bien la sole et les parois des *praefurnia* en briques. L'argile est jaune pour le jointoiement des *pilae* de la pièce 3. Toutefois, A. Coutelas n'en précise pas la nature minéralogique.

D'autres usages de l'argile sont encore mentionnés par A. Coutelas : la *villa* de Champion en Belgique a une partie thermale laquelle a deux salles à hypocauste (première moitié du II^e^ siècle *p. C.*) et un échantillon des réserves du Musée Rolin à Autun en Saône-et-Loire analysé par M. Frizot. Pour la *villa* belge, la salle n° 12 possède un réseau régulier de 11 x 10 *pilae*, indifféremment rondes ou carrées, liées à l'argile. La salle n°10 est une grande baignoire chauffée (*solium*) qui repose sur huit rangées de huit *pilae*, soit rondes soit carrées, constituées de sept dalles ou disques liés à l'argile et s'appuyant sur une base formée d'une dalle carrée. M. Frizot a analysé des pilettes d'hypocauste à briques rondes : l'échantillon n°15 correspond au jointoiement de ces briques. Il est composé d'une argile, contenant environ 10 % de carbonate de calcium, mêlée à un sable quartzeux très roulé et relativement fin. C'est le seul exemple rencontré par l'auteur d'utilisation architecturale de l'argile pour l'ensemble des sites étudiés de la ville antique [44]. A. Coutelas ne mentionne pas, dans ses analyses, l'usage d'un dégraissant dans l'argile.

Malgré cela, les maçons peuvent se servir aussi de la chaux, au lieu de l'argile : on a des mortiers à base de chaux (éventuellement aussi de tuileau et de sable selon les cas) au lieu de l'argile dans la pièce 3 des thermes de l'Esplanade d'Arles, dans l'édifice supposé thermal du sanctuaire de la Forêterie, à Allonnes (Sarthe), et aux bains de la *villa* d'Escolives-Sainte-Camille (Yonne) [45].

Concernant le crin animal, on en a retrouvé dans la seconde phase de réfection (avant la fin du II^e^ siècle *p. C.*) de l'hypocauste de l'*apodyterium,* dans les thermes sud de Séviac [46]. Les rapports de fouilles consultés par J.-M. Degbomont ne signalent pas la présence de crin ou de bourre, ce qui attesterait de la rareté de l'usage de cette fibre dans le liant d'argile, lequel n'est pas répandu non plus pour les hypocaustes. Selon L. Jacobi, cité par J.-M. Degbomont, l'adjonction de poils d'animaux, dans les terres réfractaires des fours au XIX^e^ siècle, empêche les plaques de céramique de se briser à la chaleur : tel serait aussi leur rôle,

---

[44] Frizot 1975, p. 217 ; P. Van Ossel, A. Defgnée, *Champion, Hamois. Une* villa *chez les Condruses. Archéologie, environnement et économie d'une exploitation agricole antique dans la Moyenne Belgique*, Etudes et Documents Archéologie n°7, Ministère de la Région Wallone, Namur, 2001, p. 82.

[45] Coutelas 2003, pp. 383-387. Arles: mortier de tuileau fin; la Forêterie: un mortier de tuileau et de sable, contenant de rares vestiges de paille; Escolives-Sainte-Camille: liant de chaux et de sable siliceux et mortier de tuileau et de sable.

[46] Monturet, Rivière 1986, pp. 35 et 37.

dans les hypocaustes antiques. Des réfections devaient d'ailleurs intervenir tous les trente à quarante ans, par suite de l'usure normale des matériaux [47].

L'argile des briques et du torchis pouvait être de nature identique : argile réfractaire ou infusible, qui devait posséder aussi des qualités plastiques pour être malaxée avec du crin. L'utilisation de cette fibre, dans les fours réfractaires au XIX^{e} siècle, est la preuve que ce matériau résiste aux hautes températures à l'inverse d'un dégraissant végétal comme la paille. Le torchis de crin est donc un excellent matériau, peu cher, qui résiste au feu, et qui a des qualités de résistance à la chaleur et à la compression, puisque cette bauge subit la pression du plancher et du radier inférieur.

3.3.3. Le « torchis de crin » des voûtes de bain : les joints d'extrados (5, 10, 3)

En 5, 10, 3, Vitruve fait l'inventaire des voûtes de bain. Les voûtes concrètes (*concamarationes ex structura*) sont les plus avantageuses. Mais il y a d'autres systèmes, comme l'écrit architecte : « Au-dessous d'une charpente (*contignationes*), on établit une couverture de carreaux de terre cuite (*figlinum opus*). À l'aide de pitons de fer (*uncinis ferreis*), on suspend des tringles ou des barres cintrées de fer (*regulae ferreae aut arcus*) au solivage (*ad contigationem*) de manière aussi serrée que possible et celles-ci sont disposées de telle façon que des tuiles sans rebord (*tegulae sine marginibus*) puissent prendre assiette et être portées sur deux de ces tringles ou barres cintrées. On garnit les joints d'extrados de ces voûtes avec de l'argile pétrie avec du crin (*earumque camararum superiora coagmenta ex argilla cum capillo subacta liniantur*) tandis que la face d'intrados qui est en regard du pavement sera gobetée en mortier de *testa* et de chaux (*primum testa cum calce trullizetur*), puis elle sera lissée en stucage ou en enduit. Dans les *caldaria*, si des voûtes sont faites doubles (*duplices*), elles ont l'avantage que l'humidité provenant de la vapeur (*a uapore umor*) ne peut pas gâter le bois du solivage, mais circule dans l'intervalle des deux voûtes (*inter duas camaras uagabitur*). »

Les voûtes, que Vitruve présente, sont à berceau et elles constituent déjà la majorité à l'époque tardo-républicaine. On les trouve surtout dans les *caldaria* et les *tepidaria*, quelquefois dans les *frigidaria* et les *apodyteria*, tandis que les bains à plan circulaire, comme les *laconica*, reçoivent une coupole. Vitruve se réfère plus particulièrement aux *caldaria*, mais

[47] Jacobi 1897, p. 251; Monturet, Rivière 1986, p. 74, et Conclusion ; D. S. Neal *et alii*, *The excavation of the Roman villa in Gatebridge Park Hermel Hempstead (1963-1968)*, Reports of the Resaerch Committe of the Society of Antiquaries of London, 31, Londres, 1974. *Faventinus*, p. 106, n. 2.

aussi aux autres environnements de bains [48]. L'usage de la bauge de crin est attesté dans les bains : on a retrouvé des liants d'argile dans les couvertures de thermes romains [49].

La nature de l'argile du torchis de crin importe peu (fusible, infusible), pourvu qu'elle soit plastique [50]. D'ailleurs, cette bauge peut être un mélange de diverses terres. Ainsi, pour améliorer la qualité hydrofuge du liant de voûte de bain, on peut ajouter en faible quantité de la bentonite, qui est une argile smectite et qui se dilate en présence d'eau. On peut aussi mélanger d'autres substances imperméabilisantes et stabilisantes : de la chaux avec des sables pouzzolaniques, de l'urine de cheval (en place de l'eau de gâchage), du sang de bœuf, de la caséine (petit-lait), des colles animales (cornes, ossements, sabots, peaux), des huiles et graisses animales et végétales, et des tanins végétaux (chêne, châtaignier).

4. Conclusion

Avec *argilla*, Vitruve emploie le torchis de crin dans trois syntagmes verbaux:
— *pilas argilla cum capillo subacta struere* « maçonner les pilettes d'hypocauste avec de l'argile malaxée de crin » (Vitr. 5, 10, 2)
— *superiora coagmenta ex argilla cum capillo linere* « enduire les joints d'intrados avec de l'argile pétrie de bourre » (Vitr. 5, 10, 3)
— *insuper inducere argillam cum capillo subactam* « étendre par dessus une couche de torchis de crin » (Vitr. 10, 15, 1)

On retrouve les mêmes verbes dans les lexies complexes où *lutum* est usité, en 2, 1, 4 et 7, 3, 11. Dans le syntagme *pilas argilla cum capillo subacta struere*, ce verbe peut commuter avec *facere* « faire, construire ». Ce dernier verbe se trouve dans *de luto et uirgulis facere loca* « faire des refuges en torchis et branchages » (2, 1, 2) ou *pilas argilla cum capillo subacta facere.* Le torchis de crin, qui est un liant utilisé à des fins spécialisées, a le même champ notionnel que *lutum* « torchis ».

Argilla est un mot peu fréquent dans le discours vitruvien en comparaison de *creta*, *terra* et *lutum*. Ces derniers termes pourraient commuter avec *argilla*: *terra cum capillo subacta*,

---

[48] Sur les voûtes de bains du premier siècle avant notre ère : Nielsen (vol. 1) 1990, pp. 153-156 ; Yegül 1992 pp. 30-91 ; Patucci 1993, pp. 15-18, pp. 28-31, pp. 38-44.
[49] Une couche d'un centimètre d'épaisseur adhère à la face supérieure de la brique retrouvée dans le *frigidarium* de Séviac, évitant ainsi tout vide entre la brique et la solive : Monturet, Rivière 1986, p. 52 ; les briques du toit conique de l'étuve de Sainte-Marguerite étaient jointoyées avec de l'argile : G. Becq, « Le *laconicum* de Sainte-Marguerite. Enquête archéologique sur un couvrement à armature métallique du Ier siècle de notre ère », *Revue archéologique de Picardie*, numéro spécial 10, 1995, pp. 205-208 ; synthèse critique et bibliographique pour le torchis en Grèce : Ginouvès 1992, p. 181, n. 124-125. Pour A. Corso et E. Romano, ce torchis de crin est un perfectionnement du torchis ordinaire : *Vitruvio 1*, p. 769, n. 339.
[50] Houben, Guillaud 1995, pp. 104-105.

creta cum capillo subacta, lutum cum capillo subactum. *Argilla*, *creta*, *terra* et *lutum* appartiennent au même domaine sémantique. Le syntagme *argilla cum capillo subacta* « argile malaxée de crin », est une définition par inclusion, mais elle n'a pas d'entrée attestée : celle-ci pourrait être *lutum capillatum*, qui n'est pas assuré dans la littérature latine et qui serait le correspondant de la lexie complexe d'Athénée le Mécanicien (*Mech*. 18, 12-13) πηλὸς τετριχωμένος (*pêlós tetrichôménos*). Le « torchis de crin » peut être désigné simplement par *lutum* [51]. Comme *lutum* « torchis », la « bauge de crin » se fait de la même manière. Pour utiliser le *lutum* en architecture, il faut procéder à un long travail d'extraction, de séchage, de stockage, de criblage, de séparation de chacun des éléments (argile, sable, eau) pour les recombiner afin d'en faire un *lutum* « torchis » ou « pisé », qui est une boue artificielle qui durcira avec le temps. Si le *lutum* se définit alors comme un mélange de *terra* « terre », de *palea* « paille » et d'*aqua* « eau » (Caton, *Agr*. 14, 3), le « torchis de crin » est composé d'*argilla*, de *capillus* et d'*aqua*. A la différence de la bauge ordinaire, qui est d'un usage universel, le torchis de crin est un liant spécialisé notamment dans la résistance à la chaleur.

[51] Sur le travail de l'argile en Grèce : Orlandos 1966, pp. 51-66. Pour πηλὸς ἠχυρωμένος : Ginouvès Martin 1985, p. 49 ; LXX, *Gen*. 11, 3 ; *Inscr*. *Graec*. 22. 463. 42.

2. Bitumen - bituminosus

1. Étymologie de *bitumen* et de *bituminosus*

Bitūmen, (*-inis*, n.), « bitume, résine » possède des dérivés comme *bitūmineus*, *bitūminōsus*, *bitūminālis* « de bitume, bitumineux », et *bitūminō, –ās* « couvrir, enduire de bitume ». Le mot serait emprunté à l'osco-ombrien, mais l'origine gauloise paraît tout aussi valable : en effet, le Naturaliste (Plin. *Nat*. 16, 75) appelle *bitumen* la résine que les Gaulois extraient du bouleau (*betulla*). *Bitumus*, *Bituno*, *Bitunus*, *Bituna*, *Bituollus* sont des noms celtiques et *bitumen* rappelle par la forme *titumen* « armoise » [52].

2. Usage et sens de *bitumen* avant Vitruve

Bitumen apparaît pour la première fois chez Caton l'Ancien (*Agr*. 95, 1-2) et sera usité en dernier par Isidore de Séville (*Orig*. 16, 2, 1) [53]. On a deux acceptions : « bitume » (Caton, Lucrèce, Virgile, Horace, Ovide, Chiron, *L'Etna*, Pline le Naturaliste, Columelle, Sénèque, Celse, Tacite, la Vulgate, Ammien Marcellin, saint Augustin, Palladius, Végèce, Prudence) et « résine » (Pline le Naturaliste).

Bituminosus « bitumineux » est employé pour la première fois par Vitruve et utilisé pour la dernière fois par Tertullien (*Ad*. *Val*. 15, 2) pour un usage ironique [54].

3. *Bitumen* et *bituminosus* chez Vitruve

Bitumen « bitume » se retrouve huit fois dans le *De architectura* : 1, 5, 8 / 2, 6, 1 / 8, 3, 1 / 8, 3, 5 / 8, 3, 8 / 8, 3, 8 / 8, 3, 9 / 8, 6, 12.

---

[52] Ernout, Meillet 1985, *s*. *v*. bitumen, p. 71.
[53] *T*. *L*. *L*. II, col. 2021, l. 58-84, col. 2022, l. 1-47.
[54] « Aussi bien peut-on se une faire une idée de ses malheurs par la quantité et la diversité des pleurs qu'elle a versés ! Elle eut des larmes salées, elle en eut d'amères et de douces, de chaudes et de froides, et aussi de bitumineuses (*bituminosas*) et de ferrugineuses, de sulfureuses et, bien entendu, d'empoisonnées, et c'est de ces dernières que proviennent les eaux que distille Nonacris, qui ont tué Alexandre, celles que roule le Lynceste, qui enivrent, celles que répand Salmacis, qui féminisent. » Trad. J. C. Fredouille. Sur le contexte sarcastique de ce passage : *Tertullien*, volume 2, p. 282.

Bituminosus « bitumineux » s'y trouve trois fois : 8, 2, 8 / 8, 3, 4 / 8, 3, 9 [55].

— *bituminosus locus* « sous-sol bitumineux » : 8, 2, 8 ;
— *bituminosi fontes* « sources bitumineuses » : 8, 3, 4 ;
— *bituminosa terra* « terre bitumineuse » : 8, 3, 9.

3.1. Géologie de *bitumen*, et de *bituminosus*

Le bitume est le nom générique de produits naturels du type des hydrocarbures, qui se rencontrent dans la nature sous diverses formes, en particulier en imprégnation de certaines roches. L'asphalte est une forme demi-solide que prend le bitume imprégnant des roches bitumineuses : schiste, grès, et calcaire ; c'est cette variété de bitume qui était normalement employée par les architectes de l'Antiquité, dans une certaine aire géographique [56]. Pour Vitruve, le bitume est une curiosité géologique, car c'est une matière créée sous terre par l'activité volcanique. Sa remontée à la surface se manifeste par des exhalaisons toxiques ou sous l'aspect de substance liquide ou solide.

3.1.1. *Bitumen* et le volcanisme des profondeurs de la terre (2, 6, 1 ; 8, 6, 12)

Pour les savants de l'Antiquité, le sous-sol et le centre de la Terre font l'objet de bien des mystères et donc de dangers potentiels. Vitruve (8, 6, 12) se sert de traditions scientifiques grecques pour exposer ce que contient la terre quand on la creuse et il avertit des périls des mines. Parmi les traditions dont il peut avoir eu connaissance, il y a une théorie que le Stagirite développe sur l'origine des séismes. Aristote (*Meteor*. 2, 7-8) écrit que la terre, remplie de cavités et de porosités, est sèche et qu'elle devient humide, à cause des pluies. Sous l'influence de la chaleur solaire et terrestre, un souffle (*pneuma*) se crée à l'intérieur de la terre et à l'extérieur. Cette vapeur s'en échappe ou au contraire s'y engouffre : ce sont ces mouvements « pneumatiques », qui sont la cause des tremblements de terre, et ils ont une fréquence dépendant des saisons et des éclipses de Lune. Lucrèce (6, 535-607) complète les concepts aristotéliciens en énumérant quatre facteurs de séismes :
— le mouvement de masses importantes de rochers ou de terre à l'intérieur de cavernes souterraines,
— des masses de terre tombent dans les lacs souterrains et causent ainsi l'agitation et l'oscillation des eaux,
— des vents souterrains dérangent l'équilibre de la Terre,

[55] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* Bitumen, Bituminosus, p. 32.
[56] Ginouvès, Martin 1985, p. 46 ; Forbes 1964, pp. 1-124.

— ces vents provoquent le déplacement d'éléments terrestres [57].

▪ *Comment se manifestent le soufre, l'alun, le bitume sous terre* (8, 6, 12)

Les séismes, les volcans et les manifestations mystérieuses qui se déroulent au plus profond de la Terre sont des phénomènes liés. Il n'est pas étonnant que Vitruve (8, 6, 12) avertisse son lecteur des dangers du forage des puits pour apporter les eaux [58] : « La Terre contient », écrit-il, « des substances diverses, mais elle est, comme toutes les autres matières, composée des quatre éléments (*Est enim uti reliquae res ex quattuor principiis composita*). La Terre [sol et sous-sol] contient l'élément éponyme, et en outre, elle a, de l'élément liquide, les eaux de source. On y trouve aussi des éléments chauds, c'est-à-dire des éléments ignés, qui produisent aussi le soufre, l'alun, le bitume (*item calores*, *unde etiam sulphur*, *alumen*, *bitumen nascitur*), et la terre contient de terribles courants d'air qui, après avoir traversé en lourdes émanations (*spiritus inmanes*) les cavités formant conduits dans la terre, et après être parvenus aux excavations des puits, atteignent aussi les hommes qui creusent là, car la puissance naturelle de leur vapeur ferme, dans le nez de ces hommes, le passage des souffles vitaux ; les mineurs qui ne s'échappent pas assez rapidement de ces lieux y périssent. » [59]

A la lecture de ce passage, qui est repris par Palladius (9, 9) et par Cetius Faventinus (4, 1), il semble que les émanations toxiques pour les mineurs (*spiritus inmanes*), issues des profondeurs de la terre, rappellent les mouvements « pneumatiques » d'Aristote. La nature de ces exhalaisons n'est pas clairement établie dans le discours vitruvien, même si celles-ci sont composées des quatre éléments, avec une prédominance des constituants de l'« air ». Une présentation plus explicite de l'origine de ces effluences nocives est donnée par Pline (*Nat*. 31, 49) lequel distingue deux causes essentielles : d'abord les vapeurs délétères (émanations sulfureuses, nitreuses) et ensuite la profondeur du puits même rendant l'air plus pesant [60]. Plus simplement, on peut constater que les textes de Vitruve et de Pline se font l'écho de la toxicité des vapeurs de bitume qui est un fait connu depuis l'Antiquité : Diodore de Sicile (2, 12, 2) décrit, dans la région de Babylone, un puits de pétrole, émettant un effluve mortel de soufre pour toutes les créatures qui s'en approchent.

De plus, on retrouve trace dans ce texte vitruvien des conceptions pythagoriciennes des quatre éléments et des influences démocritiennes sur les atomes [61], que notre auteur

---

[57] Forbes 1963, pp. 37-47 pour les tremblements de terre et pp. 47-60 pour les volcans et les éruptions.
[58] Sur les puits dans l'Antiquité, cf. bibliographie *Vitruve VIII*, p. 184, n. 1 ; A. Jardé, *s. v.* puteus, in Daremberg, Saglio, 1918, p. 780-781 ; Forbes 1964, pp. 150-152 ; Domergue 1990 ; Hodge 1992 ; Domergue 2004.
[59] Trad. L. Callebat.
[60] Les problèmes d'aération et de ventilation des mines se posèrent fréquemment aux Romains: Montauzan 1909, p. 294; Forbes 1963, pp. 210-211.
[61] Sur la physique vitruvienne : Vitr. 2, 2, 1-2; *Vitruve II*, pp. 78-81 ; Vitr. 8, pr. 1; *Vitruve VIII*, p. 42 ; Novara 1982, p. 587 et suivantes ; Romano 1987, p. 125 et suivantes.

mélange et adapte pour sa représentation du monde souterrain. C'est ainsi qu'il se sert de la théorie des quatre éléments pour décomposer la structure « micro-élémentaire » de la croûte terrestre : la Terre, en tant qu'ensemble géologique possède de la « terre », de l'« eau » (sources), du « feu » (bitume, soufre, alun) et de l'« air » (exhalaisons dangereuses). Il semble alors que ces émanations toxiques (*spiritus inmanes*) soient un mélange des constituants ignés et aériens, dont les proportions resteraient à déterminer. Vitruve indique, sans plus de précisions, que la terre contient des chaleurs d'où naissent aussi le soufre, l'alun, le bitume. Pour pallier l'imprécision du texte vitruvien, il faut se tourner vers d'autres auteurs antiques pour l'origine du bitume. Certains écrivains postulent que cette substance est de la terre transformée sous l'influence du feu [62].

Ainsi, Philostrate (*Vita Apollinii* 5, 17) décrit cette formation dans le feu volcanique : « La terre, fournissant un mélange d'asphalte et de poix (ἀσφάλτου καὶ θείου), commence à fumer de sa propre nature, mais ne produit pas de feu à l'extérieur ; si la terre est poreuse et remplie de cavités et si un souffle circule sous cette terre, celui-ci s'élève comme une torche. » [63] Strabon indique lui aussi l'origine souterraine du bitume : en 16, 2, 42, le bitume de la Mer Morte est d'abord une motte de terre que le feu a liquéfiée, puis ce bitume liquide est expulsé à la surface de la mer, où à cause de l'eau froide, il se solidifie, ce qui permet aux habitants de l'exploiter [64]. Pline (*Nat*. 35, 177-178) reprend l'idée que le soufre contient du feu très actif, de nature proche du bitume (*quo apparet ignium uim magnam ei inesse*).

Pour les Anciens, le bitume est issu d'une transformation de la terre en un autre corps par l'action du feu souterrain. Vitruve souligne qu'il naît, en même temps que le soufre et l'alun, substances parentes, sous terre des éléments chauds ou ignés (*calores*) sans préciser sous quelle forme s'effectue cette production souterraine.

▪ *Bitume, volcanisme souterrain et sources thermales (2, 6, 1 ; 8, 3, 1)*

Dans le sixième chapitre du livre II, notre architecte constate qu'à son époque les phénomènes volcaniques, ne sont pas observables en Italie, du moins ceux qui sont clairement visibles (éruptions de surface). Le volcanisme de la région du Vésuve (2, 6, 1), se réduit à des manifestations secondaires, comme la présence de pouzzolane et de tuf volcanique et de sources hydrothermales. Cela peut sembler étrange que, pour Vitruve, le Vésuve soit un volcan éteint, mais notre auteur vit à la période tardo-républicaine et au début du règne d'Auguste, soit un siècle avant l'éruption pyroclastique d'août 79, qui ensevelit Pompéi et Herculanum.

---

[62] Forbes 1964, p. 54.
[63] Trad. F. C. Conybeare.
[64] Trad. H. L. Jones. Ce passage d'un état pâteux à l'état solide est attesté par l'observation : Larousse 1867, pp. 778-779.

Pourtant, Vitruve mentionne l'Etna qui possède un volcanisme « actif » en Sicile et on pouvait faire le lien entre une éruption et l'existence de sources thermales. Ainsi Sénèque (*Nat*. 3, 24, 1) rapporte les idées en la matière du philosophe grec Empédocle d'Agrigente (493-434 av. J.-C.) – lequel avait escaladé les versants du volcan sicilien pour l'étudier – : « il existe en plusieurs endroits des feux souterrains et que s'il s'en trouve au-dessous d'un lieu où l'eau passe, elle est échauffée (*Empedocles existimat ignibus quos multis locis terra opertos tegit aquam calescere, si subiecti sunt ei solo per quod aquis transcursus est*). » [65] S'inspirant entre autres d'Empédocle, Vitruve (2, 6, 1) explique « la présence des terres et de nombreuses sources à haute température (*terrae feruentes sunt et fontes crebri*) que l'on ne trouverait pas s'il n'y avait pas, en profondeur, des feux puissants de soufre, d'alun ou de bitume incandescents (*si non in imo haberent aut e sulphure aut alumine aut bitumine ardentes maximos ignes*). » Il continue : « ce feu, souterrain (*penitus ignis*) et la vapeur des flammes qui se répand, brûlante, à travers les veines de cette terre la rendent légère, et le tuf qui se forme là est dépourvu d'humidité quand il apparaît ». [66]

En 8, 3, 1, Vitruve reprend ce thème du feu souterrain et il explique comment les sources thermales sont chauffées par les flammes des profondeurs. De même que le poète de *L'Etna* écrit que le bitume, le soufre et l'alun sont des combustibles pour le feu volcanique, (390, 434, 513) [67], de même, Vitruve décrit un principe similaire pour les eaux chaudes : « […] lorsque dans le sous-sol, au contact de l'alun, du bitume ou du soufre (*in imo per alumen aut bitumen seu sulphur*), le feu est allumé (*ignis excitatur*), il porte à haute température la terre qui est au-dessus de lui ; et il dégage ainsi vers le haut une vapeur brûlante, de sorte que si dans cette zone supérieure naissent des sources d'eau douce, celles-ci, atteintes par la vapeur, se mettent à bouillonner dans leurs veines et, de cette manière, se répandent sans que soit altérée leur saveur » [68].

On retrouve encore chez Sénèque (*Nat*. 3, 24, 2-3) les conceptions d'Empédocle: « Nous faisons communément des serpentins, des chauffe-bains, des engins de forme variée dans lesquels des tuyaux de cuivre à minces parois sont disposés en spirales descendantes ; l'eau y circule plusieurs fois autour du même feu et coule sur un espace dont la longueur est suffisante pour la porter à une haute température : entrée froide, elle sort chaude. Empédocle pense que le même fait se produit sous terre, et les habitants de Baïa, dont les bains se chauffent sans feu, peuvent attester qu'il ne se trompe pas. Un courant d'air y arrive, que son

---

[65] Trad. P. Oltramare. *Sénèque III*, p. 140, n. 2 : il se peut qu'Empédocle, vivement intéressé par les éruptions de l'Etna, ait expliqué les phénomènes volcaniques par l'existence des feux souterrains.
[66] Trad. L. Callebat.
[67] Sur les hypothèses de l'auteur et de la date de composition: *L'Etna*, *Introduction*, pp. VII-XXXIV. Il y a quelques éditions et études sur l'Etna: *Aetna*, édit. W. von Richter, De Gruyter, Berlin 1963; *Incerti auctoris Aetna*, édit. F. R. D. Goodyear, Cambridge University Press, Cambridge, 1965; Domenico Lassandro, Aldo Luisi, *Aetnae poematis lexicon*, Genova Università, Pubblicazione del D.AR.FI.CL.ET. N.S., Genova, 1989.
[68] Trad. L. Callebat.

passage dans une étuve naturelle a rendu brûlant ; il circule dans des conduits et chauffe les parois et les appareils de bain comme ferait un hypocauste. L'eau qu'il traverse ainsi, de froide, devient chaude, elle-même. Comme elle coule enfermée, sa saveur naturelle n'est pas altérée par l'air surchauffé. » [69] Sénèque ne mentionne pas la nature du combustible qui alimente le feu souterrain, comme le bitume, le soufre, et l'alun. Mais la comparaison entre le texte vitruvien et celui de Sénèque est instructive : dans les deux cas, l'eau n'est pas en contact avec la flamme et elle est chauffée par une matière intermédiaire. En ce sens, l'image des chauffe-bains permet d'expliquer la théorie volcanique d'Empédocle et de Vitruve.

3.1.2. *Bituminosus* et les eaux souterraines (8, 2, 8 ; 8, 3, 4)

Le *bitumen* « bitume », avec l'*alumen* « alun » et le *sulphur* « soufre », constitue l'un des combustibles du volcanisme souterrain. Mais au contact plus ou moins direct avec l'eau, celle-ci voit son goût altéré ou ses propriétés changées si elle est consommée par l'homme.

▪ *Le sous-sol bitumineux (*bituminosum locum*)* au contact de l'eau *(8, 2, 8)*

En 8, 2, 8, après avoir exposé la géographie des fleuves et des rivières, Vitruve conclut la notice de la recherche des eaux sur ces mots : « Puisqu'il apparaît dans les représentations du globe terrestre que tous les fleuves d'importance majeure jaillissent du Septentrion et que les terres africaines, qui sont, dans les parties méridionales, placées sous la trajectoire du soleil, ont des eaux profondément enfouies (*latentes penitus habeant umores*), peu de sources et de rares fleuves, il s'ensuit que les meilleures émergences de sources (*meliora capita fontium*) sont de loin celles que l'on trouve orientées vers le Septentrion ou l'Aquilon, à moins qu'elles n'aient rencontré un gisement de soufre, d'alun ou de bitume (*nisi si inciderint in sulphurosum locum aut aluminosum seu bituminosum*). Dans ce cas-là, en effet, elles se dénaturent et, qu'il s'agisse d'eaux chaudes ou froides, elles se répandent en sources d'odeur et de goût désagréables. » [70]

L'adjectif *bituminosus* est usité pour la première fois par Vitruve. Le suffixe adjectival *–osus* a pour sens « riche en, pourvu de » [71]. Ici *-ōsus* permet d'acquérir à cet adjectif *bituminosus* une connotation savante par rapport à l'adjectif plus ancien *bitūmineus.* L'adjectif grec équivalent de *bituminosus* est ἀσφαλτώδης (*asphaltôdès*) [72], qui est employé aussi dans des contextes géologiques (Aristot., *Sens*. 444 b ; Strabo, *Geogr*. 7, 5, 8 ; 11, 11, 5 ; 16, 2, 44). Si *bituminosus* est inspiré du grec, il est alors logique que la majorité des occurrences de cet

[69] Trad. P. Oltramare. Cf. Oder 1899, p. 313 sq.
[70] Trad. L. Callebat. Sur le contexte de ce passage, *Vitruve VIII*, n. 2 et 3, pp. 86-88.
[71] Leumann 1963, p. 231.
[72] Ernout 1949, pp. 5-9, p. 56.

adjectif se trouvent dans des énoncés géologiques. Puisant dans les connaissances grecques, Vitruve avait déjà fait en 8, 6, 12 une référence très allusive à la théorie des eaux profondes, formées à l'intérieur même de la terre dont parle Aristote (*Meteor*. 2, 2, 355 b) [73]. Il établit la transition avec le long développement consacré aux *mirabilia aquarum* « merveilles des eaux », en posant un premier énoncé du principe qui servira de base scientifique à ce développement : la qualité des eaux est fonction de la nature des terrains traversés. Ainsi Aristote (*Meteor*. 2, 2, 356 a) écrit : « Quant à la saveur et à la couleur de l'eau, elles dépendraient de la nature de la terre à travers laquelle l'eau s'écoule. » Ce principe est la conséquence logique d'un premier : la terre, suivant la chaleur plus ou moins forte à laquelle elle est soumise, prend toutes les formes et toutes les variétés de saveurs. Elle est ainsi imprégnée des qualités de l'alun, de la chaux et des autres substances du même genre, à travers lesquelles les eaux douces sont filtrées et changent de nature : les unes deviennent acides, comme dans la Sicanie en Sicile (*Meteor*. 2, 3, 359 b).

Le théoricien reprend donc ces notions grecques qui veulent que les terrains bitumineux qui sont en contact avec les eaux les dénaturent et les rendent nocives. Sénèque (*Nat*. 3, 20, 1-2) résume ces notions, mais en y incluant le fait que ces eaux peuvent avoir une utilisation médicale : « De là, les saveurs diverses de ces eaux, leurs vertus médicinales, leurs exhalaisons désagréables, leur odeur infecte (*Hae causae saporem dant aquis uarium*, *hae medicatam potentiam*, *hae grauem spiritum odoremque pestiferum grauitatemque*). » [74] Tel est le paradoxe des terrains bitumineux : les hydrocarbures peuvent certes être nocifs, comme l'écrit Diodore de Sicile (2, 12, 2), mais comme tous les poisons fournissant des remèdes, le *locus bituminosus* peut soigner.

- ***Eaux chaudes médicinales : les sources bitumineuses* (bituminosi fontes*) (8, 3, 4)***

Effectivement, les eaux chaudes peuvent traiter des affections. Comme l'écrit Vitruve (8, 3, 4) : « elles ont sur les tares physiques une vertu médicinale (*in prauis rebus est medicamentosa*) parce qu'elles reçoivent de leur vive cuisson une nouvelle propriété exploitable (*quod in prauis rebus percocta aliam uirtutem recipit ad usum*). » Il poursuit : « Les sources sulfureuses (*sulphurosi fontes*) soulagent les maladies nerveuses par leur échauffement qui consume de sa chaleur et expulse du corps les humeurs vicieuses (*caloribus e corporibus umores uitiosos*). Lorsque les membres ont perdu leur motricité sous l'effet de la

[73] « Ce qui est écrit dans le *Phédon* au sujet des fleuves et de la mer est impossible à admettre. Il y est dit que, en effet, que tous les cours d'eau sont en communication les uns avec les autres par-dessous la terre et que le principe et la source des eaux est ce qu'on appelle le Tartare, une masse d'eau située au centre de la Terre, d'où proviendraient toutes les eaux, courantes ou non. C'est de là que partirait le flot de chaque fleuve, parce que cette masse première et primordiale est en perpétuelle agitation : car elle n'est pas d'appui stable, mais tourne sans cesse autour du centre. » Trad. P. Louis.

paralysie ou de quelque autre atteinte morbide, les sources alumineuses (*Aluminosi*), s'il en est fait usage, les guérissent par l'action neutralisante de leur chaleur qui, traversant le conduit des veines, ranime ces membres glacés ; en sorte que ceux-ci retrouvent bientôt leur fonction primitive. Quant aux sources bitumineuses (*Bituminosi*), elles offrent une boisson purgative qui porte remède aux maladies internes. » [75]

Ces sources sont médicinales, car elles sont chaudes et contiennent des substances (*bitumen*, *alumen*, *sulphur*). Le texte vitruvien n'est pas clair sur la façon dont ces eaux prennent leurs propriétés [76]. Elles semblent traverser des terrains riches de ces substances, et en 8, 3, 7, l'exemple des eaux salines est instructif sur la façon dont l'eau d'une source, en passant à travers un sol abondant en un certain minéral, l'acquiert. De même, concernant la manière dont ces sources deviennent chaudes, on peut envisager deux hypothèses qui sont évoquées par Sénèque. On a vu que celui-ci (*Nat*. 3, 24, 2-3) utilise l'image du chauffe-bain pour montrer que les feux souterrains de bitume, de soufre et d'alun peuvent chauffer un sol ou sous-sol, tous deux contenant de l'eau qui devient, par contact indirect, chaude. Or il existe une autre possibilité qu'il mentionne (*Nat*. 3, 24, 4) : « […] quelques auteurs pensent que l'eau, en coulant à travers des localités saturées de soufre ou de nitre (*per loca sulphure plena uel nitro*), tire sa chaleur des propriétés mêmes de la matière au milieu de laquelle elle passe. C'est ce dont témoignent son odeur et son goût, car elle prend les qualités du milieu où elle s'est échauffée. Si on s'étonne qu'il en soit ainsi, on peut en faire l'expérience en versant de l'eau sur la chaux vive, qui bouillonnera. » [77] Même si Sénèque ne mentionne pas le bitume, les trois substances (bitume, soufre, alun) sont associées dans le discours vitruvien dans un contexte où le volcanisme est présent.

Quant aux eaux bitumineuses, dont Vitruve écrit qu'elles sont purgatives, leurs vertus médicinales ont donné lieu dans l'Antiquité à des appréciations contradictoires [78]. Toutefois, certains textes grecs ne les recommandent pas. Ainsi, Philostrate (*Vit*. *Apoll*. 1, 24) constate que le sol de l'Erétrie, en Médie, est détrempé de bitume, qu'il est difficile à cultiver et que les habitants ont une vie brève, car la poix recelée dans l'eau forme des dépôts dans leurs entrailles. De même, Hippocrate (*De aere* 7, 9) remarque que les eaux chaudes ou contenant des minerais qui renferment eux-mêmes des éléments (du fer, du cuivre, de l'argent, de l'or, du soufre, de l'alun, du bitume, du natron) sont mauvaises pour la digestion [79].

---

[74] Trad. P Oltramare.
[75] Trad. L. Callebat.
[76] Sur les propriétés médicinales des eaux sulfureuses et alumineuses: *Vitruve VIII*, n. 3-4, p. 91; Duhot 1956, p. 51 et suivantes.
[77] Trad. P. Oltramare.
[78] Pline (*Nat*. 31, 59) souligne aussi leur effet purgatif. Les *Géoponiques* (17, 16, 1) les conseillent contre la diarrhée et Aetius (*Tetrab.* I, 2, 49) contre l'hydropisie. *Vitruve VIII*, n. 4 p. 91.

3.2. Extraction et usage du bitume

Alors qu'auparavant le bitume était dilué dans l'eau et sous terre, il émerge enfin sous une forme tangible et récoltable. Utilisé en construction, il constitue pour Vitruve un liant exotique qui remplace la chaux si courante en Méditerranée.

3.2.1. Le bitume exploitable contenu dans les eaux : *bitumen liquidum* et *bituminosa terra* (8, 3, 8-9)

Vitruve recense les endroits connus dans l'Antiquité où le bitume sort des profondeurs de la terre pour aboutir à la surface et être enfin exploitable. C'est en 8, 3, 8 et 9 qu'il énumère les lieux de gisements : à Soles, ville de Cilicie, en Asie Mineure, un lac d'Éthiopie, en Inde, à Carthage, à Zacynthe et autour de Dyrrhachium et d'Apollonie, villes de la côte d'Illyrie, à Iopé en Syrie [80]. Parmi les gisements les plus connus, il y a l'Arabie « des Nomades », c'est-à-dire l'est de la Mer Morte [81], « où se trouvent des lacs d'une extraordinaire grandeur qui rejettent d'énormes masses de bitume (*bituminis maximas moles*) dont s'emparent les riverains ». Enfin, « il y a à Babylone un lac d'une remarquable grandeur, que l'on appelle λίμνη ἀσφαλτῖτις (Lac Bitumineux), il a du bitume liquide (*bitumen liquidum*) qui nage à sa surface; c'est avec ce bitume et des briques de terre cuite (*bitumine et latere testaceo*) que Sémiramis édifia le mur d'enceinte de Babylone. » [82]

En 8, 3, 9, Vitruve explique comment se forme naturellement l'asphalte dans ces eaux : « On trouve dans ces endroits des mines de bitume solide (*ibi lapidicinae bituminis duri*). Lorsqu'une masse d'eau jaillit au travers de cette terre bitumineuse (*per bituminosam terram*), elle l'entraîne avec elle, puis, lorsqu'elle est sortie hors de la terre, elle se décante et ainsi se débarrasse du bitume (*et ita reicit ab se bitumen*). » C'est dans ce passage que notre auteur décrit l'extraction du bitume sous forme de blocs. On y trouve l'expression désignative à deux termes *bitumen durum* « bitume dur » dénotant soit les concrétions d'asphalte qui surnagent sur l'eau, soit ces blocs qu'on a façonnés à partir d'un liquide. *Bituminosa terra* est le sol et le sous-sol, de composition indéterminée, où le bitume est présent. Les états liquide et solide permettent l'exploitation aisée du mélange d'hydrocarbures. Les amas sortent de l'eau et sont collectés par l'homme : c'est la seule extraction que mentionne notre architecte. Cette forme de récolte est commune à la mer Morte et à la région de Babylone.

---

[79] Trad. J. Jouanna.
[80] Trad. L. Callebat. *Vitruve VIII*, p. 96-100, n. 1-9.
[81] Les gisements bitumineux se trouvent près d'Hammath, de Tibériade et plus particulièrement à l'est de la mer Morte, lesquels fournissent des calcaires bitumineux possédant jusqu'à 25 % d'hydrocarbures : Forbes 1964, pp. 27-30 ; *Vitruve VIII*, pp. 99-100, n. 9.
[82] *Vitruve VIII*, p. 99, n. 7. La locution λίμνη ἀσφαλτῖτις n'est pas sûre, car le « lac bitumineux » désigne la Mer Morte: cf. Plin. *Nat*. 7, 65.

Le bitume de Mésopotamie provient des suintements, des dépôts de surface, localisés aux environs de la rive sud de L'Euphrate, plus précisément là où, à huit journées de marche de Babylone, coule la rivière Hit (grec Is), éponyme de la bourgade voisine, comme le relate Hérodote (1, 179). Celui-ci écrit que les sources laissent surgir, en même temps que l'eau, des grumeaux d'asphalte que l'on a utilisés pour les murs de Babylone. Spielmann explique, dans un article de 1931, que la matière était ainsi extraite près de Hit. Effectivement, conformément à ce que rapporte Hérodote, l'eau jaillissait du sol ; de ce même sol sortait aussi une telle quantité de gaz qu'il pouvait s'enflammer au contact d'une flamme. Dans l'eau, on trouvait des « serpents » d'asphalte, lesquels étaient collectés par les habitants. Ils étaient ensuite pressés dans la main pour en faire des blocs ou des mottes, qui s'affaissaient sous leur propre poids. R. J. Forbes souligne que l'on roule les mottes dans le sable du désert pour éviter qu'elles ne collent au panier lors du transport. Cet auteur a pu analyser des concrétions de bitume venant des fouilles archéologiques d'Ur : un premier agglomérat se compose de 41,5 % en poids de bitume, dont 9,2 % de soufre, tandis que les 58,5 % restant ont 90 % en volume de matière végétale (joncs) et 10 % de matière minérale (50 % de feldspath, 40 % de calcite, 10 % de biotite) très fine (2/3 < 0,074 mm), peut-être de la poussière apportée par le vent. Un second bloc, identifié comme provenant de Hit, possède 70 % de bitume (dont 6,8 % de soufre) et 30 % de poussière fine du désert et de jonc [83].

3.2.2. Usage du bitume (1, 5, 8)

Dans ce passage célèbre, Vitruve, en tant qu'architecte, ne peut passer sous silence cet usage exotique du bitume comme liant dans la maçonnerie à la place de la chaux si romaine. Il se fait, à son tour, l'écho des auteurs anciens qui ont été fascinés par cet emploi [84]. Notre auteur donne le conseil d'utiliser au maximum les matériaux locaux si l'on doit bâtir : « Si, à Babylone, disposant en abondance de bitume liquide (*liquido bitumine*), ils ont un mur fait de briques cuites liées avec ce produit en guise de chaux et de sable (*pro calce et harena ex cocto latere factum habent murum*), ce n'est pas que toutes les régions, ou les ressources propres de l'endroit, puissent procurer des facilités de ce genre aussi précieuses, de sorte qu'en puisant dans ces approvisionnements tout prêts on puisse avoir un rempart sans défaut construit pour l'éternité. » [85]

De fait, le bitume collecté à Hit a pu servir pour les murs de Babylone. L'abondance de cette richesse pour la reconstruction de Babylone a permis à Nabopalazzar et Nabuchodonosor d'avoir du mortier pour toutes sortes d'usage. L'application la plus

[83] Hackford, Lawson, Spielmann, « On an asphalt ring from Ur of the Chaldees », *J. Inst. Petr. Techn.*, december 1931, p. 738. Forbes 1964, p. 3 et pp. 35-39.
[84] Diod. Sic. 2, 12; Dion Cassius 68, 27 ; Diosc. 1, 83 ; Herodot. 1, 179; Strabo 16, 1, 15.
[85] Trad. P. Fleury.

importante était la fabrication de liant (mortier et mastic). Sur le chantier, voici comment on procède : on chauffe le bitume entre 120 °C et 160 °C pour le liquéfier, puis, comme pour le gâchage de la chaux et du plâtre, on y ajoute des dégraissants, qui peuvent être soit végétaux (roseaux et pailles en petits morceaux), soit minéraux ; en général, les dégraissants peuvent atteindre plus de 50 % des proportions. R. J. Forbes donne le résultat des analyses de liant de bitume qu'il a effectuées : 12 % à 18 % de bitume, 37,5 % à 50 % d'éléments grossiers et 45 à 60 % de matières fines [86]. On s'est posé la question de savoir si on ajoutait de la chaux au bitume, car on y a trouvé de la calcite, mais sous cette forme, cela pouvait s'interpréter comme du sable calcaire ou de la chaux éteinte. Toutefois, la chaux est attestée dans la préparation des mortiers et des mastics de bitume dans l'Iraq du XX^{e} siècle [87].

Le mastic imprègne les briques poreuses, car celles-ci sont cuites entre 550 °C et 600 °C. Pour l'époque de Nabopalazzar et Nabuchodonosor, chaque couche de briques, après avoir été jointoyée de mastic, est d'abord couverte d'un fin revêtement de ce même apprêt. On y ajoute une fine couche de terre portant l'assise de brique suivante. Tous les cinquièmes joints sont couverts ou garnis de nattes de chaume battues et ourdies, comme renforcement. Or, le problème des joints a peut-être été la raison de l'abandon des fibres pour l'emploi de la chaux dans le bitume. On note le déclin du mortier au bitume à la fin du règne de Nabuchodonosor, qui le délaisse pour la chaux, plus stable et plus ou moins dosée. Puis, les Perses et les Séleucides abandonnent cette pratique au profit du liant de terre.

4. Conclusion

Vitruve reprend pour *bitumen* des notions sur l'origine et l'usage de cette substance en puisant dans le fonds des naturalistes et des géographes grecs. Toutefois, en 8, 6, 12, il n'explique pas sa formation au sein de la terre en se contentant d'écrire que celle-ci possède des éléments chauds (*calores*) qui produisent aussi du soufre, de l'alun, du bitume. En 2, 6, 1 et 8, 3, 1, Vitruve pose enfin l'existence des feux puissants de soufre, d'alun ou de bitume incandescents qu'on peut identifier avec les feux volcaniques qui chauffent les sources d'eau. Le volcanisme vitruvien est donc indirect, à l'inverse du poème didactique *L'Etna*. En 8, 3, 5, le bitume est dilué dans l'eau de source. En 8, 3, 8 et 8, 3, 9, il apparaît enfin à la surface sous une forme tangible et donc exploitable, soit liquide (*bitumen liquidum*), soit solide (*bitumen durum*). Pour Vitruve (1, 5, 8), l'usage du bitume comme liant à la place de la chaux romaine est la preuve, certes exotique, que la terre fournit les matériaux, même les plus surprenants pour bâtir. Il fait de *bitumen* un descripteur géologique et un terme à la fois savant et courant.

[86] Forbes 1964, pp. 56-83 pp. 63-66.

L'adjectif *bituminosus* est usité pour la première fois par Vitruve. Le suffixe adjectival *-ōsus* permet d'acquérir à cet adjectif une connotation savante par rapport à l'adjectif plus ancien *bitūmineus* dans des contextes géologiques. *Bituminosus* est utilisé deux fois dans des lexies complexes géologiques plus ou moins synonymes : *locus bituminosus* « lieu bitumineux, gisement de bitume » (8, 2, 8), *terra bituminosa* « terre imprégnée de bitume » (8, 3, 9). Concernant *fontes bituminosi* « sources bitumineuses », celle-ci apparaît dans un contexte à la fois géologique et médical. Il est curieux que *bituminosus* ne soit pas usité avec *ignis* « feu » dans un contexte volcanique, comme *bitumen*, car on aurait alors *ignis bituminosus* « feu (volcanique) de bitume ».

[87] Forbes 1964, pp. 58-59.

3. Caementum - caementicius

1. Étymologie de *caementum* et de *caementicius*

Caementum (*-i*, n.) « caillou, cailloutis, moellon », est un dérivé du verbe *caedō* (*-is*, *cecīdī*, *caesum*, *caedere*) « tailler (les arbres) », « abattre en coupant » et les premiers emplois attestés apparaissent chez Ennius et Caton. *Caedere* a donné de nombreux dérivés et composés. *Caementum* serait composé d'un thème * *kaid-* et d'un élargissement *-mentom*. On trouve des dérivés formés sur la base nominale *caement-* : *caementārĭa* (*-ae*, f.) « taille des pierres », *caementārĭus* (*-ĭi*, m.) « maçon », un adjectif tardif *caementātus*, *-a*, *-um* « assemblé avec du mortier » et enfin *caementĭcĭus* « composé de moellons, en moellons », formé avec le suffixe *-icius*, affixe d'animé non nombrable ou de matière qui est une forme complexe de l'affixe *–ko–* [88].

2. Usage et sens de *caementum* et de *caementicius* avant Vitruve

Concernant *caementicius* « composé de moellons », on peut considérer la référence vitruvienne comme la plus certaine et donc la plus ancienne. La plus récente occurrence est dans le *Pandecte* de Justinien (Iavol. *Dig*. 19, 2, 57 ; Vlp. *Dig*. 43, 21, 3, 1) [89]. Pour *caementum*, la mention la plus ancienne se trouve chez Ennius (*Scen*. 383) et la plus récente chez Isidore de Séville (15, 8, 1). *Caementum* a deux acceptions : « moellon, pierre de construction » (Ennius, Caton, Varron, Cicéron, Tite-Live, Horace, Columelle, Pline l'Ancien, Tacite, Tertullien, saint Jérôme, Pandecte de Justinien, Vulgate, Végèce, Isidore de Séville) et « mortier, liant » (Vulgate, Sidoine Apollinaire). Pour les inscriptions, on en trouve deux d'époque républicaine portant la mention de *caementum* : la première est une épigraphe de Carthago Nova (de la fin du II^{e} ou du début du I^{er} siècle *a. C.*), tandis que la seconde est le notoire « devis de Pouzzoles » (106, 105 *a. C.*) [90]. *Caementum* est usité exclusivement dans des contextes architecturaux. Plus précisément, *caementum* est un terme générique latin

[88] Cf. Fruyt 1986, pp. 17, 133, 142, 150; Ernout, Meillet 1985, *s. v.* caedo, pp. 82-83 ; Monteil 1986, pp. 155-156.
[89] *T. L. L.* , III, col. 95, l. 40-56. Nous ne mentionnons pas les inscriptions, dont la date n'est pas établie : Lugli 1957, p. 363 ; Adam 1995, p. 83.
[90] *T. L. L.* , III, col. 95, l. 57-84, col. 96, l. 1-75. *C. I. L.* , II 5927 ; X, 1781.

désignant des matériaux minéraux meubles ou solides soit sous leur forme originelle, soit par taille des roches solides.

3. *Caementum* et *caementicius* chez Vitruve

Caementum « caillou, moellon » est usité vingt fois : 1, 2, 8 / 1, 5, 8 / 2, 4, 3 / 2, 5, 3 / 2, 6, 1 / 2, 7, 1 / 2, 8, 1 / 2, 8, 2 (bis) / 2, 8, 3 / 2, 8, 5 / 2, 8, 6 / 2, 8, 7 / 2, 8, 8 / 4, 4, 4 / 5, 5, 7 / 5, 12, 3 / 5, 12, 4 / 7, 6, 1 / 8, 6, 14. Accompagné d'un adjectif, *caementum* forme des unités lexicales complexes :

— *incerta caementa* « moellons de l'*opus incertum*, *opus incertum* » 2, 8, 1 ;
— *reticulata* (*caementa*) « moellons de l'*opus reticulatum*, *opus reticulatum* » 2, 8, 1 ;
— *molle caementum* « moellon tendre, maçonnerie plastique » 2, 8, 5 ; 2, 8, 8 ;
— *fracta caementa* « fragments pierreux, cailloux cassés » 2, 8, 7 ;
— *minutissima* (*caementa*) « moellons aussi menus que possible » 2, 8, 2 ; 4, 4, 4 ;
— *caementa marmorea* « éclats de marbre » 7, 6, 1 ;
— *caementum ne grauius quam librarium* « éclat qui ne pèse pas plus d'une livre » 8, 6, 14 ;

Caementicius « de moellon » se trouve cinq fois : 2, 4, 1 ; 2, 7, 5 ; 2, 8, 16 ; 2, 8, 17 ; 6, 8, 9 [91].

— *structurae caementiciae* « structures de maçonnerie concrète, maçonneries concrètes » (2, 4, 1 ; 2, 7, 5) ;
— *parietes caementicii* « murs de moellons » (2, 8, 17) ;
— *caementicium* (*saxum*) « moellon » (2, 8, 16) ;
— *caementicium* (*genus*/*opus*) « noyau de béton, *opus caementicium* » (6, 8, 9).

3.1. *Caementum* et la géologie

Si le rôle du moellon dans une maçonnerie se limite à être un agrégat et une charge, comme le sable avec la chaux, sa composition varie d'un type de roche à l'autre, comme la pierre de taille (*saxum quadratum*). Celle-ci et le moellon sont pourtant extraits des mêmes carrières, même si pour notre architecte, le *saxum quadratum* est un matériau plus noble que le *caementum*.

[91] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* caementum *et* camenticius, p. 33.

3.1.1. Extraction des moellons (2, 7, 1 et 5)

C'est dans le septième chapitre du livre II, que notre architecte aborde les carrières de pierres d'où sont tirées « les pierres de taille (*quadrata saxa*) et l'abondance des moellons (*caementorum copiae*) pour le bâtiment ». En 2, 7, 1, il écrit : « Les pierres de carrière se trouvent être de qualités inégales et diverses (*disparibus et dissimilinus uirtutes*). » [92] Celles que l'on extrait doivent, en 2, 7, 5 subir l'essai des conditions atmosphériques pour être expédiées vers un chantier quelconque. Les carrières qu'énumère Vitruve sont italiennes et non pas grecques ou asiatiques : Rome et ses environs, la Campanie, la façade de l'Adriatique et l'Étrurie.

En 2, 7, 1, se lisent les syntagmes verbaux *eximere de lapidicinis et comparare et quadrata saxa et caementorum copias ad aedificia* « extraire des carrières pour les bâtiments et fournir les pierres de taille et les matériaux de moellons ». Dans ce syntagme, *caementum* est une composante de l'unité lexicale complexe *copiae caementorum* « quantité de moellons » ce qui indique la piètre estime que Vitruve porte aux *caementa*. A la différence des *saxa quadrata* « pierres de taille », les moellons ne peuvent se concevoir que par lots ou par masses pour être plongés dans le mortier de la *structura caementicia* « maçonnerie concrète » [93].

- ***Conditions d'extraction des moellons dans les carrières***

La carrière, c'est-à-dire le lieu d'où sont extraits les matériaux destinés à la construction, peut être de dimensions diverses. On sait que la répartition exploitable des matériaux rocheux est plus ou moins importante sur le terrain. Pour déterminer la qualité de la roche et le type d'extraction qu'il prévoit, le carrier observe les éventuelles différences de nature des couches, leur séparation et leur fragmentation : ce qu'on appelle en géologie les caractéristiques lithostratigraphiques. Ces dernières sont : les joints des stratifications, les réseaux de fissures naturelles et d'autres défauts géologiques (vides karstiques, poches terreuses, etc.) qui rompent l'homogénéité des massifs rocheux. Lorsque c'est possible, le carrier combine ces deux particularités lithostratigraphiques (les joints des stratifications et les fissures naturelles) pour déterminer le format de leurs pierres, et le traitement des parements.

Les joints de stratification apparaissent lors de la constitution de la roche (sédimentation), et ils sont des coupures de sa masse parallèles au pendage (pente d'une couche sédimentaire ou d'un filon dans une mine) et ils sont couramment proches de l'horizontale. Généralement assez tendre et parfois franchement creux, le joint de stratification délimite une strate rocheuse nettement différenciée au-dessous et au-dessus du

[92] Trad. L. Callebat.

reste du substratum : cette strate est le banc exploitable de roche. La hauteur du banc peut déterminer celle des blocs et donc des assises.

Souvent d'origine tectonique, les fissures naturelles s'étendent en maillage d'autant plus fin et serré que l'on approche du sommet et d'un affleurement. Ces fissures sont fréquemment perpendiculaires aux joints de stratification. Dans ce cas, une fissure borne sur un plan vertical ou oblique le bloc de carrière.

Concernant l'extraction (pierre de taille ou moellon), le carrier peut rencontrer plusieurs cas de figure :

— le *banc* est le matériau rocheux continu sur une épaisseur parfois considérable, et avec une orientation horizontale ou plus ou moins oblique. Le banc peut être interrompu par les fissures naturelles (diaclases) ;

— la *masse* est le matériau rocheux réparti en volumes de dimensions variables, au milieu d'un autre type de roche ;

— le *fragment* est le matériau rocheux déjà réduit en éléments de faibles grandeurs, tel qu'un homme peut les porter : on peut avoir ici une source intéressante de *caementum* [94].

Lorsque la roche est très dure et présente des stratifications naturelles, on travaille par délitage. Cette opération consiste à diviser le banc rocheux en mettant à profit cette stratification : on fait entrer de force, dans les joints ou les fissures, des coins, qui les élargissent et permettent ainsi de détacher le bloc, dont la forme sera plus ou moins irrégulière. D'un autre côté, si la roche est tendre, les carriers peuvent tailler des blocs de toutes dimensions en se souciant aussi de la stratification naturelle, et obtenir dès l'extraction des éléments dont l'épannelage est proche de celui qui précède la taille à proprement parler. Le travail d'extraction se fait alors sur un plan vertical ou horizontal.

Dans tous les cas, les produits secondaires de ce travail d'extraction et de dégrossissement, comme les *cailloutis*, sont repoussés vers une zone proche, le dépôt de déblais. Les moellons, selon leur nature (volcanique, sédimentaire), peuvent être : des projections volcaniques grossières, des galets ou des brèches (dépôts détritiques parfois non consolidés), des blocs taillés, ou des cailloutis.

3.1.2. Nature des pierres utilisées comme *caementum* (2, 6, 1 ; 2, 8, 6 ; 7, 6, 1 ; 8, 6, 14)

Selon la géologie des carrières, la pierre peut varier en cohésion, en résistance au choc, en texture, en structure [95], etc. C'est ainsi que l'on peut comprendre la remarque

---

[93] *Vitruve II*, p. 101, n. 4.

[94] Ginouvès, Martin 1985, pp. 78-81 ; Aladenise 1988 ; Bessac, Ferdière 1999, pp. 18-20.

[95] La texture est l'éventail des tailles des grains et des particules élémentaires (la granulométrie). La structure est la façon dont les constituants (matrice et grains) sont arrangés et dont ils ménagent des vides.

vitruvienne *dispares et dissimiles uirtutes* « qualités inégales et diverses ». Voici les trois types de *caementa* dont parle Vitruve.

- *Moellon de pierre dure ou de nature compacte (2, 8, 6 ; 8, 6, 14)*

En 8, 6, 14, pour les moellons des citernes, c'est une « pierre dure » (lave, calcaire compact, granite...), *silex*, qui fournit le *caementum* « moellon ». C'est aussi une roche dure que semble décrire Vitruve en 2, 8, 6, en parlant des *caementa proprietate spissa et solida* « moellons de texture compacte et cohérente » des appareils isodomes et pseudo-isodomes grecs. Ces derniers moellons sont de forme parallélépipédique.

- *Moellon de pierre poreuse (2, 6, 1 ; 2, 8, 2-3)*

En 2, 6, 1, le moellon de tuf volcanique (*tofus*) utilisé pour les jetées et les môles du golfe de Naples a subi une cuisson volcanique sous terre et a perdu un constituant humide (*sine liquore*). Ce tuf a donc essuyé une coction naturelle comme la pouzzolane (*puluis*), à l'inverse de la chaux, qui est calcinée dans un four. Ces trois matériaux, pour un béton hydraulique, ont été formés selon un principe chimique identique (*consimili ratione*). La perte d'un des quatre éléments constitutifs rend une matière poreuse. C'est ainsi que Vitruve parle en 2, 8, 2-3, de *caementorum raritas* « porosité des moellons » pour qualifier des tufs volcaniques en 2, 7, 1 ou le cas échéant d'autres roches tendres.

- *Moellons de marbre (7, 6, 1)*

En 7, 6, 1, dans les lieux qui sont dépourvus de marbre, les marbriers récupèrent les éclats de marbre (*caementa marmorea*) ou recoupes (*assulae*), qui sont les chutes de pierre que les marbriers abattent en travaillant, et ces recoupes sont pilées et broyées (*contunduntur et moluntur*). Cette poudre de marbre, une fois tamisée, est employée dans les travaux de revêtement (*et subcretum*, *in operibus utuntur*). Ces moellons ne sont donc pas utilisés pour le gros oeuvre, mais pour les enduits, car seul le marbre blanc intéresse notre auteur pour la poudre qu'il peut fournir [96].

Vitruve a bien conscience que, en raison de la nature et de la dureté de la roche extraite, le moellon vient des mêmes carrières que les pierres de taille. Ce n'est pas un matériau noble, comme la pierre de taille et ce n'est qu'en qualité de lots ou de masses qu'il pourra être plongé dans le liant de la *structura caementicia*. Pour un tel usage et d'après la

[96] *Vitruve VII*, p. 150, n. 2.

géologie locale, il est possible de récupérer les produits secondaires d'extraction et du dégrossissement (cailloutis, dépôt de déblais) ou de récolter des éléments qui sont déjà à la dimension voulue (projections volcaniques grossières, dépôts détritiques parfois non consolidés). Le *caementum* peut aussi être taillé tel quel de la roche d'extraction. Comme l'écrivent R. Ginouvès et R. Martin, *caementum* dénote le caillou, le gravier, la pierraille, le galet, et aussi le moellon ébousiné (débarrassé du *bousin*, croûte tendre de calcaire impropre à l'emploi), brut et taillé : c'est un terme générique qui désigne des matériaux rocheux meubles ou solides, soit sous leur forme originelle, soit issus de la taille [97].

3.2. *Caementum*, la fabrication des moellons (2, 8, 7 ; 8, 6, 14) et leur granulométrie (2, 8, 2 ; 4, 4, 4 ; 8, 6, 14)

Quelle est la place du moellon parmi les autres matériaux de construction sur un chantier romain au premier siècle avant notre ère ? Notre théoricien apporte quelques éléments de réponses. Ainsi en 1, 2, 8, il énumère les matières utilisées à l'époque tardo-républicaine ; outre le *caementum*, on a le sable volcanique de carrière (*harena fossicia*), le sapin (*abies*), les planches de sapin (*sapinus*), et le marbre (*marmor*). De même, en 1, 5, 8, il donne une autre liste en fonction des ressources disponibles. Cette nomenclature est constituée de produits finis, qui sont prêts à être employés sur le chantier de construction : *saxum quadratum* « pierre de taille », *silex* « roche dure », *caementum* « moellon », *later coctus* « brique cuite » et *later crudus* « adobe ». C'est une énumération de tous les types de matériaux en usage à la fin de la République [98]. Enfin, la réticence vitruvienne face au moellon tient au fait qu'il s'agit d'un matériau de masse, comme insiste P. Gros : « Mais cette forme standardisée est elle-même l'expression d'une conception de l'architecture fondée sur la rapidité de l'exécution qui reste étrangère au théoricien : rentabiliser la mise en place de maçonneries importantes en utilisant des matériaux qu'une main-d'œuvre faiblement spécialisée peut produire en masse parce qu'ils n'ont pas besoin, comme dans les parements en grand appareil, d'être individualisés en fonction de leur situation dans la paroi, n'a jamais pu être considéré par Vitruve comme un progrès. » [99]

Les formes du moellon : quelques définitions

Dans la terminologie architecturale utilisée par R. Ginouvès et R. Martin [100], le *moellon* est l'élément rocheux taillé, de dimensions assez faibles pour être porté par un homme.

---

[97] Ginouvès, Martin 1985, pp. 46-48, 52, 55, 95-96.
[98] Lugli 1957, p. 41.
[99] *Vitruve II*, *Introduction*, pp. LIV-LV.
[100] Ginouvès, Martin 1985, pp. 55-56.

D'abord, on doit définir la notion de *face*, qui est la surface de l'élément (côté) limitant la surface du bloc ou du moellon. On parle de *face de parement*, qui est celle visible en surface du mur, et de *face de joint*, laquelle est en contact avec un autre élément (pierre, brique, mortier). Selon le degré d'élaboration et l'usage auquel il est destiné, on distingue :

- *le moellon brut* : c'est la forme sous laquelle le moellon a été extrait de la carrière, (*uti nata sunt*, « tels quels », comme l'écrit Vitruve 2, 8, 7), c'est-à-dire avec des faces non dressées et irrégulières.
- *le moellon à face de parement travaillée* : les autres faces sont seulement équarries.
- *le moellon travaillé sur plusieurs faces* : le moellon peut avoir toutes les faces travaillées et il peut présenter ainsi des arêtes vives (*moellon d'appareil*). Dans la pratique, le moellon d'appareil présente des volumes divers, avec une face de parement rectangulaire ou presque carrée, et avec des faces de joint à angle droit (dit en retour d'équerre) et avec éventuellement la queue abattue. Dans ce dernier cas, le moellon comporte une forme parallélépipédique ou pyramidale, etc.

Vitruve ne donne aucune indication précise sur les matériaux. Ainsi, concernant le *caementum*, il n'y a pas de renseignement spécifique sur la dimension d'un moellon extrait d'un type de roche. Il est possible de les déduire du traité d'architecture dès lors que le contenu du texte est comparé avec une information archéologique et technique.

La masse du moellon : élaboration des *caementa* (8, 6, 14)

Dans son traité, notre architecte se sert d'un seul syntagme verbal pour désigner la taille des moellons : *frangere caementum* « casser, tailler un moellon » (8, 6, 14). En 2, 8, 7, les *fracta caementa* « fragments de pierres » sont les charges et les agrégats qu'on utilise avec la chaux pour faire, c'est-à-dire tasser, l'*opus caementitium* entre deux parements. En 8, 6, 14, dans la fabrication des citernes signiennes, le syntagme verbal complet est : *frangere caementum de silice ne grauis quam librarium* « casser dans la pierre dure un moellon/caillou/éclat qui ne sera pas plus lourd qu'une livre (328 g) ». Le moellon est un morceau de calcaire argileux [101] ou de tuf volcanique. Dans le cas du bassin pluvial de Segni, datant du II^e^ siècle *a. C.*, le moellon est essentiellement un calcaire compact contenant des constituants silico-alumineux (Fig. 20, 26-29)

Dans la notice vitruvienne, le critère physique pour déterminer indirectement la taille du moellon est sa masse maximum, à savoir une livre (328 g) : c'est la seule information pertinente et malheureusement disponible. Pour obtenir un *caementum*, l'ouvrier concasse la pierre dure (*silex*) au moyen d'un pilon (*uectis*). Ainsi, le verbe *parare* « préparer » peut aussi

signifier le fait d'avoir broyé au pilon et tamisé du tuf volcanique pour en faire du granulat normalisé. Dans ce cas, l'emploi d'un tamis fixe peut être envisagé [102]. Le concassage et le crible donnent un agrégat d'une grandeur régulière pour son utilisation. Vitruve, comme architecte, doit se servir d'une unité quelconque (volume, poids, etc.) pour mesurer la taille des granulats (sable, moellon), dont il a besoin, même si, bien évidemment, il n'use pas de classification de granulométrie analogue à celle que nous connaissons de nos jours : il ne fournit pas de terme latin qui pourrait qualifier un agrégat de dimension intermédiaire entre un sable et un moellon, comme cela se pratique pour les normes industrielles modernes. Dans les textes vitruviens, les termes présents et courants, qui pourraient s'approcher d'une dénomination technique normée, sont *harena* « sable » et *caementum* « moellon ». A cette énumération, on pourrait ajouter *puluis* « poudre pouzzolanique » et *sabulo* « sablon », lesquels sont d'une mesure inférieure à *harena*. Ainsi en 8, 6, 14, l'*harena* « sable » est utilisée avec la chaux et mélangée dans l'auge à mortier. On peut donc en déduire que, dans le même texte, le *caementum* doit désigner tout agrégat supérieur granulométriquement à l'*harena*. Il faut à présent déterminer sa taille.

Dimension des moellons par rapport à l'épaisseur d'un mur (2, 8, 2 ; 4, 4, 4 ; 8, 6, 14)

Pour obtenir des indications plus précises sur la dimension du moellon, deux textes seront examinés : 2, 8, 2 et 4, 4, 4. En 4, 4, 4, l'épaisseur des murs de la *cella* d'un temple doit être proportionnelle à la grandeur du bâtiment, dans la mesure où leurs antes ont une largeur égale au diamètre des colonnes (*dum antae eorum crassitudinibus columnarum sint aequales*). Vitruve écrit : « Si ces parois doivent être maçonnées (*et si ex structis futuri sunt*), qu'elles le soient avec des moellons aussi menus que possible (*quam minutissimis caementis struantur*). » [103] Les *caementa* ne concernent, semble-t-il, que le remplissage du mur, car, rien n'est indiqué à propos du parement (*incertum* ou *reticulatum*). L'indication vitruvienne sur l'épaisseur des murs, selon la grandeur du sanctuaire et la largeur des colonnes, donne une relation mathématique sur les dimensions des moellons : ceux-ci représentent, en taille, une fraction de l'épaisseur du mur, qui lui-même dépend de la grandeur du sanctuaire.

Ainsi, *minutissima caementa* « très petits matériaux » peut désigner de l'*harena* « sable », mais aussi une taille supérieure d'agrégats. La pratique enseigne que la dimension maximale d'un granulat peut être liée à l'épaisseur du liant (béton, mortier, enduit). Elle peut être d'environ un dixième d'une structure porteuse, alors que, pour d'autres éléments architecturaux (fondations, enduits), elle peut aller jusqu'au quart, voire jusqu'au demi. Vitruve donne dans son texte une vague indication mathématique ou proportionnelle sur la

[101] Giuliani 1992. Sur la nature géologique cf. *Silex*.
[102] Houben, Guillaud 1995, pp. 86-87, 113, 194-195, 218 et 220.

grandeur du *caementum* : on situe indirectement sa taille par rapport à d'autres normes de référence, comme le diamètre de la colonne. Toutefois, il sera montré *infra* comment déterminer cette dimension à partir d'une analyse archéométrique.

En 2, 8, 2, Vitruve mentionne que les deux appareils (*opus incertum* et *opus reticulatum*) doivent être intérieurement garnis avec de très menus matériaux (*ex minutissimis*) pour que les murs, abondamment saturés de mortier de chaux et sable, soient maintenus plus longtemps (*uti materia ex calce et harena crebriter parietes satiati*). Dans ce passage, l'adjectif *minutissimis* est usité seul, et on peut penser que *caementis* est sous-entendu [104]. Pour l'architecte, les *caementa minutissima* « très petits moellons » sont des moellons normalisés correspondant à une fraction de l'épaisseur de la maçonnerie : les blocs de trop grandes grosseurs ne peuvent pas avoir leur place dans les proportions du bâtiment.

Vitruve donne donc des indications sur la taille des *caementa* dans le mur, mais elles sont éparses et vagues. On peut supposer que le moellon a un poids maximum et une grandeur dépendant de la dimension de la paroi (4, 4, 4 et 8, 6, 14). Dans la langue vitruvienne, le vocabulaire granulométrique ne contient pas un substantif qualifiant une mesure intermédiaire entre le sable et le moellon : notre architecte se sert pourtant de *glarea* « gravier, caillou », mais celui-ci n'a pas d'utilité en matière de construction. À l'inverse, pour Caton (*Agr*. 18, 7), le pavage est composé de gravier, de chaux et de sable (*de glarea et calce harenato*). *Glarea* est ici un synonyme de *caementum*, alors que le même terme, usité dans le discours vitruvien, est seulement une source possible de sable de rivière (Vitr. 2, 4, 2).

Détermination de la granulométrie d'un moellon de 8, 6, 14 et le graphique de Sötenich

Afin de déterminer la taille d'un moellon dans un texte vitruvien, on comparera celui-ci avec les données archéologiques et techniques. Ainsi, en examinant la notice des citernes signiennes (8, 6, 14), le seul passage du *De architectura* où le praticien indique un poids maximal d'une livre (328 g) pour un moellon, on peut se livrer à un petit calcul instructif. Si la pierre dure, que l'on taille, est par exemple un calcaire de densité 2, 2, on divise le poids de l'agrégat obtenu par cette densité et on a un *caementum* d'un volume de 149,09 millilitres (0,14909 l). On prend un moellon sphérique ou cubique pour des raisons pratiques. Selon la forme cubique ou sphérique, ce granulat d'une livre aura 6,579 cm de diamètre s'il s'agit d'une sphère, ou bien 5,302 cm d'arête dans le cas d'un cube [105]. Bien entendu, ces calculs sont purement indicatifs, mais ils donnent une approximation de la

[103] Trad. P. Gros. *Vitruve IV*, p. 151, n. 1.
[104] *Vitruve II*, p. 113, n. 1.
[105] Pour le volume en ml (ou cm^3), on obtient le rayon ou l'arête en cm. Ainsi, le volume d'une sphère se calcule : $V = 4/3 \times \pi \times R^3$, ce qui donne un diamètre de 6,579 cm. Pour le cube, $V = a^3$: l'arête est de 5,302 cm.

mesure d'un *caementum*. En outre, grâce aux travaux de l'ingénieur allemand H. O. Lamprecht, il est possible d'obtenir, à partir d'une indication d'épaisseur d'une maçonnerie (béton, mortier, enduit), des données plus précises venant du texte de 8, 6, 14.

D'après H. O. Lamprecht, le moellon romain est constitué de deux types de matériaux distincts granulométriquement : le gravier (de configuration ronde) et l'éclat, de forme polygonale et taillée [106]. Ces agrégats étaient, pour des raisons de coût, du matériau local. Dans la région de Cologne, H. O. Lamprecht a analysé des prélèvements de béton et de blocage d'aqueducs. Ils contiennent, comme granulat, du quartz, du grès, du microgrès, du calcaire, du basalte, du tuf, de la *testa*, et pour un cas isolé, du charbon de bois. L'un de ces échantillons, un béton de conduit d'eau de Sötenich (échantillon n°71) du II^e^ s. *p. C.*, a été soumis à une analyse granulométrique dont les résultats sont surprenants pour l'ingénieur allemand (Fig. 11-12) ; la courbe de tamisage est croissante : les matériaux ont été criblés.

Ce graphique montre deux choses : d'abord, la dimension et la quantité en poids des matières tamisées correspondent aux normes granulométriques modernes pour un béton imperméable ; ensuite, elle permet de constater le haut niveau qualitatif qu'ont atteint les ingénieurs civils romains au II^e^ siècle *p. C.* Comme le remarque H. O. Lamprecht à propos de la courbe de Sötenich, Vitruve et les ingénieurs romains ne connaissaient pas les graphiques granulométriques, mais ils avaient l'habitude des matériaux gradués : ils savaient donc cribler et mesurer la quantité d'agrégats à ajouter dans un liant.

Sassés à travers une série de tamis dont la plus grande maille est de 63 mm, les granulats se répartissent approximativement ainsi :

— 10 % ont une taille inférieure à 0,25 mm;
— 20 % entre 0,25 et 2 mm;
— 10 % entre 2 et 8 mm;
— 10 % entre 8 et 16 mm;
— 20 % entre 16 et 31,5 mm;
— 30 % ont une dimension supérieure à 31,5 mm et inférieure à 63 mm.

50 % des charges passant par le tamis sont inférieures à 16 mm, ce qui indique que les autres 50 % sont supérieures à 16 mm. D'après les normes modernes du bâtiment, les graviers sont compris entre 2 et 20 mm et les cailloux entre 20 et 200 mm. Les ingénieurs romains choisissaient donc la quantité d'*harena* et de *caementum* d'après les mêmes critères que ceux de l'industrie cimentière. Cette courbe de Sötenich est intéressante, car elle nous permet de donner une indication quantitative en poids des agrégats dans un liant, chaque fois que Vitruve décrit une information, ou bien massique d'un matériau ou bien liée à l'épaisseur d'une maçonnerie. On se servira de cette courbe dans *harena* et *testa*. D'après ce graphique granulométrique, on peut en déduire que le terme *harena* chez Vitruve a une

[106] Lamprecht 1996, pp. 58-59.

mesure inférieure ou égale à 2 mm, tandis que le *caementum* englobe le caillou plus le gravier (entre 200 mm). On précisera que la proportion des granulats n'influe pas sur la quantité de chaux pour un mortier.

À partir du graphique de Sötenich, la quantité d'*harena* et de *caementum* dans le béton des citernes signiennes (8, 6, 14) peut se calculer aisément. De la sorte, si l'on prend la règle du dixième de l'épaisseur d'une maçonnerie, un moellon calcaire de 328 g a la taille maximale du tamis (63 mm). On peut ainsi reprendre les pourcentages d'agrégats de Sötenich (10 % ont une dimension inférieure à 0,25 mm; 20 % entre 0,25 et 2 mm, etc.) et constater que *caementum* (au-dessus de 2 mm) représente en poids 70 % de l'ensemble des granulats et que *harena* (en dessous de 2 mm) compose les 30% restants.

À l'aide de ces données, on calcule la quantité massique et le volume de sables et de moellons selon une pratique connue pour la composition des bétons. Dans l'industrie cimentière, l'étude de la composition d'un béton consiste à définir le meilleur mélange des différents agrégats, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées. Il existe de nombreuses méthodes pour déterminer les proportions des composants, et ces procédés aboutissent à des dosages « volumétriques » ou de préférence « pondéraux », le passage de l'un à l'autre pouvant se faire toujours, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac [107].

Vitruve donne pour un ratio sable/chaux de 5/2 : pour 30 % d'*harena*, et en multipliant une densité (moyenne) de 1,5 [108] par 5 volumes (litres), on obtient 7,5 kg. Pour 70 % de *caementum*, on a 17,5 kg [109] : en divisant ce nombre par 1,5, on trouve 11,66 litres de moellons de dimensions maximales de 63 mm. On peut ainsi conclure que le volume de *caementum* (11,66 l), que Vitruve n'indique pas, est le double, approximativement de celui de l'*harena* (5 l). Les calculs sont indicatifs et illustratifs, certes, mais ils permettent de se faire une idée de la masse de matériaux utilisés dans les textes vitruviens à partir d'une pratique édilitaire postérieure à notre architecte.

Vitruve (4, 4, 4) fournit une relation mathématique : l'épaisseur du mur dépend de la grandeur du sanctuaire. A partir de cette information, on peut en conclure que la grosseur

---

[107] Cf. G. Dreux, J. Festa, *Nouveau guide du béton et de ses constituants*, huitième édition, Eyrolles, Paris, 2002, p. 205.

[108] La densité de 1,5 est une valeur moyenne, pour des raisons de commodité et de simplicité de calcul, dont nous nous servirons afin de calculer les proportions de « sable » et de « moellon ». Il suffit de consulter la liste des granulats, naturels ou artificiels ci-dessous pour constater que cette densité moyenne se retrouve aisément. *Techniques de l'ingénieur*, volume *Logistique*, dossier A 9540, 1996 : Cailloux concassés 1,5 à 1,6 ; Granit : concassé 1,54 ; Gravier : grains vrac 1,5 à 1,8 – plus sable 1,9 – argileux 2,3 ; Marbre : broyé 1,5 ; Pierre cassée : vrac 1,8 ; Pouzzolanes : 1,1 à 1,2 ; Quartz broyé : 1,505 ; Roches diverses 1,8 ; Sable tamisé 1,45 à 1,6 - argileux 1,71 à 1,8 – sable et gravier : sec 1,44 à 1,76.

[109] Le rapport est de 7,5/30 %, soit 25 kg, c'est-à-dire 100 % en poids de la totalité des agrégats (sable et moellon). Il suffit donc de calculer le reste : 25 kg -7,5 kg = 17,5 kg, soit 70 %.

du moellon sera en relation avec cette épaisseur. Les *caementa minutissima* de 4, 4, 4 peuvent être des granulats de la taille d'un dixième (au maximum) de la grandeur de la maçonnerie. Le théoricien donne dans ce passage une vague indication proportionnelle, qui situe indirectement la mesure du moellon par rapport à d'autres éléments de référence, comme le diamètre de la colonne. Dans son traité d'architecture, il fournit deux informations : le poids du moellon (8, 6, 14) et la dimension de l'édifice (4, 4, 4). Comme on peut le supposer, la taille des agrégats (moellon, sable...) est conforme à des règles établies par une tradition architecturale, par exemple la grandeur du bâtiment. Le *De architectura* possède quelques termes pour qualifier une charge ou un agrégat : *puluis* et *sabulo* (< 0,25 mm), *harena* (≤ 2 mm) et *caementum* (entre 2 mm et 200 mm).

3.3. Edification de la *structura caementicia* (5, 12, 3-5 ; 8, 6, 14)

Les occurrences les plus nombreuses de *caementum* et de *caementicius* sont employées dans des contextes architecturaux, où Vitruve décrit ou mentionne le concept de *structura caementicia* « maçonnerie concrète ». Cette lexie complexe, que l'on trouve en 2, 4, 1 et en 2, 7, 5, qualifie les constructions en maçonnerie concrète (murs, *opus caementicium*, parements, etc.). *Structura* est un terme général usité cinquante-six fois dans le *De architectura*. Il est ambigu puisqu'il désigne aussi bien le corps du mur maçonné, c'est-à-dire le béton entre les parements (2, 4, 1) que les parements eux-mêmes [110].

En 6, 8, 9, Vitruve rappelle une idée qu'il avait déjà définie en 1, 2, 8 et 1, 5, 8. Ce n'est pas à l'architecte de décider quel type de matériau il faut utiliser, mais au propriétaire (*dominus*). C'est donc ce dernier qui a le pouvoir de construire en *opus latericium* (*latericio*), en *opus caementicium* (*caementicio*) et en pierre de taille (*saxo quadrato*). Bien que dans le texte latin l'adjectif *caementicium* soit usité seul, il est évident que c'est *opus* ou *genus* qui est sous-entendu et non *saxum* [111].

Dans le *De architectura*, les notices techniques les plus explicites sur la réalisation de la *structura caementicia* se trouvent respectivement en 5, 12, 3-4 et en 8, 6, 14. Nulle part en effet, le théoricien n'y rassemble autant d'indications sur la méthode, les outils et les matériaux. En comparaison, le huitième chapitre du livre II se présente davantage comme un exposé taxinomique des différentes maçonneries, qu'un véritable compte rendu technique. Les deux textes mentionnent la fabrication de *structurae caementiciae* sur terre (8, 6, 14) et dans la mer (5, 12, 3-4).

---

[110] Callebat, Fleury 1995, p. 45. Sur le débat terminologique : Blake 1947, pp. 227-228 et Adam 1995, p. 170, n. 2.
[111] *Vitruvio 2*, pp. 1007-1008, n. 280-282. Sur le rôle de l'architecte au début de l'Empire : MacDonald 1982, pp. 122-142.

3.3.1. Notice technique de la *structura caementicia* : les murs des citernes signiennes (8, 6, 14)

Le passage de 8, 6, 14 est la synthèse technique sur la manière dont une maçonnerie concrète se fait. Si, dans la prospection de l'eau, le terrain est dur ou si les veines sont trop profondes, il faudra alors que les provisions d'eau venue d'endroits élevés soient recueillies dans des ouvrages maçonnés à la manière de Signia [c'est-à-dire recouverts de mortier de tuileau (*ex testis*)]. Vitruve continue : « Or, voici comment on doit procéder pour ces maçonneries de Signia : il faut, tout d'abord, avoir du sable très pur et très rude, puis fragmenter dans la pierre des éclats qui ne pèsent pas plus d'une livre, et faire le mortier en ajoutant la chaux la plus fusante possible dans la proportion de cinq parts de sable pour deux de chaux. Avec des pilons de bois armés de fer, on damera ce mortier dans la tranchée jusqu'au niveau de hauteur prévu. » [112]

Pour édifier ces murs, la méthode employée est celle des couches alternées (mortier + agrégats) et damées (Fig. 10).

- ***Matériaux et outils***

— *harena* « sable »
— *silex* « pierre dure »
— *mortarium* « auge, bassin de corroyage »
— *uectis ligneus ferratus* « pilon, dame à bout ferré » pour broyer les agrégats et damer les murs.
— tamis, que Vitruve ne mentionne pas.

- ***Fabrication du liant***

— *harenam purissimam asperrimam parare* « approvisionner du sable (calcaire ou volcanique) aussi pur et aussi rugueux que possible »
— *calcem quam uehentissimam mortario miscere ita ut quinque partes harenae ad duas respondeant* « après avoir éteint de la chaux la plus réactive possible, la mélanger dans le bassin de

[112] Trad. L. Callebat. Texte de Vitruve (8, 6, 14) corrigé : *Sin autem loca dura erunt aut nimium uenae penitus fuerint, tunc signinis operibus ex testis a superioribus locis excipiendae sunt copiae. In signinis autem operibus haec sunt facienda. Vti harena primum purissima asperrimaque paretur, caementum de silice frangatur ne grauius quam librarium, calce quam uehementissima mortario mixta, ita ut quinque partes harenae ad duas respondeant. Eorum fossa ad libramentum altitudinis, quod est futurum, calcetur uectibus ligneis ferratis.* P. Gros (2003) propose de changer la correction du moine véronais (Fra Giocondo) *tectis* en *testis*, et de supprimer le *aut*, ce qui donne du sens au passage.

corroyage de telle sorte que 5 parties de sable correspondent à 2 (de chaux) » : chaux grasse ou chaux hydraulique laquelle a la propriété de bien se tasser. Le ratio *harena*/*calx* est de 5/2. On sait que les mortiers confectionnés avec les chaux hydrauliques ont des qualités d'étanchéité et une meilleure résistance à l'écrasement que ceux réalisés avec les chaux aériennes, tout en ayant une dureté et un coefficient de dilatation proche de ceux des matériaux antiques [113].

— corroyage du mortier dans l'auge : mélange proportionné de chaux et des granulats tamisés, c'est-à-dire le sable qui constitue 30 % des agrégats en se basant sur le graphique de Sötenich.

▪ ***Mode opératoire***

— *frangere caementum de silice ne grauis quam librarium* « casser dans la pierre dure un moellon/caillou/éclat qui ne sera pas plus lourd qu'une livre (328 g) »

— *fossa ad libramentum altitudinis, quod est futurum, uectibus ligneis ferratis* (*materiam*) *calcare* « damer dans la tranchée le (béton/mortier) à l'aide de pilons de bois à bout ferré jusqu'au niveau de hauteur prévue ».

Le mélange chaux/sable dans le bassin de corroyage (*mortarium*) se fait sans la « pierraille » *caementum*, car la dimension du moellon ne permet pas de le mêler dans le bassin. On ajoute le *caementum* normalisé (au-dessus de 2 mm) dans la « tranchée » *fossa*. On met autant de *caementa* qu'il est possible jusqu'à ce qu'on ne puisse plus tasser et on recommence la méthode de pose alternée (mortier + *caementa* + tassage) (Fig. 10) : en pourcentage, d'après les estimations calculées *supra*, les moellons normalisés constitueraient 70 % des agrégats. Cette technique est celle de la banchée (du mot « banche » qui désigne les planches servant au coffrage du blocage ou du pisé) et on peut, avec un œil exercé, voir les lits de banchées qui sont encore visibles sur de nombreux noyaux d'*opus caementicium*, dans la région de Rome ou à Pompéi [114].

Le syntagme verbal *uectibus ligneis ferratis* (*materiam*) *calcare* « damer dans la tranchée (le mélange) à l'aide de pilons de bois à bout métalliques » peut constituer une description de la fabrication de l'*opus camenticium*. En 2, 8, 3 on trouve un autre groupe verbal *intrinsecusque medio structuris calcare* « pilonner à l'intérieur de la maçonnerie le béton de la banchée ». Celui-ci dénote la technique consistant à projeter strate par strate du mortier puis des moellons et à damer le tout pour assurer la cohésion du mélange. Le verbe *calcare* signifie

[113] Adam, Frizot 1983, p. 43.
[114] Adam 1995, p. 81.

au sens propre « fouler » [115] et il s'applique ici à l'opération qui a pour but de tasser en le pilant un matériau plastique à l'intérieur d'un coffrage.

3.3.2. Les *structurae caementiciae* bâties sur mer (5, 12, 3 et 5)

Après les ouvrages bâtis sur la terre ferme, le chapitre douzième du livre V du *de architectura* est le résumé de plusieurs siècles de construction et d'aménagement portuaire (môles et consolidation des berges), issu de procédés phéniciens, grecs et étrusques, tout en y ajoutant la connaissance romaine de la *structura caementicia*, qui permet de construire n'importe où au bord de la mer [116]. Le chapitre aborde deux techniques de môle en *structura caementicia* : le premier modèle de digue contient, outre le mélange habituel de chaux, et de moellons volcaniques, de la pouzzolane, tandis que le deuxième a, au lieu de celle-ci, du sable volcanique ordinaire (cf. *calx*, *creta* et particulièrement *puluis* pour une définition de la pouzzolane). Les ingénieurs romains étaient capables de transformer n'importe quelle côte en port, pouvant recevoir des bateaux allant jusqu'à trente tonneaux.

- ***Conceptions des môles d'après Vitruve***

Première méthode : môle de chaux, de pouzzolane et de moellons (5, 12, 2-3)

Dans ce passage, la fabrication de môles de béton avec la pouzzolane se fait dans l'eau de mer au moyen de coffrages de bois, vraisemblablement réutilisables. Ce béton est constitué de chaux, de pouzzolane et de moellons. Vitruve donne le mode opératoire de la construction des maçonneries maritimes et la confrontation avec l'archéologie soulève encore des problèmes d'interprétation, puisque le texte vitruvien est elliptique sur certains termes.

Matériaux et outils

— *puluis a regionibus quae sunt a Cumis continuatae ad promunturium Minervae* « poudre/pouzzolane des régions depuis Cumes jusqu'au promontoire de Minerve (Sorrente) » [117].
— *calx* « chaux vive ».
— *materia* « liant ». Celui-ci est fait de deux parts de pouzzolane (*puluis*) et d'une part de chaux (*calx*).

[115] Caton (*Agr*. 112) et Varron (*Rust*. 1, 54, 2) l'emploient fréquemment pour le foulage du raisin ou la compression des olives, à la main cette fois, dans des jarres. *Vitruve II*, p. 114, n. 2.
[116] Pour les Etrusques, cf. Cristofani 1989.
[117] Le promontoire de Sorrente est considéré comme le promontoire de Minerve : cf. P. Mingazzini et F. Pfister, *Surrentum*, Florence, 1946, pp. 51-53.

— *caementum* « tuf volcanique ».
— *stipes robusteus* « pieu/madrier et planchéiage jointif (entretoise)/banche de chêne-rouvre » [118].
— pièces de charpenterie (solive, planche, entrait, sablière, entretoise…) entrant dans la construction des coffrages.
— *mortarium* « bassin de corroyage ».

Description du coffrage

— *catena* « ossature de bois » ; ce terme désigne la charpente supérieure du coffrage (entrait, solive et sablière haute), laquelle « enchaîne » celui-ci. Pour les archéologues, cette ossature permet au coffrage de résister à la pression du béton quand celui-ci est versé [119]. H. Schläger indique qu'elle était la dernière structure qu'on installait avant de couler le béton [120].
— *transtillum* « drague, petite traverse » ou « entrait, solive » ; *transtillum* est le diminutif de *transtrum* « traverse, poutre transversale, entrait, tirant, banc de rameurs », que Vitruve emploie en 2, 1, 4 ; 4, 2, 1 et 5, 1, 9 [121]. Pour la plupart des archéologues, *transtillum* est l'instrument (la drague), alors que pour J. P. Oleson, il s'agit d'une plate-forme, qui est une partie de la *catena* « ossature de bois », d'où, semble-t-il, les ouvriers nettoient et aplanissent le fond de la mer [122]. Dans ce cas, *transtillum* dénote l'entrait ou le tirant qui maintient le coffrage lors du versement du béton. Par métonymie, *transtillum* désignerait la *catena*.
— *arcae stipidibus robusteis et catenis inclusae* « coffrages faits de pieux de chêne-rouvre et de planchéiage jointif, couverts par une ossature de bois, faite d'entraits, de solives et de sablières hautes ».

Ces coffrages de bois sont bâtis sur terre, puis amenés par remorquage jusqu'au lieu prévu.

Fabrication des môles

— *miscere puluerem uti in mortario duo ad unum respondeant* « mêler la pouzzolane de telle sorte que dans le bassin de corroyage deux (de poudre) correspondent à une de chaux. »

---

[118] Schläger 1971: « Senkrecht »/« Bohle » ; Oleson 1985: « upright »/« stout post ». D'après Schläger, les ingénieurs romains qui ont édifié les môles du port de Side, ont utilisé les trois techniques que rapporte Vitruve.
[119] Schläger 1971, pp. 156-157 et la figure 7, p. 158 et Oleson 1985, p. 171.
[120] Schäger 1971, p. 156.
[121] Cf. Ginouvès 1992, p. 176 et 178 : « Entrait : poutres transversales horizontales qui relient les murs portants, perpendiculairement à l'axe de l'espace à couvrir (lat. *tignum, transtrum*). » « Entrait (syn. tirant) : pièce qui, dans la ferme, correspond à la poutre horizontale transversale que nous avons rencontrée *supra* p. 176, mais cette fois est reliée aux extrémités des pièces obliques qui exercent sur elles une traction (lat. *transtrum*). »

— *arcas stipitibus robusteis et catenis inclusas, in aquam demittere destinareque firmiter* « enfoncer dans l'eau et fixer fortement des coffrages de bois faits de pieux de chêne-rouvre et de planchéiage jointif, couverts par une ossature de bois, faite d'entraits, de solives et de sablières hautes ».
— *deinde interea ex transtilis inferiorem partem sub aqua exaequare et purgare* « puis à l'intérieur du coffrage, aplanir et nettoyer la section inférieure dans l'eau avec des dragues » ou « puis à l'intérieur du coffrage, aplanir et nettoyer la section inférieure dans l'eau depuis l'ossature de bois ».
— *et caementis, ex mortario materia mixta quemadmodum supra scriptum est, ibi congerere* « procéder par accumulation d'un béton constitué de tuf volcanique et d'un mortier mélangé dans l'auge, comme on l'a décrit *supra* ».
— observation des réactions chimiques d'extinction de la chaux dans le coffrage : *cum tres res consimili ratione ignis uehementia formatae in unam peruenerint mixtionem, repente recepto liquore una cohaerescerunt et celeriter umore duratae solidantur neque eas fluctus neque uis aquae potest dissoluere* (2, 6, 1) « lorsque trois matières constituées, suivant un principe identique, par la puissance du feu se retrouvent dans un même mélange, par la pénétration brutale de l'eau de mer, ils [tuf, chaux, pouzzolane] forment rapidement un bloc que ni les vagues ni la force de l'eau ne peuvent désagréger ». L'hydratation de la chaux vive par l'eau de mer produit les phénomènes décrits par Vitruve 2, 6, 1 et 4.
— utilisation de dragues et de rabots (*ascia*) et peut-être de hies, pour homogénéiser les couches de liant et de tuf, après les violences des réactions chimiques.
— *complere structura spatium, quod fuerit inter arcas* « remplir l'espace dans le coffrage de maçonnerie ».
— récupération de certaines parties du coffrage pour leur réutilisation dans d'autres structures de môles [123].

D'après les autres textes vitruviens (2, 5, 3 ; 2, 6, 1 et 4), ce passage constitue une application pratique des *ieiunitates* combinées du moellon de tuf volcanique, de la chaux vive et de la pouzzolane, et il est indéniable que c'est un moellon de tuf volcanique, extrait des mêmes lieux que la pouzzolane. Pour des raisons de commodité, on mélange à sec la pouzzolane et la chaux vive dans l'auge à mortier, car la première, à cause de sa finesse, ne peut pas facilement se mêler à la pâte de chaux éteinte. Après avoir jeté le mélange (chaux vive, pouzzolane, moellon) dans l'eau de mer, la fin des réactions chimiques de l'extinction de la chaux est le signal d'une éventuelle mise en forme sommaire de la banchée au moyen du rabot.

[122] Oleson 1985, p. 170.
[123] Schläger 1971, pp. 156-157.

Deuxième méthode : môle fabriqué sur terre (5, 12, 4)

Il s'agit d'un procédé de fabrication de blocs de béton préfabriqués (*pilae*), que Vitrvue décrit ainsi. Ceux-ci sont construits sur des plates-formes, qui ont la particularité suivante : « la partie qui part de la terre ou du quai sera une surface plane dont la dimension sera inférieure à la moitié de longueur de la plate-forme. » Il continue : « Le reste de la plate-forme sera un talus qui descendra dans la mer. Sur celui-ci, on construit sur les côtés de petits parements de soutien d'un pied et demi d'épaisseur et de hauteur comparable à la surface plane de la plate-forme. On remplira les parements d'un remplissage de sable. Quand le béton du bloc sera sec, les parements devront être détruits et la mer chassera le sable : ainsi, le bloc glissera dans l'eau. » Enfin, Vitruve souligne que ces blocs mettent au moins deux mois à sécher, ce qui suppose un mortier hydraulique à base de sable volcanique (*harena fossicia*), comme celui utilisé pour l'*opus caementicium* sur terre.

Troisième méthode : môles de béton sans pouzzolane (5, 12, 5)

Le troisième procédé de môle fait appel à la chaux, au moellon et au sable volcanique. Il se caractérise par la fabrication d'un béton « ordinaire » dans des coffrages doubles lesquels sont rendus imperméables à l'aide de sacs d'argile (Fig. 14) et dont on vide l'eau avec des vis d'Archimède et des tympans. Les grands moules de bois sont les mêmes qu'en 5, 12, 2-3, mais sont plus élaborés. Le môle est une maçonnerie concrète telle qu'elle se fait sur terre : la base de la jetée est une fondation, sur laquelle il est prévu de construire des bâtiments (un phare, des entrepôts, etc.).

Matériaux et outils

En plus des matériaux cités *supra* (chaux, planches), on a :
— *caementum* « moellon, caillou » : tuf volcanique ou autres types de pierre.
— *harena* (*fossicia*) « sable (volcanique) » au lieu de la pouzzolane. Ce sable est utilisé dans la construction sur terre.
— *creta* « argile ».
— *erones ex ulua palustri* « panier en roseaux des marais ».
— *cochlea* « limaçon, vis d'Archimède », cf. Vitr. 10, 3, 9 et 10, 6, 1-4 [124].
— *rota* « roue hydraulique », que l'on trouve en 10, 3, 9 ; 10, 4, 3-4 ; et en 10, 5, 1-2 [125].
— *tympanum* « tympan » est une autre roue hydraulique ayant l'inconvénient d'élever l'eau à une faible hauteur [126].

[124] *Vitruve X*, pp. 153-154 ; Fleury 1993, pp. 160-165.
[125] Fleury 1993, pp. 151-160 ; Callebat, Fleury 1995, p. 254.

Description du coffrage

Si l'on ne dispose pas de la pouzzolane (*puluis*), l'emploi de l'*harena fossicia* s'impose, mais malgré ses réactions pouzzolaniques, Vitruve préfère bâtir au moyen de l'*opus caementicium*, comme sur la terre ferme. Cela signifie vider l'eau de mer et donc utiliser un coffrage rendu étanche par les sacs remplis d'argile.

— *destina* « paroi fichée, palissade ». Cette palissade, fichée au fond de la mer, se compose de madriers chêne-rouvre et de planchéiage jointif.

— *relata tabula* « planchette ajustée » ou *religata tabula* « planchette de liaison, entretoise ». L'adjectif *relatis* pose un problème d'interprétation : *relatus* ne permet pas vraiment d'éclairer la signification de la lexie complexe dans ce contexte de charpenterie : « planche retournée » (?) [127]. C'est pourquoi la correction de Lorentzen, est intéressante, car *religere* « lier, attacher » se rapporte à des planches (cf. Caes. *Civ*. 2, 9, 5 ; 2, 10, 3). En tout cas, cela semble désigner une entretoise reliant les deux parois du moule, au niveau des pieux [128].

— *catena* « ossature de bois » ; comme pour le coffrage de bois décrit en 5, 12, 2-3, la charpente supérieure (entrait, solive et sablière haute) sécurise la structure de bois. On peut traduire alors *arcae duplices relatis tabulis et catenis conligatae* « coffrages doubles reliés par des entretoises et par une ossature de bois, faite d'entraits, de solives et de sablières hautes ».

Le coffrage double est bâti sur terre, puis amené par remorquage comme les autres (5, 12, 3).

Fabrication des môles

— *arcas duplices rel(ig)atis tabulis et catenis conligatas in eo loco, qui finitus erit, constituere* « construire, remorquer et enfoncer sur le lieu choisi, les coffrages doubles reliés par des entretoises et par une ossature de bois, faite d'entraits, de solives et de sablières hautes ».

— *inter destinas cretam in eronibus ex ulua palustri factis calcare* « tasser entre les palissades de l'argile mise dans des sacs faits de roseaux de marais ».

— *ita bene calcatum et quam densissime esse* « bien tasser et de manière aussi compacte que possible ».

---

[126] *Ibid*., p. 254 ; Fleury 1993, pp. 151-154.

[127] Oleson 1985, p. 170 : il propose « close set planks » (planchettes jointives).

[128] Schläger 1971, pp. 157-160 et fig. 8. Les deux corrections proposées sont les suivantes : pour C. Lorentzen (C. Lorentzen, *Vitruvius, Text und Übersetzung,* (Buch 1-5), Gotha 1857), on corrige en *religatis* ; pour Krohn et Thielscher (F. Krohn, *Vitruvii de architectura libri decem*, Leipzig 1912), on propose *de latis* ou *e latis tabulis*.).

— *tunc cocleis rotis tympanis conlocatis locum qui ea saeptione finitus fuerit, exinanire siccareque* « avec des machines hydrauliques (vis d'Archimède, roue hydraulique, tympan), on videra et on asséchera l'endroit qui est délimité par la palissade (du coffrage) ».
— *ibi inter saeptiones fundamenta fodere* « creuser entre les parois les fondations ».
— *si terrena erunt, usque ad solidum crassiora* (*fundamenta*) *quam qui murus supra futurus erit, exinanire siccareque et tunc structuram ex caementis calce et harena complere* « si le fond est terreux, vider, aller jusqu'au solide et mettre à sec, sur une épaisseur plus grande que celle du mur qui doit être au-dessus, et alors remplir avec une maçonnerie de moellons, de chaux et de sable volcanique. »

La *structura* est donc une maçonnerie concrète comme on le fait sur terre : la base du môle est une fondation, sur laquelle on peut bâtir (5, 12, 6). Le *caementum* peut être évidemment un tuf volcanique, ou d'autres types de pierre, qu'il serait possible de trouver localement.

▪ *Fabrications des môles d'après les données archéologiques (Side, Césarée)*

Les données archéologiques montrent que les trois méthodes furent plus ou moins utilisées en Méditerranée pour les sites de Side (Asie Mineure) et Césarée (Palestine).

Première méthode

Matériaux et outils

La pouzzolane est la poudre volcanique très fine qui permet à un béton de prendre sous l'eau [129]. Au vu de la finesse du matériau, qui est un limon au point de vue de la granulométrie, la courbe de Sötenich devient imprécise, puisque les mesures granulométriques ne sont pas indiquées en dessous de 0,25 mm. La cendre a été importée de Campanie pour les môles de Césarée [130]. Toujours pour Césarée, l'analyse des agrégats du béton hydraulique du port a montré qu'il s'agit de tuf volcanique, de pierre ponce, et que ceux-ci pourraient provenir des tufs de Césarée, de Pouzzoles, de Cosa, de Baïa, du lac d'Arverne, etc. Mais les méthodes d'analyse n'ont pas pu le déterminer. Pour le *stipes robusteus* « pieu/madrier et planchéiage jointif (entretoise)/banche de chêne-rouvre », H. Schläger explique que le chêne, de par sa densité lourde, coule bien dans l'eau. Ces pièces étaient enfoncées dans l'eau, mais selon les nécessités de l'approvisionnement, le chêne

[129] Blake 1947, pp. 41-44, pp. 308-318.
[130] Oleson, Branton 1992, pp. 49-67.

n'était peut-être pas la seule essence employée : à Césarée, on a utilisé pour les coffrages du pin, du sapin (*Picea europea*, *Pinus*, *Abies*) et du peuplier (*Populus*) [131].

Le coffrage

Pour les coffrages de bois (*arcae*) (Fig. 13), ceux-ci sont bâtis sur terre, puis amenés par remorquage jusqu'au lieu prévu. A Side, après le versement du béton hydraulique, le moule était perdu ou bien alors une partie était réutilisée dans une autre structure de moulage de bois [132].

Fabrication des môles

Pour les coffrages, des marques de bois sont visibles sur les blocs de béton à Cosa, Caesara, Side, Leptis Magna et probablement dans beaucoup d'autres ports romains. Pour Oleson et Branton, le versement d'un béton hydraulique dans une structure de bois en mer est une tâche difficile [133]. Déjà, le fait de le remorquer, puis le couler sur un terrain préparé ne devait pas être une besogne simple. De plus, il fallait que les structures de bois résistassent à la pression du béton versé.

Le coulage du béton pose des problèmes de logistique : comment les ouvriers le versaient-ils ? D'après Oleson et Branton, les variations de taille et d'irrégularité des tufs volcaniques ne sont pas le signe de l'emploi d'un tube par où le béton aurait été versé [134]. Une rigole en « u » aurait pu être employée. Le recours au panier volumineux à deux anses leur semble être un usage probable et l'on peut envisager le cas suivant : une couche de liant est coulée, puis par-dessus une couche de tufs volcaniques.

Deuxième méthode

H. Schläger pense que ce procédé fut appliqué à Side, plus particulièrement pour la partie sud-est du môle ouest du port sud. Les blocs ont 2,25 m de longueur et leur largeur varie entre 1,10 et 1,20 m. La datation serait de 200 *p. C.* L'ensemble compléterait une installation antérieure du II^{e} avant notre ère [135].

---

[131] Schläger 1971, p. 156 ; Oleson 1985, p. 168.
[132] Schläger 1971, p. 156.
[133] Oleson 1985, p. 171. Oleson, Branton 1992, pp. 56-58, 60-65.
[134] Oleson, Branton 1992, pp. 60-65.
[135] Schläger 1971, pp. 160-161 et fig. 9.

Troisième méthode

D'après Vitruve, la *structura* est un *opus caementicium* de fondation, semblable aux ouvrages terrestres, sur lequel on édifie des entrepôts, etc., mais H. Schläger n'a pas trouvé cet exemple de fabrication de môle à Side [136]. À Césarée, cette troisième méthode n'a pas été attestée en tant que telle, mais les fouilles ont montré qu'une technique de coffrage dérivée du système de double palissade a été employée.

J. P. Oleson fait plutôt la différence entre ce que décrit Vitruve et les jetées qu'on a découvertes dans le port. Les grands moules de Césarée étaient aussi constitués d'une double paroi et ne pouvaient pas être enfoncés au fond de l'eau : leur base était une lourde sablière basse. Au lieu de sacs d'argile pour empêcher l'eau de mer de pénétrer, comme préconisés par Vitruve, les ingénieurs romains ont mis du mortier pouzzolanique dans les cavités du moule biparti ; lors de l'engloutissement, cela permettait de contrôler la descente de la structure de bois jusqu'au fond [137]. Le mortier a un aspect bleu-vert et contient de larges particules de tuf, pierre ponce et de chaux. Les stries du béton montrent qu'il fut coulé dans les cavités dans un état semi-liquide [138]. De plus, cette sorte de moule n'était pas prévue pour être imperméable: en l'absence de plancher ou de pieux dépassant le niveau marin, l'eau de mer aurait filtré à travers le sable sous les traverses de liaison et aurait envahi la zone clôturée sitôt que celle-ci aurait été retirée.

La jetée de Césarée est un mélange des procédés vitruviens: double coffrage du troisième type et béton hydraulique, mentionné dans la première méthode. On peut supposer qu'à cause de la nature du fond marin, les ingénieurs romains ont adapté leur mode de construction à la configuration du terrain. Dans le chapitre douzième du livre V, Vitruve précise ce qu'il avait écrit en 2, 6, 6, à savoir que la pouzzolane est employée uniquement pour les ouvrages maritimes et les sables volcaniques pour les édifices ordinaires : la cendre rocheuse est bien utilisée dans les môles de Césarée et confirme donc le texte du traité d'architecture.

Les deux notices techniques de 8, 6, 14 et de 5, 12, 3-4 sont assez détaillées pour qu'il soit possible de distinguer les phases de construction sans trop de difficulté. Elles décrivent l'érection de deux maçonneries concrètes, l'une terrestre et l'autre marine. Déjà, en 2, 6, 6, Vitruve avait fait la différence entre les bâtisses effectuées sur la terre ferme (*in terrenis aedificiis*) et les ouvrages en mer (*in maritimis molibus*). La précision des notices s'explique par la présence de la chaux dans le mode opératoire et l'insistance sur le mélange intime avec un

[136] Schläger 1971, p. 160.
[137] Oleson 1985, pp. 167-170 ; Oleson, Branton 1992, pp. 60-65 et 66. J. P. Oleson (p. 171) pense que le pieu (*destina*) était placé à l'intérieur de la double paroi - l'argile était *inter destinas* - ce qui n'est pas le cas de la figure 8 de H. Schläger.

réactif (pouzzolane, sable volcanique) lequel est indispensable pour la prise de la *structura caementicia*. De plus, l'application de la courbe de Sötenich permet de déduire la quantité des agrégats dans le liant.

3.4. Exposé taxinomique des *structurae caementiciae* dans le huitième chapitre du livre II (2, 8, 1-2, 5-7)

Le huitième chapitre du livre II inventorie des techniques de construction et plus particulièrement des types d'appareil [139]. Les citernes signiennes et les môles répondent de toute évidence à des exigences de solidité et d'utilité : l'agrément de ces ouvrages d'art reste secondaire dans le discours vitruvien, puisque ces derniers sont enterrés ou submergés. En revanche, les appareils architecturaux du chapitre huit sont d'usage plus courant et peut-être à cause de cela, doivent se conformer, non seulement à ces deux exigences, mais aussi à la troisième : la beauté. Le théoricien énumère, juge et classe ces *structurae caementiciae* d'après ces critères. Alors qu'en 2, 7, 1, le moellon n'était qu'un matériau utilitaire, extrait des carrières, (*caementorum copiae*), le *caementum* acquiert ici une légitimité : il devient un élément structurant et esthétique, qui hiérarchise les maçonneries entre elles.

3.4.1. *Genus incertum* et *genus reticulatum* d'après Vitruve (2, 8, 1)

La description des parements forme le début du huitième chapitre du livre II. Le théoricien s'intéresse à l'appareil incertain qui est ancien et au réticulé qui est utilisé à son époque, et il juge plus précisément leur solidité et leur aspect esthétique : « Celui des deux appareils qui a la plus belle apparence est le « réticulé » […]. Les moellons de l'*incertum* (*incerta caementa*), prenant appui l'un sur l'autre et s'imbriquant, donnent une maçonnerie peu esthétique, mais plus solide que celle de l'*opus reticulatum* » [140]. Chacune des deux maçonneries a ses qualités et ses défauts et le point de vue vitruvien n'est pas celui de l'archéologue moderne.

- ***Qualités et défauts du* genus reticulatum**

---

[138] Oleson 1985, p. 168.

[139] Un appareil est une maçonnerie faite d'éléments posés et non jetés, mise en œuvre dans une construction. Cette définition exclut le béton et le blocage, et en général tous les « assemblages » comportant des éléments dont aucun n'est mis en place par une décision individuelle. Le béton ou blocage, entre deux parements (appareils), est alors appelé alors un « remplissage » : Ginouvès, Martin 1985, pp. 52 et 94.

[140] Vitr. 2, 8, 1 : *Structurarum genera sunt haec : reticulatum, quo nunc omnes utuntur, et antiquum, quod incertum dicitur. Ex his uenustius est reticulatum, sed ad rimas faciendas ideo paratum quod in omnes partes dissoluta habet cubilia et coagmenta. Incerta uero caementa alia super alia sedentia inter seque imbricata non speciosam, sed firmiorem quam reticulata praestant structuram.* Trad. L. Callebat.

L'appareil réticulé (*genus reticulatum*) est élégant (*uenustum*), mais il a tendance à faire des lézardes (*ad rimas faciendas paratum*), car les joints de lits et les joints montants s'écartent en tous sens (*in omnes partes dissoluta habet cubilia et coagmenta*) [141].

▪ ***Qualités et défauts du* genus incertum**

L'*opus incertum* est une maçonnerie peu gracieuse (*non speciosam structuram*) mais elle est plus solide que celle de l'*opus reticulatum* (*firmiorem quam reticulata caementa praestant structuram*). Pour notre théoricien, les moellons de l'appareil incertain prennent appui les uns sur les autres et s'imbriquent (*incerta caementa alia super alia sedentia inter seque imbricata*).

Vitruve définit le réticulé et l'incertain avec le terme *structura* « maçonnerie ». Dans la littérature archéologique, on donne le nom d'*opus* aussi bien à la structure dans son ensemble (*opus caementicium*) qu'à ses faces parementées (*opus incertum*, *opus reticulatum*, etc.) [142]. Pour Vitruve, en 2, 8, 7, les parements (*crustae frontium*) se distinguent de l'*opus caementicium* (*media fartura*).

Chaque parement (réticulé ou incertain) devrait se définir par son plus petit élément, le *caementum*. Si le premier syntagme est *caementa incerta*, le second devrait être *caementa reticulata*, mais *caementa* est sous-entendu et on a seulement *reticulata*. En 2, 8, 1, ils pourraient désigner, sous un sens figuré, l'*opus incertum* et *reticulatum*.

▪ ***Caementa incerta***

L'incertain ou *opus incertum* se définit comme un appareil mettant en oeuvre des cailloux et/ou des blocs de forme irrégulière, sans qu'on puisse y distinguer des assises bien différenciées (Fig. 3) [143]. Vitruve décrit les *caementa incerta* comme « prenant appui les uns sur les autres et s'imbriquant ». Le verbe *imbricare* signifie « imbriquer, disposer comme des tuiles » : les *caementa* de l'appareil incertain vitruvien ne sont pas des moellons de taille informe, mais des moellons travaillés sur plusieurs faces de dimensions assez voisines avec des arêtes qui se trouvent assez fréquemment en contact [144].

▪ ***Caementa reticulata***

Le réticulé est un appareil fait de moellons travaillés en forme de petites pyramides tronquées, dont la disposition à 45 ° de l'horizontale dessine sur le mur comme un filet (Fig.

---

[141] Sur le scepticisme de Vitruve à l'égard de l'*opus reticulatum* : Lugli 1957, p. 370 sq.
[142] Ginouvès, Martin 1985, pp. 50-55.
[143] Ginouvès, Martin 1985, p. 95. La bibliographie sur l'*opus incertum* est immense : Blake 1947, pp. 227-251 ; Lugli 1957, pp. 445-483 ; Rakob 1976 ; Adam 1995, pp. 139-141.

5) [145]. Pour Vitruve, l'*opus reticulatum* donne un appareil élégant, mais l'agencement des *caementa*, dans une assise avec des joints de lits et des joints montants, lesquels s'écartent en tous sens (*dissoluta habet cubilia et coagmenta*), génère des lézardes. En architecture, on définit le *joint* comme la rencontre dans une construction entre deux éléments (le moellon ou la pierre de taille). Le joint entre deux pierres peut être pourvu de mortier ou en être dépourvu (joint vif). Le terme latin *cubile* dont c'est ici la première occurrence, désigne le « joint de lit », c'est-à-dire le joint horizontal entre deux blocs superposés d'une assise à l'autre. Par extension, *cubile* dénote aussi le « lit d'attente » : le dessus du bloc avant sa mise en oeuvre dans un mur ou avant son recouvrement par une assise. Le *coagmentum* est le « joint montant », à savoir le joint qui suit une direction verticale ou oblique [146].

Vitruve ne parle pas de la fabrication des parements et il se contente d'indiquer les avantages et les inconvénients des appareils incertains et réticulés. Il préfère l'*opus incertum* qui donne une maçonnerie plus ferme. Il commet une erreur de jugement, car la solidité de la *structura caementicia* dépend surtout de la qualité du liant et non pas de son esthétique [147]. Le théoricien est victime des valeurs héritées de ses sources grecques, où tous les critères sont établis en fonction de la pierre de taille. Ainsi selon P. Gros : « Ce "progrès" [de la standardisation des moellons] constituait manifestement à ses yeux une décadence, en ce qu'il excluait les *structores*, les maçons traditionnels, et les tailleurs de pierre, au profit d'une horde de manœuvres, le plus souvent de condition servile, qui ne maîtrisaient plus un véritable métier du bâtiment, mais produisaient des moellons dont ils pouvaient tranquillement ignorer l'usage. » [148] Mais la réticence vitruvienne peut aussi renvoyer à de mauvaises pratiques édilitaires de l'époque républicaine.

3.4.2. Comparaison avec la nomenclature archéologique (*opus incertum*, *quasi-reticulatum*, et *reticulatum*)

- ***L'appareil incertain***

C'est en fait l'épiderme de l'*opus caementicium*, montrant des moellons de taille informe comme ceux de la structure interne, qu'on a seulement pris soin de dresser grossièrement sur leur face externe, ou dont on a abattu les angles les plus saillants. Ce type

---

[144] Ginouvès, Martin 1985, pp. 55 et 95.
[145] Ginouvès, Martin 1985, p. 95.
[146] Ginouvès, Martin 1985, pp. 103, 133, n. 34 ; pp. 58, 103, 104 ; Callebat, Fleury 1995, p. 43 ; *Vitruve II*, p. 117, n. 2.
[147] *Vitruve II*, pp. 112-113, n. 5.
[148] *Vitruve II*, *Introduction*, p. LV.

de parement est donc aussi ancien que la *structura caementicia* elle-même, et remonte pour ses premières apparitions à la fin du III^e^ siècle *a. C.*

Mais si l'on regarde attentivement le texte du traité, l'incertain décrit n'est pas cet épiderme grossier d'un *opus caementicium* : les *caementa incerta* « prennent appui les uns sur les autres et s'imbriquent ». Les *caementa* de l'appareil incertain vitruvien ne sont donc pas des moellons informes, mais des moellons travaillés sur plusieurs faces de dimensions assez voisines [149]. Ainsi, on peut rattacher le modèle vitruvien de *genus incertum* à différentes variantes de l'appareil incertain :

— l'incertain régulier : il utilise des moellons à face travaillée de parement, pratiquement de même grandeur, avec des arêtes qui se trouvent assez fréquemment en contact. Il correspond à l'*incertum* deuxième manière, comme le définit G. Lugli [150].

— l'incertain soigné : il emploie des moellons travaillés sur plusieurs faces, mais dont les joints assez fins ne dessinent pas un schéma géométriquement reconnaissable. Il coïncide avec l'*incertum* troisième manière de G. Lugli.

Pour notre théoricien, le mode dont le *caementum incertum* est taillé et posé dans l'assise, garantit une maçonnerie solide (*firmior structura*). Le *genus antiquum* semble être le véritable nom de l'appareil incertain, lequel a la préférence de l'architecte par rapport aux autres types de parements. Son aspect grossier et donc « traditionnel » est le gage de sa solidité: il correspond à la sagesse « rustique » des Anciens, dont les maximes sont si souvent rappelées dans le *De architectura* (6, *pr*. 6 ; 7, *pr*. 1 ; 10, 1, 4, etc.). Il retrouve ainsi Varron (2, *pr*. 1), qui traduit dans l'*Economie rurale* (2, *pr*. 1) la supériorité sur ses contemporains des glorieux aïeux (*uiri magni nostri maiores*). Dans la phrase *reticulatum*, *quo nunc omnes utuntur*, *et antiquum*, *quod incertum dicitur*, l'opposition implicite entre *nunc* et *antiquum* exprime des valeurs « traditionnelles » [151].

▪ *L'appareil réticulé*

Pour notre théoricien, le parement réticulé (Fig. 5) est universellement adopté (*quo nunc omnes utuntur*) : le premier exemple d'*opus reticulatum* parfait mis en oeuvre sur de grandes parois dans un contexte monumental est fourni par le théâtre de Pompée (60-55 *a. C.*), ce qui correspond aux époques de formation et d'activité de Vitruve. D'après P. Gros, le *nunc* « maintenant » renvoie à une période de temps assez large, vraisemblablement le troisième quart du I^er^ siècle *a. C.* Pour Vitruve, le réticulé donne un appareil élégant. Lorsqu'il parle des lézardes obliques qui risquent, selon lui, de dégrader rapidement les

[149] Ginouvès, Martin 1985, pp. 55 et 95.
[150] Lugli 1957, p. 449.

murs en *opus reticulatum*, il pose tout de même indirectement un problème réel, celui de l'arrêt des angles saillants. La question avait été résolue assez tôt, dès les années 50-40 *a. C.*, par des chaînages d'angle faits de moellons ou de briques assisés horizontalement ; mais dans la mesure où ils créaient une nouvelle rupture dans l'unité structurelle, ils ne pouvaient satisfaire le théoricien. D'après P. Gros, puisque Vitruve est habitué aux notions des maçonneries classiques, il applique au réticulé des concepts qui ont été conçus exclusivement pour les appareils « horizontaux » : cela montre qu'il n'a pas saisi, ou n'a pas voulu saisir, la particularité structurelle de ce parement [152].

Le *caementum reticulatum* est un moellon possédant une face de joint pyramidale avec une queue abattue ou non [153]. Cette forme géométrique assure une pénétration dans le blocage interne qui garantit une meilleure cohésion de celui-ci et des parements. Le moellon est normalement taillé dans le tuf avec des dimensions plus ou moins voisines [154].

- ***L'appareil quasi-reticulé***

Dans la typologie des parements, on note un appareil qui n'est pas mentionné dans la notice du traité : l'appareil quasi-réticulé ou *opus quasi reticulatum* (Fig. 4). Celui-ci est un appareil intermédiaire entre l'incertain et le réticulé : il est fait de moellons travaillés sur plusieurs faces, plus ou moins quadrangulaires ou trapézoïdaux avec des joints obliques par rapport à l'horizontale. Il tient du *genus antiquum* et du *genus reticulatum* en termes vitruviens. Il est normal de considérer cet appareil comme une transition technique entre ces deux parements. Les premières tentatives pour améliorer l'ordonnance des moellons de façade remontent à la seconde moitié du II^e^ siècle av. J.-C. A Rome, ce sont la *porticus Metelli* (146 *a. C*), la restauration du *lacus Juturnae* (116 *a. C*), les *horrea Galbana* (110-120 *a. C*), la Maison des Griffons (100 *a. C*). La rupture avec l'*incertum* intervient au moment où les joints obliques commencent à apparaître, quelles que soient l'irrégularité des « losanges » et l'épaisseur rémanente du mortier intermédiaire. En ce sens, il faut considérer que Vitruve, qui pense en termes de structure, intègre dans sa définition du *genus reticulatum* ce qu'on appelle le *quasi reticulatum* (Fig. 4) [155]. C'est ce qu'écrit P. Gros : « Même en admettant que le

---

[151] *Vitruve II*, pp. 109-113, n. 3 et 5.
[152] *Vitruve II*, pp. 110-112, n. 4.
[153] Ginouvès, Martin 1985, p. 55, planche 4, et p. 95.
[154] G. Lugli (1957, p. 501) propose la typologie suivante du *caementum reticulatum* : type A, de 5 à 6 cm de côté ; type B, de 6 à 6,5 cm ; type C, de 6,5 à 7cm ; type D, de 7 à 7, 5cm ; type E, de 7, 5 à 8 cm ; type F, de 8 à 8, 5cm ; type G, de 8,5 à 9 cm ; type H, de 9 à 9,5 cm ; type I de 9 à 10 cm ; type L, au dessus de 10 cm de côté.
[155] Sur l'ensemble de ces questions : Blake 1947, pp. 251-275 ; Lugli 1957, pp. 487-526 ; Coarelli 1977; F. W. Deichmann, « Westliche Bautechnik im römischen und rhömaischen Osten », *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Mitteilungen*, 86, 1979, pp. 473-527; Torelli 1980, pp. 139-162 ; Rakob 1983; Adam, 1995, pp. 142-146 ; Giuliani 1990, pp. 179-180 ; Lamprecht 1996, pp. 38-42 ; *Vitruve II*, p. 109, n. 2.

reticulatum au sens rigoureux du terme se constitue à l'époque des Gracques, il est clair que le *nunc* du texte de Vitruve [2, 8, 1] doit être pris dans une acception assez large : au moment où il rassemble sa documentation, l'*opus reticulatum* en tant que technique accomplie est un fait acquis depuis plus d'un demi-siècle ; s'il le présente comme un revêtement expérimental et lui oppose les avantages de l'*opus antiquum*, c'est que sans doute la documentation écrite dont il dispose date encore d'une période où la mise en œuvre du réticulé posait des problèmes, indépendamment du fait qu'il a pu lui-même éprouver quelque difficulté en l'utilisant. » [156]

3.4.3. Les *structurae* grecques et romaines (2, 8, 5-6)

Après avoir exposé ses idées sur les procédés de la *structura caementicia*, le théoricien va inventorier et comparer, en trois paragraphes, les techniques grecques et romaines de maçonnerie. La différence entre les méthodes romaines et grecques d'assemblage, que n'indique pas Vitruve dans son chapitre 8, consiste, par exemple, en l'utilisation, pour les Grecs, de blocs ou de moellons quadrangulaires parallélépipédiques dont la valeur esthétique est un gage de solidité visible. De plus, quand il s'agit de bâtir un ouvrage de type *emplecton*, les maçons romains semblent plus soucieux de rapidité que de qualité, à l'inverse de leurs collègues hellènes.

- ***Généralités sur les maçonneries grecques et romaines (2, 8, 5) ; syntagmes techniques***

Selon notre théoricien, les Grecs n'utilisent pas, à l'inverse des Romains, « une maçonnerie plastique faite de moellons à parements dressés (*e molli caemento structura polita*), mais quand ils n'ont pas recours à la pierre de taille, ils disposent des rangées de pierre de silex et d'autres de pierres dures et font alterner d'assise à assise les joints montants, comme pour la maçonnerie d'un appareil de briques : ils obtiennent ainsi une solidité parfaite et inaltérable. » Vitruve poursuit : « Ces structures sont de deux types : la première est dite *isodomum*, la seconde *pseudisodomum*. » [157]

---

[156] *Vitruve II*, *Introduction*, p. LIII.

[157] Vitr. 2, 8, 5 : *Itaque non est contemnenda Graecorum structura ; non enim utuntur e molli caemento structura polita, sed cum discesserunt a quadrato, ponunt de silice seu lapide duro ordinaria, et ita uti latericia struentes alligant eorum alternis coriis coagmenta, et sic maxime ad aeternitatem firmas perficiunt uirtutes. Haec autem duobus generibus struuntur : ex his unum isodomum, alterum pseudisodomum appellatur*. Trad. L. Callebat.

Technique romaine

Le procédé romain d'*opus caementicium* est résumé en une brève phrase :
— *uti e molli caemento structura polita* « user de maçonnerie parementée en moellon tendre, se servir d'une maçonnerie plastique faite de moellons à parements dressés ».

Le *caementum molle* peut désigner la qualité de la pierre, mais aussi, par synecdoque, la plasticité de l'ensemble moellons-mortier, qui caractérise l'*opus caementicium*. L'adjectif *mollis* est usité en 2, 7, 5, avec l'expression désignative à deux termes *lapidicinae molles* qui qualifie les carrières de tufs volcaniques tendres des environs de Rome (Grotta Oscura, de Monteverde, Paglia, Tor Cervara, Anio, Fidènes, Castel Giubileo). En 2, 8, 2, *potestas mollis et rara* dénote la nature tendre et poreuse des moellons et ceux-ci peuvent être extraits des mêmes carrières de tufs qu'en 2, 7, 5. De la sorte, *caementum molle* « moellon de tuf volcanique tendre » semble être l'agrégat le plus couramment utilisé pour la construction des murs : il paraît donc logique qu'il désigne par synecdoque la plasticité de l'ensemble moellons-mortier [158]. On retrouve *caementum molle* en 2, 8, 8. Quant à l'adjectif *polita*, qui accompagne *structura*, il peut s'appliquer aux parements « dressés », dont on a abattu les saillies *(opus incertum*) ou dont on a aligné les blocs au fil à plomb (*opus reticulatum*).

Technique grecque

D'après Vitruve, les maçons grecs n'ont pas recours forcément à la pierre de taille (*cum discesserunt a quadrato*).
— *ponere de silice seu lapide duro ordinaria* « poser des assises de roches ou de pierres dures »
— *alligare eorum alternis coriis coagmenta ita uti latericia struentes* « alterner d'assises en assises les joints montants, en maçonnant comme des ouvrages de briques crues »

Le syntagme *cum discesserunt a quadrato* (*genere*) peut signifier ici « toutes les fois que les maçons grecs s'écartent de l'*opus quadratum* » et non pas que les Grecs ont abandonné, à l'époque hellénistique, l'*opus quadratum*. Selon P. Gros, le verbe au parfait de l'indicatif *discesserunt* est davantage « gnomique » que temporel et l'indicatif après *cum* incite à voir dans la conjonction l'équivalent d'un « toutes les fois que » [159]. On a donc une évocation de l'*opus quadratum* (ou plutôt *genus quadratum*), lequel est la méthode d'édification la plus traditionnelle et la plus noble : un appareil rectangulaire dont les blocs parallélépipèdes rectangles sont des pierres de taille assemblées en assises horizontales sans mortier (Fig. 2).

[158] *Vitruve II*, pp. 116-117, n. 1.
[159] *Vitruve II*, p 117, n. 2.

On peut comparer cette description des murs quadrangulaires, avec 2, 3, 4, qui dépeint plus en détail la manière dont une paroi d'adobe (*opus latericium*) est maçonnée : « Dans une maçonnerie, on dispose, d'un côté, une rangée de briques crues (*lateribus ordines*), et de l'autre côté, des demi-briques (*semilateres*). On les maçonne de niveau, de chaque côté, la liaison des murs est assurée par une disposition alternée de leurs assises (*alternis coriis parietes alligantur*) et le milieu de chaque brique porte sur un joint montant (*et medii lateres supra coagmenta conlocati*). » [160] L'adobe a ici une forme parallélépipédique comme l'atteste le paragraphe 2, 3, 3. La comparaison avec les murs d'adobe prouve que les assises de pierre dure mentionnées en 2, 8, 5 sont aussi faites de blocs parallélépipédiques de roche assez indurée (*lapis durus*, *silex*) : leur configuration assure le couvrement régulier des joints verticaux (*coagmenta*) grâce à la superposition alternée des blocs d'une assise à l'autre que Vitruve nomme *alterna coria*. La différence entre les maçons grecs et romains est mise en évidence par le vocabulaire des pierres taillées : pour les Romains, on trouve un *caementum molle* « moellon de tuf volcanique tendre », tandis que pour les Grecs, le bloc parallélépipédique est en *lapis durus* ou en *silex*, comme le marbre, le calcaire compact, etc. On observe dans la description de 2, 8, 5, l'idée du couvrement des joints, et particulièrement des joints montants (*coagmenta*), couvrement qui est censé éviter la constitution des lézardes.

Vitruve reprend ce concept qui allie d'après lui esthétique et solidité. Il appelle cette technique tantôt *alterna coria* « assises alternées » tantôt *alterna coagmenta* « joints verticaux alternés » et il s'agit dans l'architecture classique d'une autre définition de l'appareil rectangulaire, appareil, dans lequel les blocs sont en forme de parallélépipède rectangle [161]. La conséquence esthétique de cette disposition est que, d'une rangée de pierre à l'autre, sur un plan vertical, les joints montants s'interrompent en rencontrant les joints horizontaux de la rangée supérieure ou inférieure des pierres de taille : c'est la forme murale décorative la plus universellement utilisée (en brique ou en pierre). Cette alternance régulière est un perfectionnement de l'appareil rectangulaire, que les Athéniens ont introduit à Délos [162].

D'après P. Gros, la description vitruvienne évoque des murs grecs en *opus quadratum* tels que Vitruve, et sa ou ses sources, les conçoivent, à savoir sans mortier. Pourtant, on se rend compte que les appareils sont tous pourvus d'un liant dans le paragraphe suivant de la notice. Pour Vitruve, l'adoption du mortier en milieu grec ou romain, est le signe de l'abandon des traditions architecturales pour une technique « industrielle » privilégiant la rapidité aux dépens de la structure et de l'esthétique d'une maçonnerie [163].

▪ *Les maçonneries grecques isodomes et pseudo-isodomes (2, 8, 6)*

[160] Trad. L. Callebat.
[161] Ginouvès, Martin 1985, p. 56, pp. 98-99.
[162] Vallois 1966, p. 64 et suivantes.
[163] *Vitruve II*, p. 117, n. 2.

Vitruve énumère les autres maçonneries grecques : « Les deux maçonneries grecques sont l'isodome et le pseudisodome. On parle d'*isodomum* lorsque toutes les assises ont été construites de même hauteur ; de *pseudo-isodomum*, lorsque les assises sont disposées de manière inégale et dissemblable. Ces deux types d'appareil sont solides : tout d'abord parce que les moellons eux-mêmes sont de texture compacte et cohérente (*caementa sunt spissa et solida proprietate*) et que, loin de pouvoir absorber l'humidité du mortier, ils conservent, au long des années, ce mortier dans son humidité ; parce qu'aussi la disposition même, régulière et de niveau, des joints de lit empêche que le mortier croule : les murs sont ainsi fermement assemblés et à jamais maintenus en un bloc cohérent sur toute leur épaisseur. » [164]

Selon le théoricien, un appareil est isodome lorsque toutes les assises auront été maçonnées à épaisseur égale (*omnia coria aequa crassitudine fuerint structa*). *Isodomum* est translitteré d'un ἰσόδομος , non attesté en grec ancien. Il peut dériver du grec δόμος , qui a le sens chez Hérodote (1, 179 et 2, 127) de « couche de brique » [165]. Le terme *crassitudo* fait référence ici au bloc en position dans le mur : dans ce cas, il s'agit de l'épaisseur du bloc. Notre théoricien ne donne pas d'autre information sur la dimension de la pierre, comme la longueur et la largeur. On sait que celle-ci est quadrangulaire, mais si l'on veut se lancer dans une classification de la forme du bloc, on s'aperçoit que celui-ci peut être aussi bien trapézoïdal que parallélépipédique (carré, rectangle). Ainsi, si l'on tente de classer la description vitruvienne dans la taxinomie archéologique, le résultat obtenu est curieux : en ne tenant pas compte de la présence de mortier dans la notice vitruvienne, la lexie complexe « appareil quadrangulaire isodome » (*genus isodomum*) sera l'hyperonyme d'un « appareil trapézoïdal isodome », ou d'un « appareil rectangulaire isodome imparfait », ou encore « appareil rectangulaire isodome ». En fait, tous ces grands appareils grecs existent, mais ils sont à joints vifs ; le seul parement pourvu de mortier pouvant correspondre à une réalité archéologique est l'appareil à moellons quadrangulaires (*opus vittatum*), lequel peut être isodome ; c'est une technique romaine et non grecque [166]. La taxinomie des *structurae* vitruviennes fait dire à P. Gros : « il serait vain de chercher des attestations archéologiques quand la description des appareils en question est appelée par la « logique » d'un système axiologique. » [167]

---

[164] Vitr. 2, 8, 6 : *Isodomum dicitur, cum omnia coria aequa crassitudine fuerint structa ; pseudisodomum, cum inpares et inaequales ordines coriorum diriguntur. Ea utraque sunt ideo firma primum quod ipsa caementa sunt spissa et solida proprietate neque de materia possunt exsugere liquorem, sed conseruant eam in suo umore ad summam uetustatem ; ipsaque eorum cubilia [primum] plana et librata posita non patiuntur ruere materiam, sed perpetua parietum crassitudine religata continent ad summam uetustatem.* Trad. L. Callebat.

[165] Sur sa signification exacte : Scranton 1941, pp. 18-19, n. 19. ; Chantraine 1990, *s. v.* δέμω , pp. 261-262, et s. v. δόμος , pp. 292-293.

[166] Ginouvès, Martin 1985, pp. 96, 98-99. Sur les grands appareils isodomes : Lugli 1957, p. 178 sq. ; Martin 1965, pp. 395 sq. et 400 sq. ; Adam 1995, pp. 114-123.

[167] *Vitruve II*, p. 118, n. 3.

Pour Vitruve, un appareil est pseudo-isodome quand les rangées d'assises (*ordines coriorum*) sont disposées de manière inégale et dissemblable (*inpares et inaequales*). Dans une volonté de diversifier son style par rapport à la phrase précédente, Vitruve use d'une *variatio sermonis* (variation du discours). L'emploi de deux adjectifs synonymes (*impares* et *inaequales*) attributs d'*ordines* n'apporte pas de plus grande clarté que si l'auteur n'en avait utilisé qu'un seul. Le parement grec quadrangulaire pseudo-isodome peut correspondre à un appareil romain à moellons quadrangulaires dont les assises sont inégales.

Ainsi, pour les appareils grecs isodomes et pseudo-isodomes, l'*opus vittatum* romain, décrit dans la littérature archéologique, peut être un bon exemple descriptif. Ce parement à moellons quadrangulaires possède des moellons travaillés qui sont parallélépipédiques, et disposés en assises horizontales avec une volonté évidente de faire alterner les joints. Dans cette maçonnerie, les assises peuvent être de hauteur égale (isodome) ou inégale (pseudo-isodome), et l'on peut trouver des épaisseurs décroissantes du bas vers le haut [168]. Dans son aspiration à montrer la supériorité de la *Graecorum structura* sur la *structura caementicia* romaine, le théoricien énumère des appareils dont l'attestation archéologique est problématique et paradoxale : ici la définition qu'il donne des parements grecs isodomes et pseudo-isodomes à mortier coïncide avec l'*opus vittatum* développé dans l'architecture romaine.

▪ *Les* caementa « *moellons* » *et les* cubilia « *joints de lit* »

La supériorité des appareils grecs réside essentiellement dans la nature et la forme des moellons. D'abord, le caractère compact et cohérent (*spissa et solida proprietas*) de la pierre dure (*lapis durus*, *silex*) fait que les *caementa* n'absorbent pas l'élément liquide (*liquor*, *umor*) du liant (*materia*) : celui-ci a tout le temps de prendre. L'emploi de roche dure et dense, comme les laves, les calcaires compacts et les marbres, est donc une solution à une *ieiunitas*, menaçant, selon Vitruve, les *structurae caementiciae* (2, 8, 2-3). Ce sont ces mêmes pierres qu'on utilise pour les grands appareils à joints vifs. Ensuite, les *caementa* sont de forme parallélépipédique comme dans le *genus quadratum* : ce sont alors des moellons d'appareil avec des faces de joints en retour d'équerre. Leurs joints de lits sont horizontaux [169] : pour le théoricien, l'horizontalité rigoureuse des *cubilia* « joints de lit » est un gage de stabilité, y compris pour le mortier. Par conséquent, cette notation est destinée à avertir du caractère « dangereux » des joints obliques de l'appareil réticulé, si le mortier est de mauvaise qualité.

Cubile désigne le joint de lit (2, 8, 1 ; 2, 8, 4 ; 2, 8, 6 ; 4, 4, 4) et l'assise (5, 5, 1). *Cubilia* « joints de lits » a pour attributs plusieurs adjectifs et syntagmes adjectivaux : *plana* « plats,

[168] Ginouvès, Martin 1985, p. 96 ; Adam 1995, pp. 147-151. Sur la structure pseudo-isodome : Martin 1965, p. 386 sq. ; Ginouvès, Martin 1985, p. 99.

horizontaux », *librata posita* « nivelés, de niveau » et *religata crassitudine perpetua parietum* « se reliant dans toute la profondeur des murs ». Si *crassitudo* exprime l'épaisseur, la hauteur du bloc dans la construction, il est usité ici dans un syntagme désignant la dimension perpendiculaire au parement, qui est la profondeur : *religata crassitudine perpetua parietum* serait alors l'équivalent des syntagmes latins *in agrum*, *in agro* pour qualifier cette notion de « profondeur » du mur [170]. Dans le vocabulaire vitruvien, *perpetuus* dénote un élément d'un seul tenant, qu'il s'agisse d'un tronc d'arbre comme en 2, 1, 4 ou d'une maçonnerie (2, 8, 7).

La supériorité des appareils grecs (*Graecorum structurae*) tient en quelques points. D'abord, les *caementa ex silice seu lapide duro* « moellons d'appareil en pierre dure », qui sont fait de calcaire dur, lave, etc. La texture compacte et cohérente de ces roches n'est pas poreuse et celles-ci n'absorbent pas l'eau du liant. Ensuite, la forme parallélépipédique des moellons fournit des faces horizontales et garantit des lits d'attente et de pose plats et nivelés (*cubilia plana*, *posita librata*). Ainsi, il est possible d'alterner les joints verticaux (*coagmenta*), ce qui ajoute à la beauté du mur. La nature et la configuration des *caementa* sont assurément les clefs de la stabilité de la maçonnerie grecque.

3.4.4. L'*emplecton* (2, 8, 7) : une maçonnerie à l'aspect tressé

Vitruve (2, 8, 7) expose enfin une technique constructive commune aux maçons grecs et romains, appelée en grec ἔμπλεκτον , dont se servent aussi les paysans italiques : « Les faces de parements (*frontes*) sont dressées, les autres pierres (*reliqua*) sont placées, à l'état brut, avec le mortier (*uti sunt nata*, *cum materia conlocata*) et assemblées à joints alternants (*alternis coagmentis*). Par souci cependant de rapidité, les Romains ne font de finition que pour les parements (*frontibus seruiunt*) en plaçant les pierres de chant (*erecta conlocantes*), et ils remplissent par ailleurs l'espace intermédiaire d'un mélange de fragments pierreux et de mortier (*in medio farciunt fractis separatim cum materia caementis*). On lève (*suscitantur*) donc trois sections (*tres crustae*) dans cette maçonnerie, deux de parement (*duae frontium*) et une, au milieu, de remplissage (*una media farturae*). Il n'en va pas ainsi cependant chez les Grecs : disposant les blocs à plat (*plana conlocantes*) et les agençant alternativement en longueur et en profondeur (*longitudines eorum alternis in crassitudinem instruentes*), ils ne font pas de remplissage intérieur (*non media farciunt*), mais établissent solidement, d'un bloc de parement à l'autre, une profondeur continue et cohérente du mur (*e suis frontatis perpetuam et* [*in*] *unam crassitudinem parietum consolidant*). De plus, les Grecs intercalent de place en place (*interponunt singulos*), sur toute l'épaisseur du mur, des blocs à double parement (*utraque*

[169] Martin 1965, p. 190 sq. et p. 238 sq. ; Ginouvès, Martin 1985, pp. 55, 58, 103.
[170] Ginouvès, Martin 1985, pp. 61-62 ; Callebat, Fleury 1995, p. 43.

parte frontatos) qu'ils appellent διατόνοι " parpaings " [171] et qui, assurant une excellente cohésion, confortent la solidité des murs (*qui maxime religando confirmant parietum soliditatem*). » [172]

L'*emplecton* est donc constitué de trois sections (*tres crustae*). D'après P. Gros, le terme *crusta* « section » n'a pas une connotation positive : la structure ainsi formée n'aurait pas de véritable cohésion du fait de l'absence de liaison entre ses composantes. Le parement (*frons*) est le revêtement de la construction, mais il désigne aussi dans le texte, la face du « remplissage » : *frons* se rapprocherait alors d'un « parement couvert », même si le couvrement veut occulter un appareil considéré comme inférieur à l'effet souhaité. Quant à *fartura*, il s'agit du remplissage situé entre les deux parois d'une structure complexe, qui peut être en béton, etc. [173]. Dans le syntagme nominal *reliqua*, *uti sunt nata*, « quant aux autres pierres, comme elles sont extraites », l'adjectif neutre pluriel *reliqua* « les autres (pierres) » peut se rapporter à *caementa* « moellons, cailloux » qu'on trouve plusieurs fois dans le chapitre 8 du livre II, ou à *saxa* « pierres », qui n'est pas usité dans ce chapitre : les deux substantifs peuvent se substituer l'un à l'autre, mais *caementa* peut être le nom le plus probable.

La méthode grecque d'édification est assez détaillée, puisque ce procédé a les faveurs de Vitruve. D'abord, bâtir une maçonnerie intermédiaire à joints verticaux alternés - vraisemblablement sous la forme d'un appareil rectangulaire - est une caractéristique de la conscience professionnelle des maçons grecs, par opposition à la recherche de la rapidité des promoteurs italiques, même si le texte de Vitruve n'est pas clair sur la spécificité géographique. Le syntagme verbal (*saxa*/*caementa*) *alligare alternis coagmentis* « assembler (les pierres) à joints montants alternés » dénote l'alternance des joints montants (*alterna coria* « assises alternées », *alterna coagmenta* « joints montants alternés »), et ce concept donne de la beauté à une construction, qui doit répondre à trois exigences, que Vitruve a définies en 1, 3, 2 : la solidité (*firmitas*), l'utilité (*utilitas*) et la beauté (*uenustas*). On peut rapprocher l'idée des joints verticaux avec le nom même de l'*emplecton*. Si, pour la littérature archéologique, celui-ci est un remplissage entre deux parements, à l'inverse, au sens propre *emplecton* est formé sur le verbe ἐμπλέκω « tresser » et désigne, comme ἔμπλεξις , l'action d'entrelacer ou de tresser. Cette étymologie semble présente à l'esprit de Vitruve qui insiste, à la phrase suivante, sur le fait que la structure en question se définit par une alternance de cailloux et de mortier, dont chaque couche d'agrégats s'efforce de combler les vides laissés au niveau inférieur par la couche précédente. D'après P. Gros, il est possible que, dans ce contexte, le théoricien fasse du verbe *alligare* « lier, relier, assembler », implicitement le véritable

[171] Les *diatonoi* correspondent aux parpaings, lesquels sont les blocs dont les deux faces opposées sont visibles sur chaque parement du mur : Ginouvès, Martin 1985, p. 59, *Vitruve II*, pp. 122-123, n. 8.
[172] Trad. L. Callebat.
[173] Ginouvès, Martin 1985, pp. 52 et 127 ; Callebat, Fleury 1995, p. 43 ; *Vitruve II*, p. 122, n. 5.

équivalent sémantique du grec ἐμπλέκω « tresser, entrelacer » [174]. Dans l'absolu, *emplecton* peut se rapporter alors à toute maçonnerie dont les joints verticaux s'alternent, comme l'isodome et le pseudo-isodome et l'*opus latericium*.

Mais Vitruve donne le nom d'*emplecton* à une structure pourvue de trois parties. Selon sa description, à la différence des Romains, les Grecs ne remplissent pas l'espace intermédiaire (*non media farciunt*). Les trois sections de l'*emplecton* grec forment d'un parement à l'autre une épaisseur/profondeur cohérente et continue du mur (*e suis frontatis perpetuam et unam crassitudinem parietum consolidant*) : Vitruve décrit là, en fait, une structure à appareil rectangulaire disposant de parements assisés. Appliqué à la terminologie de l'architecture antique, l'*emplecton* grec à la mode vitruvienne ressemblerait (plus ou moins) à une maçonnerie de triples parements hétérogènes, c'est-à-dire à trois murs assisés collés les uns aux autres [175]. Plus en détail, à la différence de l'*opus caementicium*, que l'on dame de banchée en banchée, l'espace intermédiaire de l'*emplecton* grec est constitué d'assises faites de blocs disposés selon des systèmes de joints alternants classiques. Le syntagme verbal *saxa/caementa plana conlocare* « placer les blocs à plat » ne donne pas d'information sur la forme des pierres dans la *fartura* : il pourrait s'agir de moellons travaillés sur plusieurs faces, voire même de moellons d'appareil, à savoir quadrangulaires. Ainsi cette *fartura* « remplissage » pourrait être en petit appareil. Curieusement, dans la notice vitruvienne, le terme *caementa* est usité seulement pour la description du remplissage de l'*emplecton* romain. En outre, pour ce dernier, les blocs des parements sont caractérisés par des adjectifs employés seuls, comme *erecta* « (blocs) posés de chant » [176], *plana* « posés à plat », *conlocata* « placés » et des noms, dont ces adjectifs devraient être épithètes, sont en fait sous-entendus : dans l'esprit du théoricien, le terme *caementum* « moellon » est-il tout juste bon à désigner cette abondance de matériau (*caementorum copiae*), telle qu'il l'a décrite en 2, 7, 5 pour les *structurae caementiciae* romaines ? *Caementum* est-il un nom indigne d'être usité pour les murs grecs ? Cela semblerait être le cas.

L'architecte oppose les vertus de la technique grecque aux procédés expéditifs des maçons italiques qui sacrifient à la rapidité (*nostri studentes celeritati*). D'après P. Gros, ce passage donne à penser que Vitruve ne songe pas seulement aux paysans, mais qu'il fait allusion aux méthodes liées à l'importante spéculation immobilière dans la Rome du dernier siècle de la République [177]. À ce titre, *in medio fractis separatim cum materia caementis farcire* « remplir l'intervalle des parements au moyen de cailloux (employés) séparément avec du mortier, d'un mélange de fragments pierreux et de mortier » est instructif, car ce syntagme

[174] Tomlinson 1961 ; Winter 1971, pp. 136-137 ; *Vitruve II*, pp. 119-120, n. 1.
[175] Ginouvès 1992, pp. 30-33.
[176] Ginouvès, Martin 1985, pp. 56-60.
[177] Gros 1978, pp. 63-65.

constitue une définition précise de *fartura* « remplissage ». Le verbe *farcire* évoque l'idée d'un remplissage par bourrage, qu'on retrouve en 10, 14, 3 pour des sacs, contenant des algues, destinés à protéger une tortue de terrassier. L'adverbe *separatim* paraît indiquer une absence de mélange préalable des *caementa* concassés avec le mortier : pour l'ordre des opérations, on place le liant, puis les moellons et on tasse le tout (*calcare* : 2, 8, 3 et 8, 6, 14). Dans le procédé romain, l'édification des parois sert de coffrage à l'*opus caementicium*.

Vitruve envisage donc l'*emplecton* (grec ou romain) comme un mur à trois sections : un « remplissage », *fartura* entre deux parements (*frontes*). Le théoricien donne le choix entre deux méthodes, caractéristiques de deux peuples bâtisseurs. La première est romaine et cherche avant tout la rapidité d'exécution. Le remplissage de l'*emplecton* romain est un *opus caementicium*, qu'on dame peut-être, même si cela n'est pas indiqué. Cette maçonnerie romaine répond seulement à l'exigence d'*utilitas* (commodité, pratique). Les *caementa fracta* « fragments pierreux », employés dans le noyau central, sont mentionnés explicitement avec le mortier et les maçons romains ne sont pas disposés, semble-t-il, à obtenir des joints montants alternés, ce que regrette Vitruve. En ce sens pour le théoricien, le *caementum* n'est pas un matériau noble, comme la pierre de taille. La seconde méthode est grecque et sert de modèle théorique pour l'*emplecton*. Vitruve ne stipule pas les *caementa* et il utilise des adjectifs pour qualifier les agrégats et les blocs. Même si ces blocs et ces agrégats sont du tout venant (*uti nata sunt*, « tels quels » à la sortie de la carrière), et si on n'en précise pas la forme, ils sont adaptés (équarris, retaillés...) par le maçon, sur le chantier. Les trois sections de l'*emplecton* sont disposées en assises horizontales à joints montants alternants. Dans la description plus détaillée de l'*emplecton* grec, Vitruve peut suggérer que les pierres des parois et de l'espace intermédiaire sont peut-être aussi des moellons quadrangulaires. Il expose en fait, une structure à appareil rectangulaire pourvue de parements assisés qui rappelle beaucoup le mur à orthostates de 2, 8, 4. L'exigence de la beauté se retrouve dans le nom d'*emplecton* « maçonnerie à l'aspect tressé », qui caractérise à la fois son esthétique et sa technique d'assemblage à joints montants alternés.

On considère archéologiquement que l'*emplecton* est une maçonnerie tripartite : un remplissage (terre et cailloux, puis chaux) et deux parements de blocs appareillés (polygonaux ou quadrangulaires). Elle apparaît en Grèce dès la fin du VII^{e} siècle av. J.-C. C'est une technique qui précède l'*opus caementicium* : la chaux est de qualité médiocre dans le noyau central et celui-ci n'est pas damé [178].

[178] Martin 1965, p. 373 et suivantes ; Blake 1947, pp. 326-327 ; Orlandos 1966, pp. 122-126 ; Lugli 1957, pp. 178-180 ; *Vitruve II*, pp. 119-120, n. 1.

3.5. Le concept de « maçonnerie plastique » (*caementum molle*) (2, 8)

Avec 2, 8, 8, Vitruve achève sa description des *structurae caementiciae* avant de passer en revue en une longue digression le site d'Halicarnasse, qui constitue la fin du chapitre 8. Pour le théoricien, « si un lecteur veut donc étudier et choisir un type d'appareil (*genus structurae*) à partir des notes de ce chapitre 8 (*ex his commentariis*), il pourra savoir sur quoi est fondée sa pérennité. Aucun appareil de maçonnerie plastique (*quae sunt e molli caemento*), d'une esthétique élégante et séduisante, ne peut en effet, avec le temps, échapper au délabrement. » [179]

Comme en 2, 8, 5, on retrouve *caementum molle*, qui désigne le moellon tendre, qui est extrait des tufs volcaniques dans Rome ou dans ces environs, ainsi que Vitruve l'expose en 2, 7, 5. Comme indiqué *supra*, l'adjectif *mollis* dénote sous un sens figuré, la plasticité de l'ensemble moellons-mortier, qui caractérise l'*opus caementicium* et les remplissages. Pour le théoricien, même si les parements en réticulé créent une impression de beauté (*subtili facie uenustatis*), les *structurae caementiciae* ne sont pas des maçonneries durables. L'idée de l'écroulement d'une construction (la *ruina* est en latin le résultat d'un séisme ou d'un incendie) s'exprime dans les mêmes termes qu'en 2, 8, 2 : *sed in uetustatem parietes efficiunt ruinosos* « de sorte que les murs finissent par s'écrouler » [180].

L'exposé taxinomique en 2, 8, 1-3 et 2, 8, 5-8, se place sous le signe des exigences de l'*utilitas*, de la *uenustas* et de la *firmitas* dont les modèles architecturaux sont grecs. La chaux, qui est présente dans les notices détaillées (5, 12, 3-4 ; 8, 6, 14), n'est pas mentionnée ou alors allusivement dans le compte-rendu classificateur : la lexie complexe *caementum molle* désigne par synecdoque la *structura caementicia* elle-même. Vitruve énumère des techniques de maçonnerie dont l'esthétique et la stabilité vont de pair. Ainsi, la solidité d'une construction dépend essentiellement de la forme du moellon et de son ordonnance dans les assises et les rangées : la supériorité des Grecs sur les maçons romains est le signe d'un procédé d'édification qui ne triche pas avec les exigences architecturales. Le *caementum* idéal, d'un point de vue de l'esthétique et de la technique, est le moellon d'appareil dont les arêtes forment des joints horizontaux et verticaux.

4. Conclusion

L'étude des occurrences de *caementum* « caillou, moellon » couvre une part importante du champ notionnel de l'architecture concrète romaine et grecque. On a ainsi une description des carrières, où l'on extrait les moellons et les pierres de taille, et une peinture

[179] Trad. L. Callebat.
[180] *Vitruve II*, p. 116-117, n. 1 et p. 123, n. 2.

des réactions chimiques lorsque les blocs de tuf volcanique sont en contact avec la chaux, et enfin un inventaire des appareils architecturaux (réels et supposés) des Grecs et des Romains. En unité lexicale simple, *caementum* désigne, selon le contexte un moellon équarri ou travaillé sur plusieurs faces (1, 2, 8 ; 1, 5, 8 ; 2, 5, 3 ; 2, 7, 1 ; 2, 8, 2 ; 2, 8, 3 ; 2, 8, 6 ; 2, 8, 8 ; 5, 5, 7 ; 5, 12, 3-4).

En unité lexicale complexe, *caementum*, accompagné d'un adjectif, d'un participe passé ou d'un syntagme nominal, qualifie un bloc ayant une forme ou une nature particulière :

- *incerta caementa* « moellons de l'*opus incertum* » (2, 8, 1) ;
- *fracta caementa* « fragments pierreux, cailloux cassés » (2, 8, 7) ; on peut isoler le syntagme verbal : *frangere camenta* « concasser des moellons » (2, 8, 7 ; 8, 6, 14).
- *caementa marmorea* « éclats de marbre » (7, 6, 1) ;
- *caementum ne grauius quam librarium* « éclat qui ne pèse pas plus d'une livre » (8, 6, 14).

Molle caementum désigne par métonymie la maçonnerie concrète (2, 8, 5 ; 2, 8, 8). On a deux adjectifs au neutre pluriel où *caementa* est sous-entendu :

- *reticulata* (*caementa*) « moellons de l'*opus reticulatum* » (2, 8, 1) ;
- *minutissima (caementa*) « moellons aussi menus que possible » (2, 8, 2 ; 4, 4, 4).

Toutes les occurrences de *caementum* ont à voir avec la maçonnerie concrète sauf *caementa marmorea* « éclats de marbre » (7, 6, 1).

Quant à *caementicius*, tous ses emplois concernent la maçonnerie concrète. Cet adjectif a un suffixe d'animé non nombrable ou de matière en *–icius*. Usité en unité lexicale complexe, il donne :

- *structurae caementiciae* « construction de maçonnerie concrète, *opus caementicium* » (2, 4, 1 ; 2, 7, 5) ;
- *parietes caementicii* « remplisssage d'*opus camenticium* » (2, 8, 17) ; cette lexie complexe est synonyme de *fartura*.

L'adjectif peut être aussi employé avec un substantif sous-entendu :

- *caementicium* (*saxum*) « moellon » (2, 8, 16) ;
- *caementicium* (*genus*/*opus*) « maçonnerie concrète » (6, 8, 9).

Pour Vitruve, le *caementum* n'est pas un matériau noble pour l'architecture de prestige : par rapport à la pierre de taille (*saxum quadratum*), c'est une matière première abondante pour le bâtiment (2, 7, 5). Pourtant, ces deux matériaux sont extraits des mêmes carrières et subissent des contraintes identiques d'un cahier des charges. Selon la géologie locale, le *caementum* peut être un bloc brut, une projection volcanique grossière, un galet, une brèche ou un cailloutis de récupération. Malgré ce peu de considération de la part de Vitruve, le moellon est un élément important de toute construction : quelque forme qu'il puisse recevoir (brut, équarri, d'appareil), le bloc donne à une maçonnerie sa cohésion.

D'ailleurs en fréquence, *caementum* est usité vingt fois tandis que les lexies complexes *lapis quadratus* et *saxum quadratum* atteignent ensemble dix occurrences dans le *De architectura*. Les dimensions de la pierre sont établies par deux facteurs chez Vitruve : d'abord sa grandeur, dépendant de la taille du mur et donc du bâtiment lui-même (4, 4, 4), et ensuite sa masse (8, 6, 14). Ce sont les seuls renseignements donnés par notre architecte et apparemment, l'indication massique devait être une information suffisamment pertinente pour que les maçons antiques pussent s'en contenter, comme en témoigne le « Devis de Pouzzoles » [181]. En effet, on peut définir une taille approximative des agrégats selon la nature de la roche. Avec ces maigres informations (grandeur et masse), il a été déterminé à partir des mesures de H. O. Lamprecht la dimension du *caementum* chez Vitruve (entre 2 et 200 mm). On retient aussi ses mesures sur un béton de conduit d'eau de Sötenich (échantillon nº 71) du II^e^ s. *p. C.* Pour l'ingénieur allemand, les techniciens romains connaissaient leur métier et savaient graduer, et tamiser leurs granulats, même s'ils ne possédaient pas notre technologie moderne. Avec le graphique de Sötenich, on peut désormais établir la quantité massique d'agrégats dans un texte vitruvien, à condition naturellement que notre théoricien indique un renseignement de poids ou d'épaisseur d'une maçonnerie. Ainsi, en 8, 6, 14, pour un calcaire considéré à densité 2,2 à titre d'illustration, le volume du moellon est de 0,149 l. Selon la forme cubique ou sphérique, ce moellon d'une livre romaine a un diamètre de 6,58 cm, pour une sphère, ou de 5,3 cm d'arête pour un cube. En se basant sur une convention du dixième de l'épaisseur d'une structure, ce moellon constitue 70 % du béton en masse et 11,66 l en volume.

Le *caementum* donne son apparence au mur, en même temps qu'il en révèle la structure interne, par le jeu de l'alternance des joints montants et verticaux : cette conception est héritée des modèles grecs où tous les critères sont établis en fonction de l'*opus quadratum*. C'est ce principe qui lui fait juger de la solidité de la maçonnerie concrète de manière parfois erronée.

Pourtant, la maçonnerie concrète est une technique sûre dont les multiples applications parsèment le texte vitruvien : les constructions terrestres et marines sont durables grâce à la chimie phlogistique de la *ieiunitas*. Vitruve cultive ainsi les contradictions. La chaux, le sable et le tuf volcaniques fournissent le trio essentiel de cette prise qui reconstitue les phénomènes naturels du volcanisme. C'est pourquoi *caementum molle* peut désigner par synecdoque le moellon de tuf volcanique et aussi la maçonnerie concrète.

---

[181] *C. I. L.*, X, 1781, 2, 20-22: *Nive maiorem / caementa struito, quam quae caementa ar(i)da / pendat p(ondo) XV, nive angolaria altiorem (trientem semunciam) facito.* « Que l'entrepreneur ne maçonne point de moellon plus gros que les moellons, qui, secs, pèsent 15 livres et qu'il ne fasse point de moellon d'angle plus haut que 4 plus un pouce. » Choisy 1909 (vol. 3), pp. 291-294.

4. Calculus - calculosus

1. Étymologie de *calculus* et de *calculosus*

Calcŭlus, (-ī, m.) « caillou ; pierre à calcul ; boule pour voter (blanche ou rouge) ; pierre dans la vessie ; pion, jeton ». On apprenait aux enfants à compter avec des cailloux et le mot a pris le sens de « compte, calcul ». Les dérivés sont entre autres : *calculō* « calculer, supputer », *calculātor* « calculateur » et *calculōsus* « caillouteux, rempli de cailloux ». Cet adjectif dont Vitruve est le premier auteur à se servir, est peut-être inspiré d'adjectifs grecs.

A l'époque antique, on voyait dans *calculus* un diminutif de *calx* « chaux », mais les sens sont différents et le grec (*káchlêx*) κάχληξ « caillou de rivière » amène à se demander si *calculus* ne serait pas aussi un mot à redoublement. Ceci n'exclut ni le rapprochement avec (*chálix*) χάλιξ ni même absolument l'hypothèse d'un emprunt de tout le groupe à une langue méditerranéenne [182].

2. Usage et sens de *calculus* avant Vitruve

Les premières occurrences de *calculus* se trouvent chez Cicéron (*Orat*. 1, 261 ; *Fin*. 2, 60 ; *Lael*. 58 ; *Div*. 2, 143) et la dernière mention est chez Isidore de Séville (*Orig*. 10, 43). L'acception principale est « caillou » (Cicéron, Virgile, Ovide, Celse, Pline l'Ancien, Martial, Quintilien, Apulée, saint Jérôme, Isidore de Séville) et il y a des emplois particuliers comme « jeton pour voter » (Ovide, Apulée, Pline le Jeune), « craie » (Horace, Symmaque), « pion » (Cicéron, Sénèque, Martial, Pline le Jeune, Quintilien), « comptes » (Cicéron, Tite-Live, Pline le Jeune, Quintilien, les juristes, Sidoine Apollinaire) et « calculs rénaux » (Cicéron, Tite-Live, Celse, Pline l'Ancien, Chiron, Gargile).

Si la première mention de *calculosus* est chez Vitruve, cet adjectif est usité pour la dernière fois dans l'œuvre de Grégoire de Tours (*Glor*. mart. 30). Les deux acceptions importantes sont « contenant des cailloux, caillouteux » (Columelle, Palladius, Gargile, Sidoine Apollinaire) et « souffrant de la maladie de la pierre » (Celse, Scribonius Largus, Chiron, Pline le Naturaliste, Végèce) [183].

---

[182] Ernout 1949, p. 35; Ernout, Meillet, André, 1985, *s. v*. calculus, p. 89.
[183] *T. L. L.*, III, col. 141-144, l. 21-46 ; III, col. 140-141, l. 79-20.

3. *Calculus* et *calculosus* chez Vitruve

Calculus « caillou, nodule de la chaux, calcul rénal » est usité douze fois : 7, 2, 1 (bis) / 7, 2, 2 / 8, 3, 17 / 9, 8, 5 / 10, 9, 3 (bis) / 10, 9, 4 (bis) / 10, 9, 6 (bis) / 10, 9, 7 [184].

— *calculi* « grumeaux de chaux incuits » : 7, 2, 1 (bis)/ 7, 2, 2.

— *calculi crudi* « incuits, pigeons, nodules de chaux dolomitique » : 7, 2, 1.

— *calculi* « calculs rénaux » : 8, 3, 17.

Calculosus « contenant des cailloux, caillouteux » se trouve deux fois : 2, 3, 1 et 8, 3, 19.

— *lutum calculosum* « boue, sol plein de cailloux » : 2, 3, 1.

— *calculosi* « victimes de la maladie de la pierre » : 8, 3, 19.

3.1. *Calculi crudi* « nodules incuits (de chaux), incuits, pigeons » (7, 2, 1): les déchets de la cuisson de la chaux et la dolomie

En 7, 2, 1-2, Vitruve explique la manière dont la chaux doit être éteinte. C'est le seul texte du *De architectura* où il détaille le processus d'extinction. Pour les enduits, on doit éteindre « longtemps avant l'emploi, des morceaux d'une chaux d'excellente qualité, de sorte que tous les morceaux qui pourraient n'avoir pas été assez cuits dans le four soient, au cours d'un détrempage prolongé, contraints par l'eau de perdre leur effervescence, et qu'ainsi leur cuisson soit menée à son terme. » Il continue : « Car si l'on prend de la chaux qui n'a pas été détrempée à fond, et qui est encore trop fraîche, et qu'elle entre dans la composition d'un enduit alors qu'elle recèle des nodules incuits (*crudos calculos*), elle provoque des soufflures (*pustulas*). Et ces nodules, continuant leur trempage lors même qu'ils sont noyés dans la construction, désagrègent et détruisent les couches de finition de l'enduit. » [185]

Vitruve mentionne dans ce passage les « ratés » de la cuisson. Ces *calculi* ont diverses origines. D'abord durant la calcination du calcaire, certains blocs peuvent ne pas s'être transformés en chaux, du fait de leur place dans le four. Ensuite, les *pigeons*, ou *incuits* peuvent aussi venir d'une dolomie ou d'un calcaire magnésique.

---

[184] Callebat, Fleury, 1995, pp. 33, 229.

[185] Vitr. 7, 2, 1: […] *Id autem erit recte, si glebae calcis optimae ante multo tempore quam opus fuerit macerabuntur, uti, si qua gleba parum fuerit in fornace cocta, in maceratione diuturna liquore deferuere coacta uno tenore concoquatur. Namque cum non penitus macerata sed recens sumitur, cum fuerit inducta habens latentes crudos calculos, pustulas emittit. Qui calculi, in opere uno tenore cum permacerantur, dissoluunt et dissipant tectorii politiones.* Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

3.1.1. Le calcaire et la dolomie

Vitruve écrit, en 2, 5, 2, qu'un mortier de sable volcanique et de poudre de calcaire incuit n'assure pas la cohésion d'une maçonnerie, et que ce calcaire doit au préalable être parfaitement cuit au four. En effet, notre auteur explique, que, même si les pierres à chaux (*saxa*), comme tous les autres corps, sont composées des quatre éléments (*e principiis*), ce n'est pas parce qu'un calcaire contient en majorité le constituant « feu » qu'il est naturellement de la chaux. On choisit les blocs à calciner d'après quelques critères. Vitruve (2, 5, 1) inventorie deux ou trois types de calcaire :

1) *Album saxum* « pierre blanche ». Sous cette expression désignative à deux termes de sens général, on peut regrouper pour la péninsule italienne du calcaire de blanc à gris, du calcaire marneux, de la dolomie, du calcaire fossilifère, du calcaire pisolithique, du travertin, etc.

2) *Silex* (*album*) « roche dure (blanche) ». Cette pierre dure peut être du calcaire cohérent de blanc à gris (calcaire silexoïde), et de la dolomie [186] sauf le marbre blanc, donc brillant, lequel ne répond pas à la définition d'*album* (blanc pâle) : dans le *De architectura*, les marbres blancs mentionnés sont ceux de Grèce ou d'Asie Mineure dans le cadre des grands programmes locaux d'urbanisme; ils ne sont pas destinés à faire de la chaux. Si *silex album* qualifiait ce type de roche, alors le marbre gris correspondrait plus à cette catégorie.

3) *Silex* : « roche dure ». Dans ce contexte, cela peut désigner tout calcaire dur quelle que soit sa couleur (calcaire compact (silico-alumineux), à fracture conchoïdale, donnant une chaux hydraulique: Préalpes lombardes, « biancone » de Vénétie) ou de la dolomie [187].

Si Vitruve distingue les types de calcaire, il ne pose pas le problème de la reconnaissance de cette roche et ne répertorie pas les méthodes que devaient posséder les Anciens. La plus connue est la suivante : on verse un acide sur le calcaire et celui-ci fait effervescence. Ce procédé, notoire depuis les Assyriens, est rapporté par Tite-Live (21, 37, 2) qui mentionne la célèbre anecdote d'Hannibal franchissant les Alpes. Des hommes font des feux et dissolvent (*putrefaciunt*) les pierres (*saxa*) avec du vinaigre répandu (*infuso aceto*). De même, Pline (*Nat*. 23, 54) indique que du vinaigre fait bouillonner de la terre calcaire sur laquelle il est versé (*ita fit ut infuso terra spumet*) [188].

On peut aussi taper avec de l'acier ou du fer sur un bloc pour donner une étincelle : une roche calcaire n'en produit aucune. Enfin, Théophraste écrit que, dans un four, qu'elle ne

[186] Decri 2003.
[187] Mottana,Crespi 1993, n° 339. Nous étudierons ces calcaires plus explicitement dans *saxum*.

peut ni se vitrifier ni se mettre en fusion, à l'inverse des minerais (Théophr. *Lapid*. 9). Les critères vitruviens de reconnaissance du calcaire sont insuffisants : ils reposent sur la couleur blanche et la dureté de la pierre. Les spécialistes modernes n'insistent pas sur l'existence d'un type de calcaire magnésique, lequel fournit une chaux pourtant problématique.

Ainsi, il existe des calcaires qui contiennent une teneur non négligeable en magnésie ou carbonate de magnésium. Le calcaire magnésique ou dolomie est une alternance de couches de carbonate de calcium ($CaCO_3$) et de carbonate de magnésium ($MgCO_3$). La pierre est calcaire si elle renferme 90 % de carbonate de calcium. Le calcaire magnésique a une proportion de 75-90 % de calcite ($CaCO_3$), le reste se composant de magnésium ($MgCO_3$). En dessous de 75 % de $CaCO_3$, on a une dolomie, laquelle possède, par exemple, 54 % de carbonate de calcium et 46 % de carbonate de magnésium. La présence de magnésium influe sur l'extinction de la chaux et est à l'origine de problèmes concernant la prise du liant sur lesquels nous reviendrons. Les Romains se sont servis des chaux dolomitiques dans leurs constructions [189].

Extérieurement, les dolomies ne se différencient guère des autres calcaires. Ce sont des roches plus dures que les calcaires et on peut les reconnaître parce qu'elles ne font pas effervescence à froid avec les acides [190]. C'est pourquoi on peut supposer que lorsque Caton l'Ancien (*Agr*. 38, 3) décrit son chaufour et qu'il conseille de choisir *lapis quam candidissimus* « calcaire le plus blanc possible », plutôt que *lapis quam minime uarius* « pierre la moins tachetée possible », il pense à une dolomie et non à un calcaire argileux qui, lui, fournirait une chaux hydraulique acceptable. Souvent la dolomie contient de l'ankérite ($CaFe(C0_3)_2$) et la libération du fer de ce carbonate est responsable de l'habituelle teinte rousse des roches dolomitiques. Il existe aussi des dolomies mêlées à des argiles rouges et vertes (marnes dolomitiques bariolées). Celles-ci, lorsqu'elles sont calcinées, donneront une chaux magnésique hydraulique, mais dont l'usage est limité. Si l'on insiste sur la dolomie, c'est parce que son utilisation est méconnue des spécialistes des mortiers anciens et qu'elle peut être à l'origine des *calculi* « grumeaux de chaux » au moment de l'extinction et du corroyage du liant en 7, 2, 1-2.

3.1.2. Comment se forment les incuits dans un chaufour

La cuisson de la chaux est un processus long et délicat. Vitruve (2, 5, 2) mentionne de manière allusive le chaufour, comme dans *saxa in fornacem coicere* « jeter les pierres dans le

---

[188] Forbes, 1963, p. 90 ; cf. l'étude des acides ou des solvants chez Pline : Healy 1999, pp. 130-133.
[189] Cf. Lamprecht 1996, pp. 61-63 : l'échantillon n° 1, issu d'un mur de Saaburg à Taunus contient de la chaux dolomitique; de même les échantillons n° 44 et 45, tirés de la muraille de Cologne (daté de 50 à 69 *p. C.*) contiennent de la chaux dolomitique et de la pouzzolane.
[190] Auboin, Brousse 1975, p. 311.

four », mais il n'en parle pas outre mesure. La description la plus complète est celle de Caton l'Ancien (*Agr*. 38, 1-4). La *fornax calcaria* est bâtie par le chaufournier (*calcarius*) si possible près de la carrière ; cette installation est creusée *(ubi satis foderis*) au pied d'une pente au mieux pour disposer d'un accès commode en partie basse pour le foyer et en partie haute pour le chargement et le déchargement [191]. Le chaufour peut être un puits foré en terre (Ov., *Met*. 7, 107, *terrena fornace*) dont le sommet est maçonné en brique ou en moellon. Le client ou maître d'oeuvre (*dominus*) fournit la pierre calcaire (*lapis*) et le bois (*ligna*) pour la cuisson (cf. Cato *Agr*. 16). Il est implanté, habituellement, à proximité des carrières de calcaire. Néanmoins, des indices archéologiques montrent l'éventualité de productions artisanales de chaux par des batteries de fours dans des contextes ruraux [192]. Il se pourrait aussi que l'importance de certains chantiers ait nécessité la présence de chaufourniers sur place. Plus que la nature du combustible, la conduite du feu est déterminante pour la réussite de la fabrication de ce matériau. Lors de l'allumage, il est d'usage de faire progressivement monter la température, pour éviter tout phénomène d'éclatement des blocs calcaires et donc l'écroulement du remplissage du four [193].

- ***Que se passe-t-il dans le four?***

Le chaufour doit être allumé lentement. Le maintien de la chaleur est un facteur important pour obtenir une bonne chaux et toute variation dans la cuisson risque de corrompre cette qualité. Le calcaire ou la dolomie se comportent de manière différente quand ces deux roches atteignent leur température de libération du gaz carbonique. À 900 °C, le calcaire (CO_3Ca) libère son dioxyde de carbone (CO_2) et l'on a de l'oxyde de calcium (CaO) ou « chaux vive ». Si l'on calcine de la dolomie ($MgCO_3$), celle-ci perd son CO_2 à 610 °C : le résultat de cette combustion donne alors l'oxyde de magnésium (MgO). Si l'on chauffe en dessous de 900 °C, avant que le CO_2 ne se dissipe, le calcaire ne se transforme pas en chaux : ces sont les « incuits » ou « pigeons ». A l'inverse, au-dessus de 1000 °C, on a de la « chaux brûlée », qui est inutilisable. Elle est plus dense que la chaux vive et est 40 % plus petite en volume. Pour D. Moore, parler de chaux « brûlée » pour des fours romains est une hypothèse académique, car elle s'obtient à 1650 °C, seuil qui ne pouvait pas être atteint à cette époque [194]. En fait, le *calcarius* doit maintenir une échelle entre 900-1000 °C aussi longtemps que possible pour garantir la qualité de la cuisson (cf. Cato *Agr*. 38, 4).

---

[191] Adam 1995, pp. 70-72 ; Moore 1995, pp. 59 sq.
[192] Coulthard 2000; Coutelas 2003, pp. 65-66.
[193] Cf. F. Suméra et E. Veyrat, « Les fours archéologiques de «Brétinoust», commune de Sivry-Courty (Seine et Marne) », *Rev. Arch. Centre*, n°36, 1997.
[194] Moore 1995, p. 58.

D'une manière générale, le chaulier, comme le céramiste, peut se fier à sa vue. Dans le four, la température, où le gaz carbonique s'échappe (900-1000 °C), se caractérise par une couleur orange-jaune [195]. Tant que le dioxyde de carbone n'est pas sorti du calcaire, l'intérieur du chaufour aura une chaleur rouge terne, mais lorsque le CO_2 part, la pierre devient particulièrement brillante.

Au total, la durée totale du cycle (four/chargement/cuisson/déchargement) est de deux à trois semaines environ. L'ouverture de l'installation thermique et le déchargement prennent de trois à sept jours, tout comme la calcination. Tout ce mode opératoire est ainsi une affaire d'artisans spécialisés : la difficulté de maintenir le feu durant quelques jours à la bonne température nécessite un réel savoir-faire. Bien évidemment, le calcaire incuit résultera d'une baisse brutale de la chaleur due à des facteurs divers (faute du chaufournier, pluie, réduction du délai de coction, etc.), et aussi de la place des blocs dans le four : ceux du sommet, en moindre contact avec les flammes, seront moins cuits que ceux de la base.

Ces incuits ne devraient pas se trouver dans le circuit économique : ils seraient alors éliminés si les maçons choisissaient leur matériau avec soin. Et l'on ne comprendrait pas pourquoi Vitruve conseille un trempage prolongé de calcaires qui n'ont pas été transformés en chaux. En revanche, les pierres mal cuites et la dolomie calcinée à 610 °C nécessitent d'éprouver sur le chantier ou dans la carrière leur qualité de liant. De la sorte, ils peuvent être à l'origine de *calculi* au moment de l'extinction.

3.2. *Ratio macerationis* « règle d'extinction de la chaux » et *calculi* « incuits de la chaux » (7, 2, 2)

Vitruve (7, 2, 2) continue d'expliquer l'extinction de la chaux. Souvent citée, cette notice du *De architectura* est en effet la seule de sa catégorie dans la littérature technique latine. Vitruve poursuit : « Mais quand on aura observé la règle du trempage (*ratio macerationis*) et fait avec beaucoup de soin ce travail préparatoire aux opérations de revêtement, on prendra un rabot (*ascia*) et, de même que l'on dole le bois, de même on corroiera avec le rabot la chaux détrempée dans son bassin. Si le rabot rencontre des nodules (*calculi*), c'est que la chaux ne sera pas à point (*non erit temperata*); si le fer sort sec et propre, cela indiquera qu'elle est amorphe et desséchée ; mais si elle est pâteuse et bien détrempée,

[195] H. Norsker, *The self-reliant Potter: Refractors and Kilns*, Friedr Vieweg and Son Publisher, Braunschweig, 1987, p. 119; Moore 1995, p. 59 ; les couleurs dans le four sont des indicateurs de température : intensité la plus faible du rouge, visible la nuit = 470 °C ; intensité la plus faible du rouge, visible le jour = 550 – 650 °C ; rouge cerise foncé / rouge = 650 - 750 °C ; rouge cerise lumineux = 750 – 815 °C ; rouge cerise lumineux / orange = 815 – 900 °C ; orange / jaune = 900 – 1090 °C ; jaune / jaune clair = 1090 – 1315 °C ; jaune clair / blanc = 1315 – 1540 °C ; blanc / blanc bleuâtre = 1540 °C

elle adhérera à cet outil de fer comme de la glu et prouvera qu'à tous égards elle est à point. » [196]

En 7, 2, 1, Vitruve avait évoqué la *ratio macerationis* « règle d'extinction de la chaux » : le but de l'extinction (*maceratio*) est de contraindre (*coacta*) la chaux à perdre son bouillonnement (*deferuere*) par la pénétration de l'eau (*liquore*) et d'attendre que ce processus arrive à son terme (*uno tenore concoquere*). Cette simple règle manque de précision concernant le temps de macération et de repos. Après la mention de la *ratio*, il esquisse quelques cas particuliers pour déterminer la nature de la pâte. Le test de qualité est la première partie de la préparation du mortier avant l'ajout des agrégats. Il sera examiné dans quelles conditions les nodules (*calculi*) peuvent apparaître durant le processus de détrempage lorsque celui-ci n'est pas fait correctement.

3.2.1. Comment déterminer le type et la qualité de la chaux

Si l'extinction de la chaux est comprise conventionnellement comme une nécessité dans la fabrication du mortier pour éviter des phénomènes de gonflement et de dislocation après la prise, il est normal, sur un chantier, d'en éprouver la qualité afin d'établir si elle est appropriée pour l'usage auquel le maçon la destine (enduit, maçonnerie) [197]. L'opération est faite soit sur le lieu de construction soit dans la carrière si le chantier ne dispose pas de l'espace suffisant, dans une fosse ou un bassin, tous deux plus ou moins aménagés [198]. Pour l'épreuve, il s'agit de déterminer, si la chaux est, soit aérienne ou hydraulique, soit maigre (dolomitique ou argileuse). L'extinction d'échantillons fournira aux maçons toutes les indications auditives et visuelles nécessaires.

Ajouter de l'eau (H_2O) à la chaux vive ordinaire (CaO) provoque l'apparition d'une température qui peut s'élever jusqu'à 400 °C, mais elle est généralement comprise entre 150 et 200 °C. On observe alors le foisonnement de la chaux vive (*quam uehementissima*, « la plus réactive possible » Vitr. 8, 6, 14), c'est-à-dire, pratiquement, la désagrégation des blocs de chaux vive (*glaeba calcis*, Vitr. 7, 2, 1) en une poudre fine, blanche et sèche : la chaux éteinte (Ca(OH)2). Durant l'opération, l'hydroxyde de calcium triple de volume et aucune vapeur ne doit se dégager, auquel cas cela signifierait qu'elle est trop cuite. Ainsi, plus le taux de calcium est important, plus les réactions chimiques sont fortes et plus il faut de l'eau pour l'extinction : celle-ci est rapide. Deux litres d'eau sont nécessaires pour éteindre 1 kg de chaux vive.

Les réactions de la chaux dolomitique ne sont pas aussi impressionnantes. Mélanger de l'eau à des oxydes de magnésium et de calcium donne de l'hydroxyde de magnésium

[196] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[197] Adam 1995, p. 76.

($Mg(OH)_2$) et de l'hydroxyde de calcium ($Ca(OH)_2$). On observe peu de foisonnement et peu de chaleur pour ce type de chaux : l'extinction est plus lente, car il y a peu de réactions chimiques. En conséquence, la quantité d'eau est bien moindre : 1,25 l pour 1kg d'oxydes de magnésium et de calcium. La chaux dolomitique a moins de réactivité chimique que la chaux pure.

Ainsi, l'observation des réactions chimiques peut fournir une première estimation du type testé de chaux. Ensuite, le temps d'extinction produit des données complémentaires. On peut déterminer celui-ci de manière suivante :

— extinction en moins de 5 min. : chaux aérienne ou hydraulique ;
— extinction de 5 à 30 min. : chaux magnésique moyenne ;
— extinction de plus de 30 min. : chaux dolomitique.

Cet essai montre la lenteur d'extinction de la chaux dolomitique. Si celle-ci a été insuffisamment éteinte, l'enduit, qui la contient, absorbe lentement l'humidité de l'air, et cette chaux continue ainsi son extinction. Après un temps long, il peut se former les nodules ou *calculi*, lesquels appliquent une pression suffisante sur l'enduit, qui se gonfle et se fissure [199]. En fonction de ces essais de calcination et de macération et de l'usage qu'il veut faire du matériau, le maçon choisit donc des blocs de chaux (*glaebae calcis*) d'une excellente (*optimae*) qualité.

3.2.2. Extinction « ordinaire » ou « à grande eau » (*maceratio*) (Vitr. 7, 2, 1-2)

En général, le chaufournier éteint lui-même la chaux vive dans une fosse ou la vend au maçon qui pratique l'opération près du lieu de travail : le procédé de détrempage le plus courant et le plus ancien est alors l'extinction « ordinaire » ou « à grande eau » [200]. C'est la méthode adoptée par Vitruve en 7, 2, 2 pour la chaux destinée aux enduits. Dans ce paragraphe, se trouvent les termes *maceratio* « macération, extinction, détrempage », *macerare* « éteindre », *maceratus* « trempé, éteint » et *permacerare* « macérer entièrement, éteindre complètement » qui indiquent le même processus de trempage, ou « macération » pour l'extinction de cette matière.

---

[198] Adam 1995, pp. 75-76 ; Moore 1995, pp. 60-61.
[199] Moore 1995, p. 61.
[200] Larousse 1867, p. 113 ; Mora, Philippot 1977, pp. 59-68; Adam, 1995, p. 75 ; *Vitruve VII*, p. 101, n. 2.

▪ ***Le* lacus « *fosse d'extinction* »**

Pour les enduits, notre architecte a besoin de « blocs de chaux vive d'excellente qualité » (*optimae glaebae calcis*) et d'un rabot (*ascia*). Pour l'extinction, on se sert d'un *lacus* « bassin, fosse d'extinction ».

Dans le *lacus*, on brasse régulièrement, jusqu'à dislocation complète, l'eau et la chaux des particules composant celle-ci. Il se forme 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, la pâte devient blanche, crémeuse et souple, mais son séjour doit être prolongé afin que les processus de cristallisation arrivent à maturation.

Comment se présente le *lacus* vitruvien ? Il peut s'agir d'un espace circulaire remblayé par du sable, de fosses creusées dans le sol ou de grandes caisses de bois, qui communiquent entre elles. La mesure de la profondeur oscille entre une quinzaine et une trentaine de centimètres. Archéologiquement, on possède des exemples de petites excavations quadrangulaires, à cuvelage de planches de bois ou de dalles de terre cuite, pour l'extinction et, s'il y a lieu, pour la conservation de la chaux. On a découvert trois bacs, à la villa de Touffréville (Calvados) qui est bien connue pour l'activité de fabrication de chaux, probablement abandonnée dans la seconde moitié du I^er^ siècle *p. C.* De même, à Molesme « Sur-les-Creux » (Bourgogne), on a trouvé une fosse quadrilatérale d'extinction (1,52 x 1,28 m), datée vraisemblablement du I^er^ siècle *p. C.*, aux angles arrondis, à parois verticales et fond plat, conservée sur une profondeur voisine d'une quarantaine de centimètres. Ce fond était constitué de sept planches de sapin grossièrement juxtaposées et les cloisons étaient faites de planchettes [201].

▪ ***Quantité d'eau***

L'eau est versée sur la chaux ou la chaux est versée dans l'eau [202]. L'architecte J. Rondelet rapporte que cette dernière méthode, utilisée à Paris au XIX^e^ siècle, pouvait donner l'habitude aux maçons d'éteindre la chaux avec une trop grande quantité de liquide, sous prétexte de la faire couler du bassin depuis lequel on l'éteint, dans celui où on la conserve.

---

[201] Coulthard 2000; D. Lavergne et F. Suméra, « La fabrication de la chaux: une activité pérenne ou occasionnelle pendant l'Antiquité gallo-romaine ? Premiers éléments de réponse », in *Arts du feu et productions artisanales, XX^e^ rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 21-23 octobre 1999*, édit. P. Pétrequin, P. Fluzin, J. Thoriot, et P. Benoit, Antibes, 2000, pp. 99-130 ; C. Petit, P. Wahlen, *Le site de Molesme « Sur-les-Creux »*, *année 2000*, rapport de fouilles de la campagne 2000, cité par Coutelas 2003, p. 69.

[202] Moore 1995, p. 61 ; Larousse 1867, p. 113.

De plus, ce procédé tend à diminuer sa qualité et à la faire foisonner davantage [203]. Pour le processus de détrempage, le contingent d'eau n'est pas mentionné par les auteurs anciens. En général, les maçons doublent le volume d'eau par rapport à celui de la chaux vive pour l'extinction, afin d'obtenir une pâte que l'on pourra travailler. D. Moore a observé qu'une unité de volume d'oxyde de calcium donnait 2,25 unités de pâte [204].

▪ ***Temps d'extinction pour éviter les* crudi calculi**

Vitruve (7, 2, 1) constate ce qui se passe quand on ne détrempe pas assez une chaux (magnésique ou calcique) : « Car si l'on prend de la chaux qui n'a pas été détrempée à fond (*non penitus macerata*), et qui est encore trop fraîche (*recens*), et qu'elle entre dans la composition d'un enduit alors qu'elle recèle des nodules incuits (*crudos calculos*), elle provoque des soufflures (*pustulas*). Et ces nodules (*calculi*), continuant leur trempage lors même qu'ils sont noyés dans la construction (*in opere uno tenore cum permacerantur*), désagrègent et détruisent les couches de finition de l'enduit (*dissoluunt et dissipant tectorii politiones*). » [205] Seulement, il n'indique aucune explication quant au temps d'extinction : il se contente d'écrire un vague « longtemps » *multo tempore*. Pour éviter les nodules, il faut continuer le détrempage jusqu'à son terme (*maceratio diuturna*) comme le conseille Vitruve (7, 2, 2) : elle peut aller jusqu'à vingt jours chez les chaufourniers. L'autre solution, que ne mentionne pas notre auteur, consiste à faire passer la pâte semi-liquide de chaux par un crible, de la fosse d'extinction à celle de conservation [206].

▪ ***Conservation de la chaux éteinte (Pline,* Nat. *36, 176)***

De l'eau d'extinction, de la terre ou du sable mouillé peuvent recouvrir la chaux afin que le dioxyde de carbone de l'air n'entre pas en contact avec l'hydroxyde de calcium. Si celui-ci n'est pas couvert, il peut y avoir une croûte de calcite à la surface qui constitue une protection naturelle contre une carbonatation trop précoce de l'ensemble. La conservation peut être d'un an [207] ou de trois : Pline (*Nat*. 36, 176) mentionne que la chaux du mortier (*intrita*) est d'autant meilleure qu'elle est ancienne. Il cite une loi édilitaire interdisant l'usage d'une chaux de moins de trois ans.

---

[203] Rondelet 1842, p. 151. A cela, il ajoute que la chaux produite à Paris était insuffisamment cuite, car les vendeurs étaient obligés de la garder un certain temps. Une chaux bien calcinée ne se conserverait pas si elle avait le degré de cuisson convenable pour être employée tout de suite.
[204] Moore 1995, p. 202.
[205] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[206] Moore 1995, p. 61.
[207] Adam 1995, p. 76 et n. 107.

3.2.3. La fin de l'extinction et le début du corroyage (7, 2, 2)

Comme l'avait écrit notre architecte (7, 2, 1), le but de l'extinction est de contraindre (*coacta*) la chaux à perdre son bouillonnement (*deferuere*) par la pénétration de l'eau (*liquore*) et d'attendre que le détrempage (*maceratio*) arrive à son terme (*uno tenore concoquere*). Le maçon vitruvien estime à un certain moment qu'elle a été macérée à fond (*penitus macerata*) et, alors, qu'il peut commencer le corroyage.

- **Asciare calcem maceratam in lacu** ***«corroyer avec le rabot la chaux éteinte dans son bassin (fosse) d'extinction».***

L'*ascia* est l'outil de maçon, mais aussi celui de l'artisan du bois (tonnelier, etc.). On peut ainsi comparer avec le geste similaire de la dolabre (verbe *dolare* « dégrossir, façonner, équarrir, travailler avec la dolabre »), hache-pic pour l'équarrissage du bois (cf. Palladius, 1, 14: *ascia calcem quasi lignum dolabis*) [208]. L'utilisation d'un instrument métallique pour corroyer la chaux éteinte est avantageuse pour J. B. Rondelet. En effet, celui-ci notait qu'à Paris, à son époque, on n'utilisait que des morceaux de bois emmanchés au bout d'un bâton ; leur emploi exigeait plus d'eau, produisait un mélange imparfait, fort long à sécher et n'acquérait qu'une faible consistance, car il n'était pas finement broyé [209]. L'usage d'un rabot permet de réduire en poudre la chaux et, de la sorte, est une garantie supplémentaire pour la prise du liant.

- **Calculi ad asciam offendere** ***«les pigeons/incuits se heurtent au rabot» et l'état physique de la chaux suite à l'extinction***

Par la faute d'un aide ou de lui-même, le maçon travaillant sous les ordres de Vitruve constate qu'il y a des pigeons dans la chaux, malgré les précautions prises. En effet, l'architecte stipule que si le fer de l'*ascia,* ressortant de la pâte, est « sec » *siccum* et « pur » *purum*, alors, la chaux est « sans vie » *euanida* et « desséchée » *siticulosa*, c'est-à-dire qu'elle est encore « vive ». La chaux magnésique ou calcique n'est pas assez « à point » *temperata*. Pour y remédier, il faut une macération prolongée ou retirer les incuits par criblage, du bassin d'extinction à celui de conservation. L'aspect des grumeaux de chaux, dans la fosse de détrempage de Molesme « Sur-les-Creux », se présente comme des pustules blanches qui ont pour origine, lorsqu'il ne s'agit pas d'incuits, une mauvaise extinction ou une pièrre

[208] Pour la dolabre cf. Orlandos 1966, p. 30-33; Adam 1995, p. 96, fig. 203, p. 98, fig. 211; Ginouvès, Martin 1985, p. 69 et planche 7, fig. 4. Pour l'*ascia*, Adam 1995, pp. 78-79, fig. 162-163; Ginouvès, Martin 1985, pp. 69-70, planche 8, fig. 3, 5, 6 ; *Vitruve VII*, pp. 102-103, n. 1.
[209] Rondelet 1842, p. 151.

homogénéisation du mélange [210]. En effet, les nodules de chaux peuvent aussi être dus à un corroyage insuffisant, ce que Vitruve ne semble pas indiquer.

A l'inverse, si l'architecte a bien choisi ses blocs de chaux vive, et si les ouvriers font correctement leur travail, la pâte est « grasse, savonneuse » *pinguis* et « détrempée » *macerata* et elle adhère à « l'outil de fer comme de la colle » *haerere circa id ferramentum uti glutinum*. Cela prouve que la chaux est éteinte, « à point » *temperata*, elle est donc « mûre » (*concoquere*). Ainsi, la *calx macerata* « chaux détrempée » désigne aussi, par extension, la chaux « éteinte ».

4. Conclusion

L'analyse de *calculus* s'est limitée à un contexte concernant la chaux, puisque les autres occurrences n'entraient pas dans le cadre de notre étude. Les *calculi* « grumeaux de chaux » ne sont énoncés dans une description de four ni chez Vitruve, ni chez Caton. Les incuits de la cuisson ne devraient pas être vendus par le chaulier au maçon. Notre auteur ne décrit pas le fonctionnement du chaufour, à l'inverse de Caton, certainement parce qu'il pensait à celui-ci comme une source de référence aisément consultable pour tout éventuel lecteur : il a pu juger inutile d'aborder cette question.

Le calcaire magnésique ou la dolomie ont un point de libération du CO_2 plus bas que celui de la calcite et leur détrempage est plus long que la chaux ordinaire. C'est peut-être cette chaux magnésique qui continuerait son extinction sous forme de grumeaux dans un mortier et qui fissurerait celui-ci. C'est pourquoi les épreuves sont indispensables pour déterminer la nature de la chaux (hydraulique, maigre, dolomitique, grasse). Ces tests existaient probablement chez les ingénieurs et les artisans spécialisés romains. Ainsi, ces essais devaient éliminer toute chaux défectueuse. Mais si par malheur, malgré les soins de l'architecte ou du chef d'atelier, le délai d'extinction n'était pas respecté ou que la *calx* n'était pas assez cuite, les nodules pouvaient apparaître. On peut faire une constatation qui deviendra régulière dans notre étude : l'exigence qualitative de la part de Vitruve pour les matériaux et les modes de fabrication. Celui-ci donne des conseils simples pour éviter les matières médiocres et les mauvais liants. Mais il ne mentionne pas qu'un insuffisant corroyage peut produire une piètre mixtion d'un mortier et donc l'apparition des grumeaux, lesquels se retrouvent dans les analyses modernes.

[210] Coutelas 2003, p. 69.

5. Calx

1. Étymologie de *calx*

Calx, (*calcis*, f.) « pierre, jeton, chaux » est un terme ancien et courant [211]. Il est de la même famille que *calculus*, *-ī* m. « caillou ». *Calx*, qui désigne seulement la « pierre à chaux », est sans doute un emprunt ancien au grec χάλιξ (*chálix*) « caillou, moellon, pierre à chaux », dont l'*i* existe dans *calicāre* « blanchir à la chaux », *dēcalīcatus*), à moins que χάλιξ (*chálix*) et *calx* ne soient des emprunts indépendants à une langue méditerranéenne inconnue [212].

2. Usage et sens de *calx* avant Vitruve

La première mention de *calx* est chez Plaute (*Poen*. 908) et les dernières occurrences se trouvent chez Isidore de Séville (*Orig*. 16,3, 10 ; 19, 10, 19 ; *Praef. test*. 47) [213]. La polysémie de *calx* se divise en quatre acceptions : « pierre de jeu, jeton, pion » (Plaute, Lucilius), « chaux » (Caton, Varron, le « devis de Pouzzoles », Lucrèce, Cicéron, Tite-Live, Celse, Columelle, Sénèque, Pline l'Ancien, les juristes, Végèce, Grégoire de Tours, Isidore de Séville), « ligne d'arrivée » (Varron, Cicéron, Quintilien, saint Jérôme, Ammien Marcellin, saint Augustin, Isidore de Séville) et, de moindre importance, « couleur blanche » (Ennodius).

On trouve quelques usages de *calx* « chaux » avant Vitruve dans un contexte technique de construction : Caton (*Agr*. 14, 1 ; 14, 3 ; 14, 4 ; 14, 5 ; 15 ; 16 ; 18, 7 ; 38, 4), Lucrèce (6, 1068), Cicéron (*Mil*. 74) et Tite-Live (21, 11, 8 ; 39, 13, 12). La lexie complexe *calx harenatus* « mortier de chaux et de sable » est usitée chez Caton (*Agr*. 18, 7) et dans le « Devis de Pouzzoles » (*Lex par*. *fac*. *Put*. (*CIL* X, 1781) 2, 17-18).

On peut signaler *calx* « chaux » dans un autre type de concordance :
— mastic de chaux et d'argile cuite pour enduire des jarres (Caton *Agr*. 39, 2);
— chaux entourée d'eau (Varron, *frg*. *gramm*. V 574, 9).

Calx est déjà usité dans un contexte technique de construction avec le « devis de Pouzzoles » et Caton l'Ancien, lequel possède un grand nombre d'occurrences avant Vitruve.

---

[211] Ernout, Meillet, André 1985, p. 89.
[212] Concernant χάλιξ, A. Orlandos (1966, pp. 136-137) pense qu'il est peu probable que cette unité lexicale ait été utilisée dans le sens de «chaux» chez Plutarque (*Cimon*, 15).

3. *Calx* chez Vitruve

Calx « chaux » se retrouve trente-cinq fois chez Vitruve : 1, 5, 8 / 2, 4, 3 / 2, 5, 1 (ter) / 2, 5, 2 / 2, 5, 3 / 2, 6, 1 /2, 6, 3 /2, 7, 1 / 2, 8, 2 (ter) / 2, 9, 14 / 5, 10, 3 / 5, 12, 4 / 7, 1, 2 / 7, 1, 3 (bis) / 7, 1, 4 / 7, 1, 5 / 7, 1, 7 (bis) / 7, 2, 1 / 7, 2, 2 / 7, 3, 2 / 7, 3, 7 / 7, 3, 10 /7, 4, 3 (bis) / 7, 4, 5 / 7, 5, 8 / 7, 9, 5 / 8, 6, 8 / 8, 6, 14 [214].

— *calx uiua* « chaux vive » : 8, 6, 8 ;
— *calx extincta* « chaux éteinte » : 2, 5, 1 ;
— *calx euanida* « chaux éteinte » : 7, 2, 2 / 7, 3, 7 ;
— *calx macerata* « chaux détrempée » : 7, 2, 1 / 7, 2, 2 ;
— *calx ex aqua liquida* « lait de chaux » : 7, 4, 3.

La chaux a été traitée en partie avec *calculus*, où furent étudiées la calcination et l'extinction de ce matériau. Concernant le choix des pierres calcaires et la chaux hydraulique, le lecteur se reportera à *saxum*.

3.1. La théorie phlogistique de Vitruve et ses applications : la théorie atomique des quatre éléments, la composition théorique des calcaires et la chaux (2, 5, 1-3)

Le cinquième chapitre du livre II est consacré à la chaux. On y trouve une volonté « quasi lucrétienne » de Vitruve d'expliquer l'utilisation et la nature des matériaux de construction : notre auteur y exprime son désir de développer des phénomènes complexes au moyen d'une théorie universelle des quatre éléments (*principia*). Dans ce passage, la pesée des pierres calcaires avant et après leur cuisson lui fournit des données expérimentales sur les manifestations physiques de la chaux : il se sert des méthodes des savants grecs (expérimentation et déduction, cf. *Saxum*). Mais on se rend compte que les spéculations théoriques de Vitruve sont une des limites du chapitre 5 : il eût été préférable une notice technique, qui soit plus dans la tradition de Caton. Notre auteur ne décrit pas de chaufour et se contente d'une petite phrase pour dépeindre les caractéristiques des calcaires [215].

« La chaux [écrit-il en 2, 5, 2] assure la solidité d'une construction quand de l'eau et du sable s'y trouvent mêlés, car les pierres à chaux (*saxa*), comme tous les autres corps, sont composées des quatre éléments (*e principiis*). » Vitruve inventorie alors les qualités des

[213] *T. L. L.* III, col. 197-199, l. 22-43.
[214] Callebat, Fleury 1995, pp. 36-37.

pierres calcaires qui ont un caractère plus dominant que les autres : « Celles qui ont plus d'air sont tendres ; celles qui ont plus d'eau sont rendues malléables par l'humidité ; celles qui ont plus de terre sont dures ; celles qui ont plus de feu se brisent facilement. » Cette description rappelle les caractéristiques du travertin (2, 7, 1). Mais explique-t-il, ce n'est pas parce que les calcaires contiennent l'élément « feu », qu'ils sont naturellement de la chaux : « Si donc ces pierres (*saxa*) ont été pilées fin et mélangées au sable (*contusa minute mixta harenae*) avant d'être cuites (*antequam coquantur*), elles ne durcissent pas quand on les intègre à la maçonnerie et elles ne peuvent pas en assurer la cohésion. » Puis, il précise ce qui se passe dans le chaufour : « Quand les pierres ont été jetées dans un four et qu'elles y ont été soumises à la violence brûlante du feu, elles perdent la qualité de cohérence qu'elles avaient auparavant : il s'ensuit qu'ayant consumé et épuisé leurs propriétés énergétiques, elles ont alors des pores (*foraminibus*) largement ouverts et vides ». Enfin, en 2, 5, 3, il continue : « Lorsque l'élément liquide (*liquor*) et l'air (*aer*) qui sont dans le corps de la pierre ont donc été consumés et dissipés, mais qu'un reste de chaleur y demeure latent (*habueritque in se residuum calorem latentem*), si la pierre est plongée dans l'eau avant d'être soumise à la violence du feu (*intinctus in aqua priusquam ex igni uim recepit*), elle subit un échauffement quand le liquide pénètre dans les interstices des pores ; la pierre se refroidit ensuite et la chaleur brûlante est ainsi chassée du corps de la chaux. En conséquence, le poids des pierres à chaux que l'on sort du four ne peut pas être égal à celui qu'elles ont au moment où on les y jette : quand on les pèse, et bien qu'elles conservent le même volume, on constate — l'eau ayant disparu sous l'effet de la chaleur — que leur poids est diminué d'environ un tiers. Quand donc leurs interstices et leurs pores sont ouverts, elles agrègent promptement le sable avec elles, forment ainsi corps avec lui, adhèrent, en séchant, aux moellons et assurent la solidité de la maçonnerie. » [216]

---

[215] *Vitruve II*, *Introduction*, pp. XV-XVII et XXV, p. 91, n. 2 ; Romano 1987, p. 122.

[216] Vitr. 2, 5, 2-3 : *Quare autem cum recipit aquam et harenam calx, tunc confirmat structuram, haec esse causa uidetur quod e principiis, uti cetera corpora, ita et saxa sunt temperata. Et quae plus habent aeris, sunt tenera; quae aquae, lenta sunt ab umore; quae terrae, dura; quae ignis, fragiliora. Itaque ex his saxa si, antequam coquantur, contusa minute mixta harenae in structuram coiciantur, non solidescunt nec eam poterunt continere. Cum uero coniecta in fornacem ignis uehementi feruore correpta amiserint pristinae soliditatis uirtutem, tunc exustis atque exhaustis eorum uiribus relinquuntur patentibus foraminibus et inanibus.* **3.** *Ergo liquor, qui est in eius lapidis corpore, et aer cum exustus et ereptus fuerit habueritque in se residuum calorem latentem, intinctus in aqua priusquam ex igni uim recepit, umore penetrante in foraminum raritates, conferuescit et ita refrigeratus reicit ex calcis corpore feruorem. Ideo autem, quo pondere saxa coiciuntur in fornacem, cum eximuntur, non possunt ad id respondere, sed cum expenduntur, permanente ea magnitudine, excocto liquore, circiter tertia parte ponderis inminuta esse inueniuntur. Igitur cum patent foramina eorum et raritates, harenae mixtionem in se corripiunt et ita cohaerescunt siccescendoque cum caementis coeunt et efficiunt structurarum soliditatem.* Trad. L. Callebat.

3.1.1. Volonté vitruvienne d'une démarche théorique pour expliquer la chaux

S'il y a une notice dans le traité, qui formule les bases vitruviennes de la chimie et de la physique, c'est bien le deuxième chapitre du livre II : il constitue le texte organisateur de l'ensemble du même livre II, à partir duquel Vitruve énonce les principes de compositions des corps. Dans cette section, l'architecte établit les fondements scientifiques de l'architecture en se fondant sur le système atomique de Démocrite et la pensée néo-pythagoricienne, relayée par Empédocle et Platon des quatre éléments fondamentaux (2, 2, 1). C'est ainsi qu'au paragraphe suivant Vitruve pose la manière dont seront analysés les matériaux : « Toutes choses semblant donc être formées et produites par la rencontre de ces éléments et ces choses ayant été diversifiées par la nature en une infinité d'espèces, j'ai pensé qu'il convenait, envisageant leur variété et leurs particularités, de traiter de l'usage fait de ces choses et de leurs qualités spécifiques dans les constructions, de manière que, les connaissant, ceux qui envisagent de construire ne commettent pas d'erreur, mais se procurent, pour leurs constructions, les matériaux propres à y être utilisés. » [217]

Le chapitre 5 est donc l'occasion pour Vitruve d'expérimenter et de corroborer cette théorie selon les conceptions scientifiques de son époque. Pour cela, l'art du feu ou le phlogistique, dont la maîtrise a rendu possible la civilisation humaine (cf. Vitr. 2, 1, 1-2), permet à la fois de cuire les matières comme la chaux et de décomposer les corps en leurs éléments constitutifs. Le four est ainsi un instrument théorique et pratique pour la connaissance des matériaux et leur usage en architecture [218].

3.1.2. La cuisson dans le chaufour et ce qui s'y passe (Vitr. 2, 5, 2-3)

Pour Vitruve, le calcaire *saxum* a quatre éléments qui déterminent la cohérence de la pierre : *aer*, *terra*, *ignis*, *aqua/liquor*. Selon leurs proportions, il explique la dureté de ces calcaires. Il les classe ainsi :

— prédominance de l'air (*aer*) : *saxum tenerum* « pierre tendre ».
— prédominance de l'eau (*aqua*) : *saxum lentum ab umore* « pierre rendue malléable par l'humidité ».
— prédominance de terre (*terra*) : *saxum durum* « pierre dure ».
— prédominance de feu (*ignis*) : *saxum fragilius* « pierre qu'on peut facilement broyer ».

[217] Trad. L. Callebat.
[218] Sur l'image lucrétienne des lettres de l'alphabet capables d'engendrer une infinité de mots, qui peut avoir inspiré Vitruve : Lucr. 2, 688-694 et Romano 1987, pp. 125-127 ; *Vitruve II*, *Introduction*, pp. XXXIII-XXXV. Sur les quatre éléments : Pellati 1951.

La variation dans la composition précise les diverses propriétés des calcaires. Mais cette explication ne suffit pas à faire prendre un mortier. En effet, d'après cette conception, si ces types de roches contiennent une dose de feu, notamment ceux où cet élément domine et qui peuvent être aisément broyés, la présence de ce *principium* dans un calcaire n'en fait pas une chaux : d'où la nécessité de cuire cette roche.

Dans le four, le gaz carbonique s'échappe entre 900 et 1000 °C du calcaire et celui-ci devient particulièrement brillant. Le chaufour a alors une couleur orange-jaune. Dans la chimie vitruvienne, ce phénomène pourrait correspondre à la dissipation de l'eau et de l'air et à l'apparition des pores (*foramina*) dans le matériau.

Ainsi, la transformation du calcaire passe par trois phases : violence du feu (*ignis uehementia*) et destruction de la cohérence (*soliditas*) de la pierre (*lapis*) ; puis disparition des éléments *liquor* « eau » et *aer* « air » et création d'un « vide » avec formation de cavités (*foramina*), à l'instar de ce que définit Lucrèce (1, 330) ; dans le troisième temps, présence d'une chaleur (*calor*) au cœur du bloc. On peut de la sorte en déduire que la chaux vive est un corps plein de trous, incomplet, puisque n'ayant plus que de la terre, du feu et du chaud. C'est une substance chimiquement instable et « vivante ». Le vocabulaire décrivant les réactions (*calor*, *ignis*) de cette matière est issu de la théorie des quatre éléments.

Le modèle théorique que Vitruve développe sur la cuisson calcique est applicable également à des phénomènes naturels. Notre auteur (2, 6, 3) explique ainsi que les manifestations volcaniques souterraines sont les mêmes que celles qui se déroulent dans le four: « tout porte à croire que la violence du feu (*ignis uehementia*) a ôté son humidité (*liquorem*) au tuf et à la terre (*ex tofo terraque*), comme elle le fait à la chaux dans les fours (*quemadmodum in fornacibus ex calce*). » [219] Le volcan se comporte comme un immense chaufour: on y trouve la « violence du feu », qui enlève aux corps leur « élément liquide » (*liquor*). Les mêmes phénomènes se reproduisent dans la nature (pour la pouzzolane) et dans les fours (pour la chaux), car ce sont des forces identiques qui se manifestent.

De même, en 2, 9, 14, le *larix* « mélèze » est un bois possédant la propriété de ne pas s'enflammer aisément. Il se consume au contact d'autres bois en feu, comme brûlent les pierres qu'on cuit dans un chaufour (*uti saxum in fornace ad calcem coquendam*) et il ne produit ni charbon, ni flamme. Vitruve construit un modèle théorique au moyen du four où les phénomènes de calcination et de perte d'éléments premiers durant une cuisson se retrouvent dans la nature. Par ces deux exemples, les occurrences artificielles (coction de la chaux) expliquent les manifestations volcaniques et végétales, car les forces sont les mêmes [220].

[219] Trad. L. Callebat.
[220] *Vitruve II*, p. 97, n. 4.

Vitruve observe par une expérience que le calcaire perd des *principia* à la cuite. D'après les conceptions scientifiques antiques, l'expérimentation corrobore sa théorie, puisque celle-ci affirme que l'eau et l'air, qui composaient la pierre, sont partis en laissant des pores et que de la chaleur s'y cache (cf. *Saxum*). De plus, cette théorie permet d'expliquer les phénomènes qui se manifestent au cœur du chaufour.

3.2. Que se passe-t-il dans la fosse d'extinction ? Les réactions chimiques d'après Vitruve

Les phénomènes d'extinction de la chaux, d'après la chimie moderne, ont été traités dans *calculus*. Il est temps d'aborder le point de vue vitruvien sur le trempage et l'hydratation de l'oxyde de calcium.

3.2.1. Principe de l'extinction (*maceratio*) (2, 5, 3; 7, 2, 1; 7, 3, 7)

À la sortie du four, la chaux est un corps instable et poreux, dont la coction a dissipé des éléments fondamentaux (*principia*) : son « eau de constitution » (cf. 7, 3, 7 : *in fornacibus excocto liquore*) et son « air de constitution » *aer* (2, 5, 3). Par un trempage durable (*maceratio diuturna*), décrit en 7, 2, 1, on contraint (*cogere*) la *calx* à perdre son bouillonnement (*deferuescere*) par l'eau (*liquore*) afin qu'elle « mûrisse complètement » (*uno tenore concoquatur*).

Le sens du verbe *concoquere* en 7, 2, 1 est difficile à traduire [221] car il possède trois sens:

1) « cuire ensemble, cuire avec » (Sen. *Epist*. 98, 28; Plin. *Nat*. 31, 122).
2) « digérer, élaborer » (Cato *Agr*. 156, 1; Cic. *Nat*. 2, 24; 2, 124; *Fin*. 2, 64; Sen. *Benef*. 4, 39, 3).
3) « résoudre, mûrir » (Plin. *Nat*. 21, 127; 24, 54).

Dans le processus de trempage/extinction, la notion de « digestion » ou de « mûrissement » est présente et c'est pourquoi le verbe *concoquere* « cuire ensemble, digérer, mûrir » est usité par Vitruve. Le goût de l'eau de chaux pourrait être un indicateur de l'état d'hydratation, comme l'est l'absence de réaction chimique visible, indiquant la fin de l'opération. En effet, dans l'eau de détrempage, la saveur acide disparaît quand les transformations chimiques sont terminées : dans ce cas, l'hydroxyde de calcium est alors « mûre ».

[221] Fensterbusch: « (complétement) éteinte » ((*vollständig*) *gelöscht wird*); Granger: « trempée pour obtenir une qualité complète » (*tempered to an even quality*); Liou-Zuinghedau: « cuisson (de la chaux) soit menée jusqu'à son terme ».

3.2.2. Les phases d'extinction (2, 5, 3)

En suivant le texte de Vitruve, on peut décomposer les phases de l'extinction.

- ***Plongée de la pierre dans l'eau :*** **intinctus in aqua**

La motte de chaux (*lapis*) est plongée dans l'eau (*intinctus in aqua*) avant que la chaleur cachée dans les pores de la pierre de chaux ne fasse bouillir l'eau.

Aqua désigne ici l'étendue ou la masse liquide comme dans certaines références du livre VIII [222]. Le verbe *intingere* « imprégner, tremper » se retrouve chez Vitruve, par exemple au livre VIII (8, 3, 5 ; 8, 3, 14 ; 8, 3, 18), notamment en 8, 2, 9, où de l'eau à cause de sa nature « poreuse » (*propter naturae raritatem*) peut subir imprégnations (*intinctus*) et mélanges (*commixtus*), c'est-à-dire acquérir des particularités physiques. De même, Caton (*Agr*. 156, 1) mentionne *in aceto* (*brassicam*) *intinguito* « faire macérer du chou dans du vinaigre » usité dans un contexte médical. Ainsi, les notions de trempage et de laps de temps sont présentes dans *intingere* et dans le syntagme de Vitruve 2, 5, 3: *priusquam ex igni uim recipit* « avant que la chaux ne reçoive la force du feu ». Concrètement, une chaux aérienne possède un délai rapide d'extinction, une chaux hydraulique, une période plus lente et une chaux maigre, davantage (jusqu'à vingt jours).

- ***Échauffement*** **(conferuescere)**

La chaux subit un échauffement (*conferuescit*) quand l'eau pénètre dans les interstices des pores (*umore penetrante in foraminum raritate*). Le verbe *conferuescere* « s'échauffer en totalité » se trouve chez Vitruve en 2, 6, 4; 5, 3, 2 et 7, 11, 1. En 5, 3, 2, il est utilisé pour décrire la chaleur du soleil transmise à l'air. En 2, 6, 4, Vitruve explique que tous les ingrédients du mortier (chaux et agrégats volcaniques) ont été exposés à une calcination (artificielle ou naturelle): tous s'échauffent avec effervescence au moyen d'un *calor latens* « chaleur résiduelle », qui provient vraisemblablement de chacun des composants calcinés du liant.

Le *calor latens* d'un bloc, sorti d'un chaufour, est sans effet tant qu'il n'est pas activé par une substance extérieure ; l'eau, en pénétrant dans les cavités (*foramina*, *raritates*) de la matière cuite, lui fournit un aliment; cette chaleur alors s'exprime au sens propre du terme : d'après P. Gros, le verbe *conferuescere* décrit « cette idée de l'allumage d'une réserve d'énergie restée en latence », avant l'intervention d'un nouvel élément [223].

---

[222] *Aqua*, dans le livre VIII, le terme est saisi comme étendue ou masse liquide, cependant qu'*umor* sert à définir l'eau comme élément liquide ou principe humide ; cf. Callebat 1990, p. 15. Cependant, *aqua* et *liquor* peuvent se substituer l'un à l'autre : 8, 3, 16 ; 8, *pr*. 4 ; 8, 3, 14.
[223] *Vitruve II*, p. 92, n. 1.

- ***Pénétration et refroidissement des éléments***

La pénétration brutale d'un élément « eau liquide » (*umor*) aboutit à la disparition du *calor latens*. La particularité tient au fait que le feu, quand il s'échappe d'une matière, dégage une forte chaleur, laquelle est ensuite chassée du corps de la chaux (*reicit ex calcis corpore feruorem*) et de la sorte, celle-ci se refroidit (*ita refrigeratus*).

3.2.3. Interprétation de la réaction d'extinction

L'hypothèse de la chaleur latente (*calor latens*) correspond au phénomène observé (l'échauffement de l'eau) et celui-ci est rapporté par des auteurs postérieurs (Sen. *Nat*. 3, 24, 4 ; Isid. *Orig*. 16, 3, 10) et surtout Pline le Naturaliste (*Nat*. 36, 174): « il est singulier (*mirum*) qu'une substance, après avoir été calcinée (*postquam arserit*), soit rendue brûlante par l'eau (*accendi aquis*) » [224]. Le chaud est ainsi le moteur chimique de l'extinction du matériau pour ces auteurs.

La partie de la phrase, où Vitruve décrit la réaction d'hydratation, peut se décomposer en quatre composantes et constituer une analogie d'équation « chimique » :
lapis intinctus in aqua :

1. *umor penetrans in foraminum raritates + calor latens*
2. *lapis conferuescit* (*uis ex igni*)
3. *lapis refrigeratus*
4. *lapis reicit ex calcis corpore feruorem*.

Dans les notices de 2, 6, 4 (calcination naturelle ou artificielle des composants du mortier) et de 2, 5, 3 (hydratation de la chaux), les forces et les phénomènes de la nature sont en fait les mêmes. Ces lois physiques issues du four sont applicables au volcanisme du sixième chapitre du livre II.

3.2.4. Le vocabulaire de l'extinction de la chaux (*calx* + adjectif)

- **Calx extincta** « ***chaux éteinte*** » **(2, 5, 1)**

On éteint vraiment la chaux : dans l'eau, la température peut atteindre 300 °C, mais elle est de 150 °C en moyenne ; l'oxyde de calcium foisonne et bouillonne (*conferuescere* 2, 5, 3). Le matériau possède une chaleur latente et subit le feu, car l'eau l'allume (*incedere*) (Pline

[224] Trad. R. Bloch.

Nat. 36, 174). À la fin de l'opération, *calx extincta* « chaux éteinte » est un corps saturé de ce liquide.

- **Calx macerata « *chaux éteinte* » *(7, 2, 1/7, 2, 2)***

Macerare « rendre doux, amollir, tremper » indique un procédé de trempage. Chez Caton (*Agr*. 156, 5), dans un contexte médical, ce verbe est usité pour l'action de tremper du chou dans l'eau (*macerare brassicam in aqua*). De même, Pline (*Nat*. 28, 116) utilise *macerare* dans un contexte identique. Chez Plaute (*Poen*. 243), on dessale (*macerantur*) le poisson (*salsa muriatica*). Le même auteur use de *macerare* dans un sens figuré pour l'épuisement du corps (Plaut. *Capt*. 554) et de l'esprit (Plaut. *Capt*. 98; *Pseud*. 4).

Dans le *De architectura*, les termes dérivés du verbe sont *maceratio* « trempage », qui désigne le procédé d'extinction de la chaux et *permacerare* « tremper entièrement », verbe peu fréquent et qui peut être un synonyme de *concoquere uno tenore* « mûrir complètement ». *Macerare* possède les sèmes « station prolongée dans l'eau » et « période de temps ». Avec *calx*, *macerata* peut commuter avec *extincta* et les deux lexies complexes sont synonymes. Dans le processus technique, le délai de détrempage est nécessaire et ainsi le trait pertinent « période de temps » qui est un sème fondamental chez *macerata*, est présent chez *extincta* et devient un sème afférent contextuel. Si l'on compare avec *lutum*, *lutum maceratum* « torchis ayant macéré » est possible, mais **lutum extinctum* « torchis éteint » ne le serait pas.

- **Calx euanida « *chaux sans force* » *(7, 2, 2/7, 3, 7)*, calx siticulosa « *chaux desséchée* »**

En 2, 8, 2-3 et 2, 10, 1, l'adjectif *euanidus* désigne des matériaux (liant, bois), qui, en séchant, s'affaiblissent et s'effritent. *Siticulosus* est peut-être créé sur le modèle de *febriculosus* [225]. En 7, 13, 3, il est employé dans un contexte où le pigment de pourpre, une fois traité, doit être protégé de la dessiccation par du miel ; chez Horace (*Epod*. 3, 16), l'adjectif dénote un sol aride. *Calx siticulosa* est donc une matière encore vive, qui n'est pas incomplètement hydratée.

De même, en 7, 2, 2, la chaux *euanida* « sans force » désigne aussi un oxyde de calcium trempé dans l'eau et dont l'hydratation n'est pas complètement achevée ; elle est partiellement *uiua* « vive ». La chaux décrite peut être soit maigre et argileuse soit dolomitique. Ainsi, le processus de détrempage n'est pas jusqu'à maintenant accompli: *cumque siccum et purum ferrum educetur* « le fer sort sec et propre ». En 7, 3, 7, à la sortie du four, la lexie complexe *calx euanida et facta raritatibus* « chaux sans force et poreuse » qualifie

[225] Ernout 1949, p. 69 ; *Vitruve VII*, p. 103, n. 2

l'oxyde de calcium qui est prêt à récupérer son équilibre « élémentaire » en absorbant les composés d'autres corps, comme les granulats. *Calx uiua* « chaux vive » (8, 6, 8) est synonyme de *calx euanida et facta raritatibus*. La commutation de l'adjectif *uiua* est possible soit avec *euanida* soit avec *euanida et facta raritatibus*.

Les adjectifs *uiua* « vive » et *euanida* « sans force » sont opposés sémantiquement, mais ils sont synonymes dans un contexte vitruvien. Avec *calx euanida*, on dispose d'un syntagme original. L'adjectif *euanida* a un emploi dans une description scientifique et devient donc une unité lexicale à connotation savante, tandis que *uiua* peut se définir comme un terme de métier. *Calx euanida* « chaux sans force » et *calx siticulosa* « chaux desséchée » désignent la chaux encore vive, partiellement éteinte.

En sortant du four, l'oxyde de calcium (*calx uiua*, 8, 6, 14) est un corps instable et incomplet qui a perdu son eau et son air de constitution. Le procédé de *maceratio* « trempage, extinction » fait disparaître du matériau sa chaleur cachée. Cette méthode se distingue par l'irruption de l'eau (*liquor*/*umor*) dans les porosités du bloc et par une effervescence ou bouillonnement (*deferuescere*). L'adjectif *uiua* « vive » employé par Vitruve est assurément un terme de métier pour caractériser de cette matière « vivante », qui brûle ou mord la peau de l'utilisateur. Lors de l'extinction (7, 2, 1-2), si la chaux n'est pas assez éteinte, elle est *euanida* « sans force » et *siticulosa* « desséchée », ces deux adjectifs étant quasi synonymes de *uiua*. Dans le cadre de sa théorie, Vitruve se sert d'adjectifs à connotation plus savante (*euanida* et *siticulosa*) que *uiua* « vive » (trop courant) pour décrire l'état du matériau à la sortie du four. Dans l'esprit de Vitruve, la chaux vive a perdu des forces après la cuisson. L'hydratation permet donc de regagner en force ce que la calcination a fait disparaître. Le bon respect de l'extinction *ratio macerationis* (7, 2, 2), aboutit au mûrissement de la *calx* : elle sera *temperata* « à point », plus exactement elle aura « atteint le point d'équilibre ». Le verbe *temperare* désigne aussi bien la combinaison des éléments premiers dans chaque corps complexe que le dosage satisfaisant de chacune des composantes du mortier et des moellons dans l'*opus caementicium* [226]. Par la *maceratio*, la chaux regagne les forces qu'elle a perdues à la calcination et atteint ainsi le point d'équilibre.

3.3. La notion de *ieiunitas* et la chimie de la prise d'après Vitruve (2, 5, 3 ; 2, 8, 2 ; 7, 4, 3 ; 7, 3, 7)

Si les phénomènes d'hydratation sont expliqués en détail par Vitruve, il n'en va pas de même pour la prise du liant : invoquant la doctrine des quatre éléments (2, 5, 3 et 7, 3, 7), il n'en précise pas les composantes. À l'opposé, il peut résoudre les défauts de certains

[226] Cf. 2, pr. 5 ; 2, 5, 1 ; 2, 9, 10 ; 2, 9, 14 ; *Vitruve II*, *Introduction*, p. XVIII.

mortiers avec ses interprétations théoriques (2, 8, 2 et 7, 4, 3). Il faut donc analyser ces textes pour faire la synthèse de la théorie chimique vitruvienne dont la pièce majeure est la notion de *ieiunitas*.

À une échelle microscopique, Vitruve (2, 5, 3) écrit que la chaux, matière instable après les opérations de calcination et d'extinction, absorbe les corps (agrégats) qui sont à sa portée. Mais il ne précise pas pourquoi elle s'imprègne de ces substances : il le fera en 7, 3, 7.

3.3.1. La *ieiunitas*, moteur de la prise de la chaux (7, 3, 7)

Le feu, qu'il soit d'origine artificielle ou naturelle, fait perdre des éléments (eau et air) à la chaux, à la pouzzolane et au tuf volcanique, lorsqu'il est à leur contact. La pouzzolane et le tuf volcanique sont ainsi des corps « atomiquement » modifiés et incomplets, qui doivent retrouver un équilibre « moléculaire ». Dans un liant, les substances sont mélangées à un liquide et leur instabilité « atomique » les agglutine les unes aux autres. En 7, 3, 7, Vitruve ne précise pas quels sont les échanges entre la *calx* et les autres ingrédients. Pour combler son manque (*ieiunitas*), « la chaux se colle ou absorbe ce qui l'entoure (*coacta corripit in se quae res forte contigerunt*) ». Tout au plus, écrit-il que « la chaux durcit en masse (*una solidescendo*) grâce aux éléments ou principes apportés par d'autres substances (*ex aliis potestatibus conlatis seminibus seu principiis*). » Mais constate-t-il, « quel que soit le dosage de mélange où la chaux est en composition » (*in quibuscumque membris est formata*) c'est-à-dire, quel que soit le ratio agrégat/chaux et la proportion d'eau, c'est toujours la chaux qui durcit, car elle revient à son état antérieur de corps solide. Pour dire autrement, quelles que soient les substances qu'on ajoute à la chaux, celle-ci durcit inévitablement. Elle retrouve donc, quelle que soit la composition du granulat qu'on adjoint, son équilibre « élémentaire » d'avant la calcination. Cette solidification de la *calx* se fait dans n'importe quelle utilisation, aussi bien en enduit, joint, ou liant.

3.3.2. Définition de la *ieiunitas*

Le terme *ieiunitas* « sécheresse (de la chaux) », se trouve en 2, 6, 4, en 7, 3, 7, et en 7, 4, 3 [227]. Le mot signifie habituellement « grande faim » (Plaut. *Merc*. 574), « manque, absence de » (Cic. *Orat*. 2, 10) et au sens figuré « sécheresse du style, sobriété du style, de la pensée ». Vitruve l'utilise sous un sens nouveau et l'associe à un contexte théorico-chimique autour des quatre éléments. Dans sa théorie, les *principia* « éléments premiers » sont les participants dynamiques de la prise calcique. Ces derniers sont fournis par l'eau et par des ajouts réactifs ou *potestates* « substances ». Le tableau que brosse Vitruve des réactions qui se passent à

[227] Callebat, Fleury 1995, p. 40.

l'échelle microscopique est démonstratif dans les deux passages. En 2, 5, 3, P. Gros note l'importance des verbes exprimant « l'interpénétration des éléments premiers et des corps complexes » [228] : *corripere, cohaerescere* (fréquentatif de *cohaereo*) et *coire* [229]. *Corripere* et *coire* sont repris en 7, 3, 7.

En 2, 6, 4 et 7, 3, 7 Vitruve utilise donc *ieiunitas* « faim, sécheresse » pour définir cette tendance de la chaux à se coller à d'autres corps et à s'imbiber de leurs éléments constitutifs. La notion de *ieiunitas* désigne l'idée d'un manque. Dans le monde minéral, comme la chaux par exemple, la *ieiunitas* est la force, qui contraint toute matière privée de l'une de ses composantes, à se rééquilibrer en absorbant des constituants d'autres substances [230]. En terminologie plus contemporaine, elle est le catalyseur de la réaction chimique du phénomène de prise et c'est pourquoi on pourrait rapprocher, par analogie, ce terme d'une instabilité physique ou moléculaire.

En 2, 5, 3 et 2, 6, 4, revient plusieurs fois l'idée que l'élaboration des matériaux et des techniques de construction transpose ou reproduit les processus naturels de l'agrégation des *principia*. Ainsi, Vitruve mêle à sa théorie adaptée des quatre éléments, des notions que Lucrèce avait exposées dans son livre II : mouvement et condensation en un seul corps, d'après P. Gros [231]. On peut donc classer des composants d'un mortier selon une *ieiunitas* naturelle ou artificielle.

Ieiunitas artificielle :
— *calx* « chaux »
— *testa* « argile kaolinitique cuite »

Ieiunitas naturelle :
— *harena fossicia* « sable volcanique »
— *puluis* « pouzzolane »
— *tofus* « tuf volcanique »
— *pumex*, *spongia* « pierre ponce ».

Cette distinction entre *ieiunitas* naturelle et artificielle révèle en 2, 6, 1 et 3 toute son importance dans l'élaboration d'un béton hydraulique pour les môles.

---

[228] *Vitruve II*, p. 93, n. 3.
[229] *Coire* est utilisé en 2, 2, 2 où Vitruve résume la théorie des éléments premiers qui sont présents dans tous les corps naturels: *Ex his ergo congruentibus cum res omnes coire nascique uideantur* « Toutes choses semblent donc être formées et produites par la rencontre de ces éléments ».
[230] *Vitruve II*, p. 97, n. 1.
[231] *Vitruve II*, p. 97, n. 2.

3.3.3. *Ieiunitas* et les *materiae* hydrauliques (2, 6, 1 ; 2, 6, 4)

En 2, 6, 1, Vitruve vante les « propriétés remarquables » (*res admirandas*) de la pouzzolane. En effet, « mêlée à la chaux et aux moellons (*Quod commixtum cum calce et caemento*), non seulement elle assure la solidité des différentes constructions (*ceteris aedificiis praestat firmitates*), mais plus particulièrement aussi, elle fait s'affermir sous l'eau la maçonnerie des digues de mers (*moles, cum struuntur in mari, sub aqua solidescunt*). » [232] Puis il explique l'interaction chimique entre les trois ingrédients d'un béton hydraulique.

- ***Les trois constituants du béton hydraulique (2, 6, 1) dans la construction de môles : chaux, tuf et pouzzolane.***

La chaux vive, le tuf volcanique et la pouzzolane (qualifiée en 2, 6, 6 de « terre consumée par le feu ») ont en commun « le fait d'être semblablement formés par la violence du feu (*consimili ratione igni uehementia formatae*). » Ils se retrouvent dans un même mélange et l'absorption soudaine de l'eau de mer par ces trois constituants les fait s'agglutiner les uns aux autres : « durcis par l'eau, ils forment rapidement un bloc que ni les vagues, ni la force de l'eau ne peuvent désagréger. » [233]

La chaux aérienne ne peut prendre seule sous l'eau, à moins que cela ne soit de la chaux hydraulique, comme celle décrite en 2, 5, 3. La cendre et le tuf volcaniques apportent cette propriété de faire durcir la chaux sous l'eau. Cette prise d'un béton se manifeste notamment par une absorption soudaine de l'eau (*repente liquore*), qui rappelle les phénomènes de l'extinction de l'oxyde de calcium : apparemment, c'est de la chaux vive et non pas de la chaux éteinte qu'on jette dans l'eau de mer avec le tuf et la pouzzolane ; toute la description vitruvienne le donne à penser.

Vitruve constate que ces trois ingrédients (*tofus*, *puluis*, *calx*) ont subi la « violence du feu » (*igni uehementia*) selon « un principe identique » (*consimili ratione*): le tuf et la pouzzolane sont calcinés naturellement par le feu volcanique et ont perdu un constituant (eau) (2, 6, 3), alors que la *calx* est cuite dans un four et qu'à la suite de cette opération, l'air et l'eau ont disparu. Le *puluis* et le *tofus* sont donc aussi des corps « atomiquement » modifiés et incomplets par une cuisson. En 2, 6, 1, le terme *ieiunitas* est absent, tout en étant présent dans la description. Vitruve se contente d'observer que c'est l'irruption de l'eau de mer au contact des matériaux (chaux, pouzzolane, tuf), ayant tous subi la violence du feu (volcanique ou artificiel), qui fait en même temps l'extinction, puis la prise du béton hydraulique.

[232] Trad. L. Callebat.
[233] *Id*.

- ***Reformulation du phénomène de prise (2, 6, 4)***

Vitruve (2, 6, 4) reformule la description de la prise du béton hydraulique en introduisant la notion de *ieiunitas*, qui est contenue dans la chaux, le tuf et la pouzzolane: « Quand des matières différentes et hétérogènes sont ainsi saisies et unies en une même masse (*dissimilibus et disparibus rebus correptis et in unam potestatem conlatis*), le phénomène d'effervescence (*confeuerscit*) produit par la brusque saturation en eau (*aqua repente satiata*) de ces brûlantes matières desséchées (*calida umoris ieiunitas*) et la chaleur latente des différentes composantes *(communibus corporibus latenti calore*) les fait s'agréger fermement (*et uehementer efficit ea coire*) en prenant rapidement les propriétés homogènes d'un corps solide (*celeriterque unam soliditatis percipere uirtutem*). »[234] Le *tofus* et le *puluis* ont une *ieiunitas* « naturelle », tandis que la chaux en a une « artificielle » due à la calcination dans le chaufour.

- ***Analyse de la réaction de prise (2, 6, 4)***

Plongés dans l'eau, le tuf et la pouzzolane ne subissent aucune modification chimique apparente : ils restent tels quels à l'inverse de la chaux vive. Par conséquent, le degré de la prise du béton hydraulique découle des « instabilités chimiques » combinées (*ieiunitates*) des trois corps, mais c'est surtout la *calx uiua* qui démarre et catalyse les réactions. Sans elle, il ne se passe rien. Sa *ieiunitas* est plus forte que celles de la pouzzolane et du tuf.

Le durcissement dépend aussi de la quantité d'eau qui pourra combler le manque de l'élément « eau » des trois ingrédients : plus cette quantité est importante, plus leurs *ieiunitates* seront apaisées et ainsi la prise sera correcte. On peut distinguer les diverses phases du béton hydraulique dont le catalyseur est la soif des matériaux (*calida umoris ieiunitas*) :

1) *Igitur dissimilibus et disparibus rebus correptis et in udam potestatem conlatis*,
2) *calida umoris ieiunitas aqua repente satiata*
3) *conferuescit communibus corporibus latenti calore*
4) *uehementer efficit ea coire celeriterque unam soliditatis percipere uirtutem*.

Dans ces textes (2, 6, 1 et 4), Vitruve explicite les réactions physico-chimiques de la prise d'un béton hydraulique. Même si *ieiunitas* n'est présent qu'en 2, 6, 4, les deux descriptions sont complémentaires et indiquent le processus de solidification sous l'eau de mer d'un béton. On retrouve les mêmes explications qu'en 2, 5, 3 : le bouillonnement du liant (*conferuescere*), l'activation de la chaleur cachée (*latens calor*) de la chaux par l'irruption de l'eau. Mais on note quelques différences entre le mortier hydraulique et le terrestre.

[234] *Id*.

Contrairement au détrempage et au gâchage d'une chaux « terrestre », où l'on mesure la quantité d'eau et d'agrégats à mélanger, la fabrication d'un béton hydraulique réunit les phases d'hydratation et de durcissement en une seule opération. De plus, le quota d'eau est plus important. Enfin, la combinaison des trois *ieiunitates* et cette soif combinée, brusquement rassasiée par l'eau de mer, expliquent la rapidité d'extinction et de solidification. Des granulats volcaniques donnent une prise rapide due au rééquilibrage de la chaux vive en éléments constitutifs.

À un niveau plus « élémentaire », ce matériau assure la cohésion et non les ajouts volcaniques, qui la facilitent. En effet, la réactivité « moléculaire » naturelle du *tofus* et du *puluis* est inférieure à la *ieiunitas* artificielle de la chaux. C'est celle-ci qui démarre et catalyse les réactions chimiques de durcissement. Les agrégats apportent seulement leurs composants physiques et leurs *ieiunitates* naturelles. L'eau et l'instabilité « chimique » des constituants fournissent la bonne *temperatura*.

3.3.4. Deux conséquences de la *ieiunitas* (2, 8, 2 ; 7, 4, 3)

La théorie de la *ieiunitas* permet à Vitruve d'expliquer deux phénomènes, d'abord la ruine des murs (2, 8, 2), puis la nécessité d'un lait de chaux pour l'accrochage d'un enduit.

- **Ieiunitas** ***et ruine de la maçonnerie (2, 8, 2)***

En 2, 8, 2, il avertit son lecteur des dangers que risque un *opus caementicium*, si l'on ne prend pas de précautions pour sa fabrication : « Pour la fabrication des deux appareils, ceux-ci doivent être construits avec de très petits matériaux (*ex minutissimis sunt instruenda*), de manière que les murs (*parietes*), pleinement saturés (*crebiter satiati*) d'un mortier de chaux et de sable (*uti materia ex calce et harena*), conservent plus longtemps leur cohésion (*diutius contineantur*). Lorsque ces matériaux sont de nature tendre et poreuse (*molli et rara potestate*), ils dessèchent totalement le mortier en lui enlevant et en absorbant son humidité (*exsiccant sugendo e materia sucum*); mais lorsque la quantité de chaux et de sable [volcanique] (*copia calcis et harenae*) sera très largement suffisante et abondante, le mur, qui aura davantage d'humidité (*umoris*), ne perdra pas aussi rapidement sa résistance et maintiendra ainsi sa cohésion. Aussitôt cependant que la porosité des moellons (de tuf poreux volcanique ou calcaire) (*per caementorum raritatem*) aura attiré et absorbé toute la réserve humide (*umida potestas*) du mortier (*e materia*), et dès que la chaux se désolidarise du sable (*calxque ab harena discedat*) et se défait, les moellons ne peuvent pas avoir d'adhérence avec ces éléments, de sorte que les murs finissent par s'écrouler. » [235]

[235] Trad. L. Callebat.

Le tableau que dépeint Vitruve peut être interprété comme une conséquence de la *ieiunitas*, même si le terme n'apparaît pas dans le texte. En 2, 6, 1 et 4, les agrégats volcaniques, ont une *ieiunitas* naturelle. Ainsi, comme les *caementa* « agrégats, moellons », tuf volcanique ou calcaire employés dans les maçonneries, sont de nature tendre et poreuse (*potestas mollis et rara*), cette porosité risque d'absorber l'eau du mortier et d'entraîner la ruine des murs. Vitruve réintroduit sans la nommer la *ieiunitas*, laquelle dénote ici l'instabilité « atomique » contraignant un corps manquant d'eau à s'imbiber de celle des autres substances humides qui entrent à son contact pour retrouver son équilibre interne, sa *temperatura*. Le vocabulaire utilisé dans tout ce passage (*sucus, sugere, exsugere*) est habituellement appliqué par Vitruve au monde vivant ou végétal (1, 6, 3 ; 2, 9, 3 ; 2, 9, 14), mais cette fois-ci il s'en sert pour l'univers minéral [236].

Pour résoudre l'écroulement des constructions, peut-être exagéré par notre auteur, celui-ci propose de substituer à la *structura caementicia* un appareil assisé en pierre ou en brique liant au moyen de crampons de fer ou de plomb le noyau central aux parements. Apparemment, Vitruve ne croit pas à la stabilité de la *structura caementicia* et il préfère les maçonneries grecques, plus belles et donc plus stables [237]. En fait, la solution pour éviter la ruine d'une paroi est plus simple. On peut fabriquer des *caementa* les plus petits possible : une dimension réduite facilite la pose et leur diamètre est fonction de l'épaisseur du mur. Ensuite, on mouille les agrégats pour prévenir une absorption calamiteuse de l'eau du mortier.

- **Ieiunitas** ***et lait de chaux (7, 4, 3)***

Vitruve (7, 4, 3) écrit sur les précautions à prendre, lorsqu'on couvre d'un enduit un revêtement mural en carreaux de terre cuite : « On passera alors sur ces tuiles [du mur] un badigeon (*dealbentur*) au lait de chaux (*calce ex aqua liquida*), afin que le gobetis au mortier de tuileau puisse s'y accrocher (*uti trullissationem testaceam non respuant*); car, à cause de la sécheresse qu'elles doivent à leur cuisson dans les fours (*propter ieiunitatem quae est a fornacibus excocta*), elles ne peuvent ni recevoir ni tenir l'enduit s'il n'y a en dessous de la chaux (*calx subiecta*) pour servir de liant entre les deux matières et les faire adhérer l'une à l'autre. » [238]

Le « lait de chaux » (*calx ex aqua liquida* ou *calx diluta)* s'obtient en diluant de la chaux grasse très pure dans 70 à 80 % d'eau [239]. Deux achoppements peuvent apparaître pour la

[236] *Vitruve II*, p. 113, n. 2.
[237] Cf. commentaire de P. Gros, concernant 2, 8, 2 et 4, p. 113-116 ; sur l'économie qu'on faisait sur la chaux (Pline, *Nat.* 36, 176) en la remplaçant par de la terre : Adam 1981, et Adam 1995, p. 81.
[238] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[239] Cf. Adam 1995, p. 76; Ginouvès, Martin 1985, pp. 45 et 137; dans le « devis de Pouzzoles » (*C. I. L.*,

fixation des enduits sur les tuiles. D'abord, l'aridité (*ieiunitas*) d'une céramique, à la sortie du four, fait qu'elle risque d'absorber l'eau du mortier : celui-ci, qui a besoin de liquide pour durcir, risque de se détacher, comme en 2, 8, 2. Ensuite, durant la cuite, les carreaux de terre cuite peuvent avoir un vernis ou une croûte empêchant l'accrochage de l'enduit : le lait de chaux peut la dissoudre.

La notion de *ieiunitas* est importante dans la théorie vitruvienne de la chaux. Elle ne désigne pas seulement la sécheresse de ce matériau, mais elle qualifie surtout l'instabilité « atomique » d'un corps après une cuisson (artificielle ou naturelle). Cette instabilité chimique pousse la chaux à s'emparer des composants d'autres substances de manière à récupérer la stabilité « moléculaire » qu'elle possédait avant la calcination. Notre architecte ajoute un nouveau sens à *ieiunitas* et l'utilise dans un contexte scientifico-technique cohérent.

3.4. Quelques usages particuliers de la chaux (7, 1, 7 ; 7, 9, 5 ; 8, 6, 8)

On ne traitera pas des usages architecturaux du matériau, lesquels seront étudiés dans les termes comme *harena*, *caementum*, *testa*, *sabulo*, *puluis*, mais les petits emplois comme ceux exposés en 7, 1, 7, ou encore en 7, 9, 5, et 8, 6, 8.

3.4.1. Le mastic de chaux vive et d'huile (7, 1, 7 ; 8, 6, 8)

En 7, 1, 7, Vitruve décrit un mastic de chaux et d'huile, qui servira à combler les joints d'un sol de circulation de tuiles (*bipedales*) : « Une fois les tuiles accolées (*quibus iunctis*), on emplit les interstices de chaux pétrie avec de l'huile (*impletur calx ex oleo subacta*) et après avoir réuni entre eux les joints, on les poncera. Ainsi, la chaux qui adhérera dans les interstices, en séchant, ne permettra pas ni à l'eau, ni à quoi que ce soit d'autre de traverser les joints. » [240] Dans cette description, Vitruve ne mentionne pas la nature de la chaux.

En 8, 6, 8, pour sceller deux tuyaux de poterie, Vitruve conseille d'enduire les joints (*coagmenta*) de chaux vive détrempée avec de l'huile (*calce uiua ex oleo subacta sunt inlinienda*). Pline (*Nat*. 31, 57) et Palladius (9, 11) indiquent que le joint est épais de deux doigts (36 mm). Le mélange d'oxyde de calcium et d'huile donne un mastic imperméable et assure l'étanchéité. Pline (*Nat*. 36, 182) et Palladius (1, 17, 3) le décrivent aussi. D'après le Naturaliste, la recette du liant (*maltha*) est la suivante : on éteint une motte de chaux avec du vin (*Glaeba uino restinguitur*), puis on la pile avec de la graisse de porc et des figues (*mox tunditur cum adipe suillo et fico*), ce qui est un double moyen de l'adoucir. Il précise que ce

X, 1781, 2, 18): *calx uda*.
[240] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

mastic est la chose du monde la plus tenace et dépasse la pierre en dureté (*Quae res omnium tenacissima et duritiam lapidis antecedens*).

Les données archéologiques attestent cette pratique. La préparation est aussi utilisée pour les stucs [241]. R. Malinowski, qui s'est intéressé aux matériaux et aux techniques de construction des aqueducs antiques, considère qu'un mélange d'hydroxyde de calcium et de liquide gras ne peut être employé, car donnant immanquablement une mixture incapable d'expansion et susceptible de se rétracter après quelques mois. À l'inverse, la chaux vive mêlée à de l'huile se dilate et voit son volume se développer dans l'eau, ce qui permet d'expliquer la notice vitruvienne. L'oxyde de calcium est mélangé à de l'huile, qui le rend plastique : d'après Pline (*Nat*. 24, 3-4) ces deux substances ont horreur de l'eau et se combinent bien. Au contact de l'eau circulant dans le tuyau, le mastic se trouve dans le joint et augmente de volume d'environ 40 % assurant le scellement de la tuyauterie [242]. Bien qu'aucun auteur ne mentionne la présence d'agrégat, R. Malinowski pense que de la poudre de marbre était ajoutée au liant et qu'au contact des sels et de l'eau, le mastic durcissait [243].

3.4.2. Chaux pour falsifier les couleurs (7, 9, 5)

Pour les auteurs anciens, la *calx* sert à contrefaire des matières premières. En 31, 114, Pline le Naturaliste indique que le natron est dénaturé en Égypte avec de la chaux, ce qui se détecte au goût : la substance naturelle fond tout de suite, alors que le produit falsifié pique et donne une forte et amère odeur (*Adulteratur in Aegypto calce, deprehenditur gustu. Sincerum enim statim resoluitur, adulteratum pungit calce et aspersu reddit oderem uehementer*) [244]. De même, en 7, 9, 5, Vitruve écrit que la chaux sert à frelater le cinabre : « Pour éprouver le cinabre suspect, il faut le cuire sur une plaque de fer (*ferrea lamna*) jusqu'à ce que la plaque soit chauffée à blanc (*donec lamna candescat*). Après cela, la couleur aura viré au noir, on retire la plaque du feu, et si après refroidissement le cinabre reprend sa couleur première, celui-ci sera sans défaut (*sine uitio esse probatur*) ; si à l'inverse le cinabre garde cette couleur noire, c'est la preuve qu'il est altéré avec de la chaux (*significabit se esse uitiatum*). » [245] Le chimiste K. C. Bailey, commentant le texte du Naturaliste (*Nat*. 33, 121), indique qu'une mixtion de cinabre (HgS) et de chaux, chauffée violemment dégage du mercure et noircit de manière durable [246].

---

[241] Cf. J. Alarcaõ et R. Etienne, *Fouilles de Conimbriga*, I, Paris, 1977, p. 32 ; Frizot 1977, p. 46.
[242] Moore 1995, p. 217.
[243] Malinowski 1979.
[244] Cf. Davidovits 2004.
[245] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[246] Bailey 1932 : $4\ CaO + 4\ HgS \rightarrow 4\ Hg + 3\ CaS + CaSO_4$.

3.5. Evolution de la chaux depuis Pline l'Ancien (*Nat.* 36, 174)

Écrivant à peu près un siècle après Vitruve, Pline (*Nat*. 36, 174) dresse une liste plus vaste des pierres calcaires que notre architecte. D'abord, « Caton le censeur condamne la chaux tirée de pierres de couleurs différentes (*e uario lapide*). La meilleure est extraite de la pierre blanche (*ex albo melior*). » Cette condamnation de Caton pouvait valoir pour la dolomie et non pas pour un calcaire siliceux ou argileux, qui aurait donné une chaux hydraulique, satisfaisante pour cet auteur. Puis le Naturaliste reprend la distinction de Vitruve, datant du premier siècle avant J.-C., correspondant aux chaux hydrauliques pour les bâtiments et aux chaux grasses pour les enduits: « La chaux provenant de pierre dure ((*lapide*) *duro*) est davantage indiquée pour la construction (*structurae utilior*), celle issue de pierres poreuses (*ex fistuloso*) davantage pour les enduits (*tectoriis*) ». Mais là où Pline se démarque de ses prédécesseurs (Caton l'Ancien et Vitruve), c'est lorsqu'il ajoute cette précision: *ad utrumque damnatur ex silice* « Pour l'un et l'autre usage, on rejette celle provenant de la silice. » [247]

La traduction de R. Bloch reste vague, dans la mesure où il reprend en partie l'interprétation et le commentaire de l'irlandais K. C. Bailey. Celui-ci renonce, dans le paragraphe 168 à trouver en anglais un équivalent à *silex*, car il semble difficile d'en donner un sens satisfaisant [248]. De plus, le commentaire de 36, 174 issu du traducteur anglais D. H. Eichholz, qui a établi l'édition des livres XXXVI et XXXVII de l'« Histoire Naturelle » de Pline dans la collection Loeb, indique que *ex silice* peut désigner un tuf calcaire, ce qui est logique et non pas une lave ou des pierres volcaniques. Mais pourquoi le Naturaliste condamne-t-il la chaux tirée du *silex*, alors que Vitruve la recommande pour les gros travaux ?

On peut donner deux explications. D'abord, *ad utrumque (usum) damnatur ex silice* est traduit par « pour l'un et l'autre usage, on rejette celle provenant du *silex* », mais on pourrait aussi interpréter ce passage par *ad utrumque (tectorium) damnatur ex silice* « pour l'usage des deux types d'enduits (enduit de sable et enduit de marbre), on rejette la chaux provenant du *silex* ». L'enduit de sable est appelé *harenatum*, chez Vitruve (7, 3, 5; 7, 3, 11; 7, 4, 1; 7, 4, 3) tandis que celui de marbre *marmoratum* se trouve chez Varron (*Rust*. 1, 57, 1; 1, 59, 3; 3, 7, 3) et Pline (*Nat*. 36, 176).

La première traduction est la plus logique et c'est celle qui est la plus communément admise. *Silex* peut désigner, chez Vitruve un calcaire compact (lithographique, silexoïde), fournissant une chaux hydraulique ou une dolomie. Mais depuis Vitruve, l'activité édilitaire d'Auguste puis de ses successeurs a changé la physiologie de Rome. L'empereur est devenu le principal commanditaire pour les grands travaux, et on reconnaît la nécessité d'une standardisation et la production en immense quantité des matériaux de construction

[247] Plin. *Nat*. 36, 174: *Quae ex duro, structurae utilior; quae ex fistuloso, tectoriis; ad utrumque damnatur ex silice*. Trad. R. Bloch.

fabriqués et mis en oeuvre par une main-d'œuvre servile et peu formée. La création de la curatelle des édifices publics dans les années 20 avant notre ère contribue à choisir et à se servir d'un sable volcanique normalisé (Trois Fontaines à Rome) et d'un moellon standard (Saxa Rubra). De fait, les réalisations les plus impressionnantes de la maçonnerie concrète, comme le second Panthéon et sa coupole (construit entre 118 et 125 *p. C.*) (Fig. 17) et les fastueux thermes de Caracalla occupant un espace de 330 m sur 400 (bâtis de 212 à 217 *p. C.*), nécessitaient aussi une standardisation de la préparation de la chaux. La chaux de l'époque de Pline l'Ancien est aérienne et il n'est nul besoin de produire de la chaux hydraulique, car les Romains ajoutent de la *testa* au mortier, et, dès la période de Néron, la généralisation du liant de *testa* permet le développement de l'*opus testaceum*, symbolisant l'architecture impériale romaine [249].

De fait, on constate que le Naturaliste (*Nat.* 36, 174) poursuit la liste des calcaires et que ceux-ci fournissent des chaux aériennes : « Préférable est la chaux faite de pierres extraites à celle provenant de pierres ramassées sur les rives des cours d'eau. La meulière fournit une chaux meilleure parce que sa nature est plus grasse. » [250]

4. Conclusion

De toute la littérature latine, Vitruve donne le corpus le plus important du terme *calx* « chaux ». Vitruve en consacrant le chapitre 5 du livre II à cette substance artificielle montre que la connaissance physico-chimique des matériaux précède toujours leurs usages en architecture. Sa théorie néo-pythagoricienne des quatre éléments est la conception antique la plus à même d'expliquer les phénomènes de calcination aussi bien synthétique (chaufour) que naturelle (volcanisme). Il donne deux définitions de la chaux : une « traditionnelle » (calcaire calciné) et une « scientifique ». La *calx* est un corps poreux, que la violence du feu a rendu incomplet, car n'ayant plus que de la « terre », du « feu » et de la chaleur. C'est une substance instable, dont on rétablira l'équilibre en mêlant de l'eau et du sable volcanique ou de la *testa*. C'est ce juste dosage entre chacun de ces composants dans le liant, que Vitruve appelle *ratio mixtionis temperaturae*. En outre, la théorie néo-atomiste de la chaux inclut la notion de *ieiunitas* laquelle explique les phénomènes d'extinction et de prise. Les forces physiques, se produisant à l'intérieur du chaufour, constituent un modèle d'explication du volcanisme souterrain (2, 6).

La *maceratio* « trempage, extinction » fait perdre à la chaux vive sa chaleur cachée, car l'irruption de l'eau (*liquor/umor*) dans les porosités du bloc déclenche l'effervescence

---

[248] Bailey 1932, p. 271.
[249] Adam 1995, pp. 83-84.
[250] Plin. Nat. 36, 174 : *Vtilior eadem effosso lapide quam ex ripis fluminum collecto, utilior e molari, quia est*

(*deferuescere*) du matériau. L'expression désignative à deux termes *calx uiua* « chaux vive » employée par Vitruve est assurément un syntagme de métier pour caractériser cette matière « vivante ». Une *calx euanida* « sans force » et *siticulosa* « desséchée » dénote une chaux insuffisamment éteinte. *Euanida* et *siticulosa* sont des termes savants pour décrire l'état du produit à la sortie du four. Dans l'esprit de Vitruve, la cuisson a dissipé des *principia* dans cette substance que l'extinction lui fait regagner. L'application d'une « règle de l'extinction » (*ratio macerationis*, 7, 2, 2) aboutit au mûrissement du matériau qui atteint un point d'équilibre (*temperata*).

La notion de *ieiunitas*, qu'on pourra comparer à une instabilité chimique, explique le comportement de la chaux, dès la sortie du chaufour, jusqu'à sa carbonatation (prise). Le théoricien présente ainsi le durcissement du mortier avec la théorie néo-pythagoricienne des quatre éléments. Il classe le produit selon les usages : chaux hydraulique pour le bâtiment et chaux aérienne pour les enduits. Cette distinction sera utilisée par les auteurs postérieurs, mais sera complétée par une liste de calcaires fournissant de la chaux aérienne, qui sera prédominante dans l'architecture romaine.

---

quaedam pinguior natura eius. Mirum aliquid, postquam arserit, accendi aquis. Trad. R. Bloch.

6. Carbunculus

1. Étymologie de *carbunculus*

Carbunculus (*-ī*, m) « sable volcanique, charbon (maladie), escarboucle » est le diminutif de *carbō* , *-ōnis* (m) « charbon de bois, produit de la combustion ». *Carbunculus* « petit charbon » est à l'origine du verbe *carbunculō* « souffrir de la maladie du charbon » et les dérivés de ce verbe, comme *carbunculatio, -onis* (f) « atteinte portée par la gelée ou la chaleur aux bourgeons naissants des arbres » [251]. On rapproche *carbo* avec le gothique *hauri* « charbon », le vieil islandais *hyrr* « feu », le lituanien *kùrti* « chauffer », le vieil havestique *herd* « foyer », et avec une racine *ker- (cf. *crĕmō, -ās, -āre* « brûler, détruire par le feu »). Mais le rapprochement est lointain et le *-b-* n'est pas expliqué. L'équivalent grec de *carbunculus*, ἄνθραξ (*anthrax*) possède à peu près les mêmes sens: « charbon de bois », « houille », « escarboucle, grenat » et enfin « furoncle »dans les traités de médecine. Le suffixe *-culus* a une valeur différenciative qui peut exprimer la notion de diminution [252].

2. Emploi et sens de *carbunculus* avant Vitruve

La mention la plus ancienne de *carbunculus* est chez Plaute (*Most*. 986) et l'occurrence la plus récente est usitée par Isidore de Séville (*Orig*. 16, 14, 1) [253]. On trouve cinq acceptions : « charbon ardent, braise » (Plaute, « Rhétorique à Herennius », Apulée, saint Jérôme, Isidore de Séville etc.), « sable » (Varron, Columelle, Pline l'Ancien, Gargile), « tuf, pierre » (« Liber Coloniarum »), « escarboucle, grenat » (Pétrone, Pline le Naturaliste, saint Jérôme, la Vulgate, saint Ambroise, saint Augustin) et « maladie (des hommes, des animaux, des plantes) » (Largius, Celse, Gargile, Pline l'Ancien, Columelle).

[251] Ernout, Meillet 1985, p. 99, *s. v*. Carbo.
[252] Leumann 1963, pp. 216-217 ; pour M. Fruyt, il peut avoir une qualité métaphorique ou connotative : Fruyt 1989.
[253] *T. L. L.*, III, col. 432-433, l. 27-70. La liste des auteurs que nous indiquons est indicative. Pour plus de détails, nous reportons le lecteur au *Thesaurus*.

3. *Carbunculus* chez Vitruve

Carbunculus « tuf volcanique, sable volcanique, carboncle » est usité quatre fois : 2, 4, 1 ; 2, 6, 6 (bis) ; 8, 1, 2 [254].
- *harena carbunculus* « tuf volcanique peu dur » : 8, 1, 2.

3.1. *Harena carbunculus* : un tuf volcanique (8, 1, 2)

3.1.1. Les propriétés du tuf en sous-sol (8, 1, 2)

Une première définition du *carbunculus* peut être donnée à partir du livre VIII. En 8, 1, 2, évoquant la qualité des eaux souterraines selon la nature d'un site, notre architecte énumère toute une série de roches : en fonction des particularités de celles-ci, les eaux peuvent avoir bon ou mauvais goût. Pour les terrains éruptifs, il écrit : « En outre dans l'argile sableuse et dans l'arène rougeâtre (*harena carbunculo*) les veines sont mieux assurées et plus constantes ; et de plus, elles ont bon goût. Dans la roche rouge (*Rubro saxo*) elles sont à la fois abondantes et bonnes, quand elles ne se perdent pas en s'échappant par des fissures. » [255] *Saxum rubrum* « roche rouge » fait référence en partie à 2, 7, 1 et 5 où Vitruve décrit les *Rubrae lapidicinae* à savoir les carrières de tuf volcanique rouge sombre à grain relativement fin de Saxa Rubra au nord de Rome. Pour le carboncle, l'architecte associe deux noms, *harena* et *carbunculus* en une expression désignative à deux termes. La proximité dans le texte de la lexie complexe *saxum rubrum* « tuf volcanique rougeâtre de Saxa Rubra » indique que l'*harena carbunculus* est aussi une roche de cette nature. Il présente ainsi un tuf volcanique dont le grain est proche de la dimension d'un sable et dont la qualité peu indurée est manifeste : il peut se déliter pour donner une arène.

Le tuf *carbunculus* est cité par le *Liber Coloniarum* (I, p. 243, 11), lequel mentionne qu'il est une pierre avec laquelle on fait des bornes pour les frontières et les champs (*in saltibus scorofiones et carbunculus, id est scorofion molis petrarum constructi*) [256]. L'élément déterminant pour la nature volcanique du tuf est donné par Columelle (3, 11, 7), lequel procure des conseils pour la culture de la vigne : « Quel cultivateur en effet, même médiocre, ignorerait que même le tuf le plus dur ou la roche charbonneuse (*carbunculus*), une fois qu'ils ont été concassés et ramenés à la surface, sous l'effet des tempêtes et du gel non moins que des chaleurs estivales, deviennent friables et s'ameublissent, que, l'été, ils rafraîchissement

[254] Callebat, Fleury 1995, p. 33.
[255] Vitr. 8, 1, 2: [...] *Item sabulone masculo harenaque carbunculo certiores et stabiliores sunt copiae; eaeque sunt bono sapore. Rubro saxo et bonae et copiosae, si non per interuenia dilabantur et liquescant.* [...]. De même, Plin. *Nat*., 31, 48 et Pallad. 9, 8. Trad. L. Callebat.

merveilleusement les racines des vignes et retiennent le suc — phénomènes très favorables à l'alimentation de l'arbuste ? » [257]

Ainsi, cette pierre, débitée en petits morceaux, donc facile à tailler, est semée sur les racines ou mêlée à la terre. Elle n'est donc pas forcément un *silex* « pierre dure », comme on peut le penser d'après le texte de Columelle. On peut le comparer à celui de Pline (*Nat*. 17, 29), qui ajoute, après avoir parlé du tuf *carbunculus* : « Des auteurs recherchent aussi le tuf naturellement… et friable (*Nam tofus natura..... ac friabilis expertitur quoque ab auctoribus*) » [258]. Cette caractéristique, de retenir et de restituer l'eau, est celle des minéraux volcaniques de la classe des zéolithes. La zéolithe absorbe l'humidité la nuit, et la rend le jour, rafraîchissant ainsi les racines. Ce tuf est un silicate d'alumine qui, après dégradation, donnera de l'argile. On le trouve dans les terrains éruptifs d'Etrurie, du Latium et de la Campanie.

Les sols volcaniques font de bons terroirs agricoles, car ils contiennent tous les éléments minéraux nécessaires. Comme la vigne, le châtaignier, lui, aime les terres de *carbunculus*. Les conseils de Pline (*Nat*. 17, 147), compilés par Palladius (12, 7, 19), indiquent quelles glèbes sont propices à sa culture: « Il demande un sol meuble sans être sablonneux, et surtout le gros sable humide ou le « charbon » ou même le tuf pulvérulent, dans un lieu aussi ombragé qu'on voudra, exposé au Nord et très froid (*Quaerit solum facile nec tamen harenosum maximeque sabulum umidum aut carbunculum uel tofi etiam farinam, quamlibet opaco septentrionalique et praefrigido situ uel etiam decliui*.). » [259] Ces quelques textes agronomiques latins montrent que le tuf *carbunculus* se délite [260]. C'est pourquoi, on convient, depuis la fin du XIX[e] siècle, que l'*harena fossicia* et donc le *carbunculus* doivent être classés parmi les « pouzzolanes », et non pas dans les grès (*sandstone*), comme l'affirmait de façon erronée C. Densmore Curtis [261].

---

[256] *Lib*. *Col*. I p. 243, 11 ; de même, 227, 16; 228, 6; II p. 252, 21; 259, 26.
[257] Colum. 3, 11, 7: *Quis enim uel mediocris agricola nesciat etiam durissimum tufum uel carbunculum, simulatque sit confractus et in summum regestus, tempestatibus et gelu nec minus aestiuis putrescere caloribus ac resolui; eumque pulcherrime radices uitium per aestatem refrigerare, sucumque retinere - quae res alendo surculo sunt accommodatissimae ?* Trad. J. C. Dumont.
[258] Trad. J. André.
[259] Palladius, *De l'agriculture*, édit. Saboureux de la Bonnetterie, Collection Nizard, Paris, 1851.
[260] Sur les autres textes agronomiques : Varron *Rust*. 1, 9, 2 ; Pline *Nat*. 17, 29. Sur le problème de ce dernier passage plinien, où nous préférons *macra* à la correction de J. André : André 1961 ; *Pline XVII*, note 1, p. 127 ; *Columelle III*, note 14, pp. 91-92.
[261] Cf. Guillaume 1877, p. 395 ; Curtis 1913.

3.1.2. Les tufs volcaniques qu'on a coutume d'appeler *carbunculus* dans la littérature archéologique

Comme déjà écrit *supra*, les terrains éruptifs sont présents en Etrurie méridionale et dans le nord du Latium, puisque c'est en effet, en Etrurie que Vitruve (2, 6, 6) situe le *carbunculus*. Durant un voyage en Etrurie (octobre 1995), nous avons pu retrouver certaines caractéristiques des sols et des cultures décrites pour les tufs volcaniques comme le carboncle. Ainsi, concernant le châtaignier, nous avons pu voir sur les bords du lac de Vico, dans les monts Cimini, des bois où il est cultivé. Le terrain est un tuf volcanique gris qui se désagrège pour devenir la glèbe. En effet, en trouvant une coupe géologique sous un chemin d'accès dans les bois, nous avons constaté que la roche se décompose pour se transformer en une fine poudre, qui mérite bien d'être appelée *tofi farina* « farine de tuf », comme le nomme Palladius (12, 7, 19), favorable à la croissance du châtaignier.

Dans la littérature archéologique italienne, on convient que le *carbunculus* est assimilé au *nenfro* d'Etrurie : on définit celui-ci comme un tuf gréseux solide. Pour l'archéologue G. Lugli, le nenfro, de couleur brune, doit être identifié au *carbunculus*. Il est tendre quand on le taille ou on l'extrait, et c'est pourquoi pour un usage édilitaire, on doit le faire vieillir pendant un an. Ainsi, il durcit lorsqu'on l'expose aux intempéries, comme beaucoup de tufs légers. On le rapproche du carboncle parce qu'il contient des noyaux de carbone noir : d'où le nom latin de *carbunculus* « petit charbon » ou « petite braise » [262].

En effet, les caractéristiques du *nenfro*, décrits par G. Lugli correspondent à un tuf volcanique qu'on trouve à Norchia, lieu réputé pour sa nécropole étrusque sculptée dans les falaises à l'est de Tarquinia (Fig. 6-7). Il est brun-rouge et possède des particules noires. Il dispose de propriétés de délitement qu'on attribue au *carbunculus* car, s'il reste cohérent en tant que roche mère, il se désagrège en surface pour devenir un sol de culture, dont la couleur ne distingue pas du substratum.

L'appellation de *nenfro*, voire de *peperino*, usitée par les carriers locaux et les archéologues, n'apporte en elle-même aucune information sur la composition de ces pierres. En fait, on précisera que le *nenfro* et le *peperino* entrent dans la catégorie géologique que A. Mottana, R. Crespi, et G. Liborio nomment « tuf pépérin » (*tufo peperino*). Celui-ci est une roche pyroclastique. Il se compose d'une prédominance de cristaux noirs d'augite et de biotite, avec des feldspaths clairsemés et d'abondantes leucites ; ces cristaux sont associés à des lapilli de composition variée et à des petits cailloux calcaires, le tout pouvant être faiblement lié avec un ciment autigène (zéolithes). L'aspect extérieur est le suivant : une couleur grise ou brune, mouchetée de noir ; la texture clastique peut être parfaitement

[262] Lugli 1957, pp. 397-398 ; Ginouvès, Martin 1985, p. 43 ; Giuliani 1990, p. 165 ; *Vitruve II*, p. 99, n. 2.

cimentée, avec une granulométrie de moyenne à grossière. Cette roche peut passer pour une brèche, à cause de la présence de « projectiles », qui contiennent des minéraux entièrement cristallisés ou des cristaux incohérents. Le « tuf pépérin » se forme en couches étendues issues de l'activité explosive du volcanisme (de type trachytique ou téphrito-leucitique). Il est caractéristique de l'Italie centrale (région co-magmatique romaine) et en particulier des monts Albains. Le *tufo peperino*, qui correspond à la pépérite, est une pierre de construction légère, solide et aisée de tailler [263]. A Tarquinia et à Norchia, le *nenfro* coïncide avec le « tuf pépérin » et il peut être rougeâtre ou gris, comme le montrent les sarcophages étrusques sculptés dans un tuf grisâtre moucheté, que l'on peut voir au musée de Tarquinia. Quelque nom qu'on lui attribue, le *carbunculus* est assurément un tuf volcanique.

3.2. La formation du *carbunculus*, tuf peu induré (*materia excocta*) (2, 6, 5-6)

Le carboncle doit être identifié sous la forme d'un tuf volcanique, vraisemblablement d'un « tuf pépérin », d'une ignimbrite trachytique ou téphrito-leucitique [264], lesquels peuvent se déliter pour donner une arène. Vitruve dépeint effectivement sous ce dernier aspect le *carbunculus* avec les autres *harenae fossiciae*, qu'utilise le maçon romain en 2, 4, 1 : « Les différents types de sable (volcanique) de carrières sont les suivants : le noir, le gris blanchâtre, le rouge, et le carboncle (*Genera autem harenae fossiciae sunt haec*: *nigra*, *cana*, *rubra*, *carbunculus*.) ». Comme les autres *harenae fossiciae*, le carboncle est choisi selon les mêmes critères : « Parmi ces sables, le meilleur est celui qui crisse quand on le frotte dans la main ; celui, en revanche, qui est terreux n'accrochera pas. Si l'on jette par ailleurs du sable sur une toile blanche que l'on secoue ensuite pour le chasser, et si ce sable ne la tache pas et n'y laisse pas de terre, il sera d'un bon usage. » [265] Le maçon choisit du sable propre non mêlé naturellement à de la terre ou à de l'argile (cf. *Harena*). Sous ce sens de *carbunculus* « sable », se retrouvent trois occurrences usitées chez Vitruve et cinq autres auteurs postérieurs comme Pline (*Nat*. 17, 29; 17, 147; 31, 48) et Gargile (*Pom*. 4, 5.).

3.2.1. La *materia* et le *carbunculus*: les effets du volcanisme sur les roches et leurs propriétés comme matériau de construction (2, 6, 6)

---

[263] Mottana, Crespi 1993, n°351. La *pépérite* est une « roche pyroclastique, de teinte grisâtre à roussâtre, constituée par des granules globuleux de lave basaltique vitreuse liés par un ciment de composition marno-calcaire » (http://www.brgm.fr/volcan/glossaire.htm). La *pépérite* correspond au *tufo peperino* du livre de Mottana, *et al*. mais nous conservons dans le reste de notre étude la locution *tuf pépérin*, comme référence et par précaution terminologique.

[264] L'ignimbrite est une « roche formée par l'accumulation de débris de laves soudés à chaud, à aspect de ponce ou de lave un peu fluidale. Ces formations proviennent d'éruptions explosives catastrophiques (nuées ardentes) et peuvent couvrir des surfaces importantes (20.000 km^2 ou plus) » : http://www.brgm.fr/volcan/glossaire.htm .

Pour trouver une description du *carbunculus* en tant que sable, il est utile d'examiner le célèbre sixième chapitre du livre II. C'est dans ce paragraphe (2, 6, 6), que Vitruve décrit les attributs du carboncle, comme matériau volcanique. Ce texte est réputé pour les difficultés de traduction et de commentaire qu'il suscite : « Dans les lieux où les montagnes n'ont pas un sol terreux (*non sunt terrosi montes*), mais de type rocheux (*genere materiae*), la violence du feu brûle ces roches quand elle traverse leurs veines; elle consume les parties amorphes et tendres, mais laisse intactes les parties dures (*quod est molle et tenerum, exurit, quod autem asperum relinquit*). C'est ainsi que si, en Campanie, la terre consumée (*exusta terra*) par le feu donne de la cendre (*cinis*), en Étrurie c'est le carboncle (*carbunculus*) que donne la roche portée à haute température (*excocta materia*). Ces deux matériaux sont excellents pour les maçonneries, mais les propriétés du second conviennent particulièrement aux constructions sur la terre ferme, celles du premier aux digues de mer. Ce matériau est par nature plus tendre que le tuf (*mollior quam tofus*), de plus grande cohésion que la terre (*solidior quam terra*), et sa calcination par les vapeurs venues des profondeurs produit, en certains endroits, le type de sable que nous appelons carboncle (*carbunculus*). » [266]

Vitruve développe dans son traité d'architecture sa théorie sur le volcanisme, qu'il reprend plus en détail dans le sixième chapitre du livre II. Les flammes venues des profondeurs de la terre entrent au contact des terrains. En 2, 6, 6, elles les cuisent et selon la nature des roches, leurs parties amorphes et tendres (*quod est molle et tenerum*) sont consumées tandis que les parties dures (*quod autem asperum*) demeurent. Ainsi naissent les tufs volcaniques, les pierres ponces et la pouzzolane (*tofus*, *pumex*, *terra*). Suivant la physique phlogistique des quatre éléments, qu'il a définie dans le chapitre de la chaux (cf. *Calx*), ces roches ont perdu des *principia* (eau), comme le calcaire qui devient de la chaux vive dans un four. De même, en 2, 6, 2, Vitruve écrit que la ponce de Pompéi tire ses particularités d'une autre pierre qui a été calcinée (*pumex Pompeianus excocto ex alio genere lapidis*). D'après la théorie volcanique de Vitruve, ces roches ont subi une érosion, non pas due à l'eau, mais au feu souterrain, et c'est de cette seule altération que parle notre auteur dans ce sixième chapitre du livre II.

Ces matériaux cuits naturellement ont des propriétés fascinantes pour l'ingénieur et l'architecte qu'est Vitruve. Leur utilisation est illustrée en 2, 6, 3, où le tuf volcanique (*tofus*) et la pouzzolane (*puluis*) sont mélangés à la chaux vive pour constituer un béton hydraulique

---

[265] Trad. L. Callebat.

[266] Vitr. 2, 6, 6 : *Ergo quibus locis non sunt terrosi montes sed genere materiae, ignis uis per eius uenas egrediens adurit eam ; quod est molle et tenerum, exurit, quod autem asperum relinquit. Itaque uti Campania exusta terra cinis, sic in Etruria excocta materia efficitur carbunculus. Vtraque autem sunt egregia in structuris, sed alia in terrenis aedificiis, alia etiam in maritimis molibus habent uirtutem. Est autem materiae potestas mollior quam tofus, solidior quam terra, qua penitus ab imo uehementia uaporis adusta, nonnullis locis procreatur id genus harenae, quod dicitur carbunculus.* Traduction L. Callebat.

qui fait prise sous l'eau de mer. Les trois ingrédients, d'après la chimie vitruvienne, sont des corps « atomiquement » modifiés et incomplets.

3.2.2. *Terra exusta* « terre brûlée » et *excocta materia* « roche calcinée » : un classement du degré de cuisson naturelle des roches issues du volcanisme

En 2, 6, 6, notre architecte confronte les attributs des deux matériaux éruptifs, pouzzolane (*puluis*) et carboncle, lequel est un tuf peu consolidé et un sable (*harena fossicia*). La phrase elliptique de Vitruve *Itaque uti Campania exusta terra cinis, sic in Etruria excocta materia efficitur carbunculus* « c'est ainsi que si, en Campanie, la terre consumée par le feu volcanique donne de la cendre, en Étrurie c'est le carboncle que donne la roche portée à haute température » appelle quelques commentaires à la lumière de sa théorie géologique, de sa classification des matières premières et donc de leur emploi avec la chaux.

D'abord, le théoricien compare deux résultats extrêmes de cuisson volcanique : la pouzzolane est une *terra exusta* « une terre brûlée » tandis que le tuf ou sable *carbunculus* est un corps minéral cuit à température. *Exusta*, participe passé passif du verbe *exuro -ere* « détruire par le feu, incendier », appartient au vocabulaire de la destruction, de la violence. Ainsi, Virgile (*Aen.* 6, 741 - 742) parle des tortures que l'on inflige aux âmes dans les enfers: « pour d'autres [âmes], c'est dans un vaste gouffre que l'infection du crime est emportée par lavage ou **consumée par le feu** (*aliis sub gurgite uasto infectum eluitur scelus aut* ***exuritur igni***). » [267]

Le participe passé *excocta* « cuit à haute température », qui accompagne *materia*, vient d'*excoquere* « cuire » lequel dérive de *coquere* « faire cuire, brûler », dont les occurrences et les verbes de la même famille dans le *De architectura* indiquent un processus de coction dans un four, une étuve, etc. [268] *Excoquere* est usité en 7, 4, 3 pour désigner la cuite de la chaux. *Excocta materia* pourrait dénoter un matériau chauffé artificiellement, or la lecture du passage montre qu'*excocta* est utilisé dans la description d'une cuisson volcanique, donc naturelle. Ainsi en 2, 6, 2, la pierre ponce de Pompéi est le résultat d'une roche calcinée par la chaleur souterraine (*pumex Pompeianus excocto ex alio genere lapidis*).

En fait, dans le sixième chapitre du livre II, l'image du chaufour, qui explique les activités éruptives, apporte, avec elle le champ sémantique de la coction de la chaux. Si pour notre architecte, ces phénomènes des profondeurs terrestres sont de même nature que ceux qu'on trouve dans un four, il est normal qu'il emploie le vocabulaire technique de la chaux

---

[267] Trad. J. Perret.

[268] Callebat, Fleury 1995, p. 52 : *coctura* « chauffage, cuisson » (7, 9, 1) à propos de la préparation du cinabre; *concoquo* « faire cuire » (7, 2, 1) concernant la préparation de la chaux ; *coquo* « faire cuire, brûler » (1, 5, 8 / 2, 5, 1 /2, 9, 14 / 7, 2, 1/7, 10, 04 / 7, 11, 2/8, 1,5 / 10,16,10) au sujet de la fabrication des briques, de la préparation de la chaux, des couleurs.

pour dépeindre le volcanisme. Ainsi, sous un sens figuré, *excoquere* signifie « calciner par un feu volcanique ». Le volcanisme décrit par Vitruve ne se caractérise pas par des éruptions, mais il se manifeste indirectement, au moyen des vapeurs soufrées souterraines — lesquelles fournissent une chaleur pour une sudation (2, 6, 1) — et des sources d'eau bouillante localisées en Etrurie.

De plus, on s'aperçoit que Vitruve n'obéit pas à une vague intention de naturaliste en exposant sa théorie du volcanisme latent : il insiste à sa manière sur la qualité des matériaux volcaniques nécessaires pour une bonne *structura caementicia*. De même que dans un chaufour, on trouve toutes sortes de chaux, les unes cuites à trop haute température, les autres pas assez, tandis que d'autres le sont parfaitement, de même, il y a des matières volcaniques, qui auront été trop ou trop peu ou bien cuites naturellement. On peut alors évoquer encore une fois, à partir de la description vitruvienne, la taxinomie de cuisson des roches ayant subi le feu souterrain (cf. *Calx*). Dans ce classement, la pouzzolane, cette fois, occupe le sommet alors que l'*harena fossicia* se contente du bas :

— pouzzolane : *terra exusta* « terre brûlée »
— carboncle : *materia excocta* « roche calcinée »
— pierre ponce de Pompéi : *genus lapidis excoctum* « résultat de pierre calcinée »
— sable volcanique : *harena fossicia* « sable volcanique extrait »

Cette classification a deux corollaires. Pour notre architecte et théoricien-géologue, plus les signes d'un volcanisme sont manifestes dans une région (aspect de la roche, thermalisme, témoignages), plus les matériaux locaux auront subi une érosion due à une cuisson importante. Ce sera la marque qu'ils auront acquis une *ieiunitas* substantielle, autrement dit, que leurs propriétés en construction seront exploitables. A l'inverse, moins ces signes volcaniques seront évidents, moins la qualité de la *ieiunitas* sera facile à juger pour une exploitation édilitaire. Tels sont les indices que les spécialistes de la prospection devraient suivre s'ils devaient rechercher et ouvrir des carrières d'après la théorie géologique vitruvienne.

Dans ce classement, le carboncle est certes une *harena fossicia* « sable volcanique », mais c'est aussi une roche qui a subi une cuisson à point (*materia excocta*) pour être utilisée en architecture.

3.2.3. La structure de la *materia excocta* (2, 6, 5-6) : un brusque dégazage de la pierre volcanique lors du refroidissement

Les effets du feu souterrain sur la *materia excocta* « roche calcinée à haute température » sont décrits dans deux passages. D'abord en 2, 6, 6 : « Dans les lieux où les montagnes n'ont pas un sol terreux (*non sunt terrosi montes*), mais de type rocheux (*genere materiae*), la violence du feu brûle ces roches quand elle traverse leurs veines ; elle consume

les parties amorphes et tendres, mais laisse intactes les parties dures (*quod est molle et tenerum, exurit, quod autem asperum relinquit*). » [269] Ce passage résume à lui seul la théorie volcanique vitruvienne. Le second texte où la *materia* est décrite est en 2, 6, 5 : « Ce ne sont pas les mêmes types de terres ni les mêmes types de pierres qui se forment dans les différents lieux et les différentes 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 (*materia*), et les profils de sol sont de types tout à fait dissemblables et variés en fonction de la diversité des régions (*Omnibus locis et regionibus non eadem genera terrae nec lapides nascuntur, sed nonnulla sunt terrena, alia sabulosa itemque glareosa, aliis locis harenosa, non minus materia, et omnino dissimili disparique genere in regionum uarietatibus qualitates insunt in terra*). » [270]

Dans cet extrait, on rapproche le sens de *materia* de 2, 6, 5 des trois autres occurrences de 2, 6, 6. Mais son interprétation pose problème. *Materia* est le seul nom parmi une série d'adjectifs (*terrena* « sols terreux », *sabulosa* « sols alluvionnaires », *glareosa* « terrains graveleux », *harenosa* « terrains sablonneux »). Comme le note P. Gros, *materia* peut être à l'ablatif et peut se traduire par « de type rocheux ». Mais une traduction de *materia* doit dénoter la structure de la pierre. Puisque *materia* a aussi le sens de « bois », les traducteurs ont cherché à relier d'une manière ou d'une autre cette acception à l'occurrence de *materia* de 2, 6, 5 [271]. En tout cas, le contexte géologique décrit dans ce passage concerne des roches peu consolidées, voire pas du tout, comme le prouve l'accumulation des adjectifs : nul doute que la *materia* de 2, 6, 5 peut posséder une structure meuble, laquelle désigne la façon dont les constituants (matrice et grains) sont arrangés et dont ils ménagent les vides. Mais la nature et le sens de ce terme ne sont pas encore clairs pour l'instant.

3.2.4. Les gaz pipes dans la carrière de Paringianu (Sardaigne)

Pour déterminer la nature de la *materia*, il faut se servir d'une découverte inattendue — non d'un point de vue géologique, mais plutôt pour les sciences humaines — du programme GEOCISTEM, auquel nous avons participé pour l'échantillonnage de mortiers romains. Durant une réunion à Cagliari (Sardaigne) en septembre 1996, nous avons pu, avec les géologues, visiter la carrière de tuf volcanique de Paringianu, exploitée pour en extraire de la pierre de taille (Fiche et Carte 3). Le « tuf de Paringianu », comme on l'appelle localement, est un tuf cendreux comenditique, issu d'une coulée pyroclastique. Le contexte volcanique local est constitué d'ignimbrites et de rhyolites. Le tuf est très induré, c'est-à-dire qu'il est solide. Il se compose de plagioclase, de feldspath potassique, de pyroxène, d'une

[269] Trad. L. Callebat.
[270] *Id*.
[271] *Vitruve II*, p. 98, n. 1.

matrice vitreuse et de montmorillonite. Il fut échantillonné à des fins d'analyse [272]. Durant la visite, qui fut instructive sur la nature de la *materia*, nous avons vu une curiosité pour les spécialistes des matériaux volcaniques : alors qu'à quelques dizaines de mètres, on extrayait du tuf, les géologues nous montrèrent un endroit inexploité de la carrière. Et pour cause : la pierre avait la même composition que la roche bien indurée et elle contenait des cristaux de dimensions identiques, mais elle se délitait en sable, quand on y passait l'ongle ou le doigt. Ils nous expliquèrent qu'au cours du refroidissement de la couche volcanique, qui doit se faire lentement pour que la roche durcisse, un brusque dégazage dans cette couche de tuf laissa des colonnes par lesquelles les gaz s'échappèrent : la pierre n'a pas eu le temps d'avoir une bonne cimentation en se refroidissant. Cela montrait le degré de cohésion entre les deux types de pierres : l'une s'est refroidie doucement pour acquérir une certaine cohérence, tandis que le dégazage faisait de l'autre une roche tendre et peu indurée. D'après les géologues qui nous accompagnaient sur le site, la différence d'induration entre deux roches de composition semblable est un phénomène courant.

En observant les colonnes de dégazage, on pouvait voir qu'elles étaient verticales et qu'elles créaient un petit système de veines lesquelles traversaient verticalement toute la couche de tuf depuis le bas jusqu'au sol de circulation. Celle-ci faisait approximativement une hauteur d'homme, et ces conduits étaient larges de quelques centimètres. Ce phénomène est connu sous le nom de « gaz pipe » [273].

3.2.5. Relation entre *carbunculus* et *materia* : les ignimbrites, le gaz pipe et les fumerolles fossiles

Les gaz pipes sont des phénomènes caractéristiques des coulées de dépôts pyroclastiques et des ignimbrites. Les explosions pyroclastiques, dont font partie les nuées ardentes — comme celles du Vésuve en 79 de notre ère qui détruisirent Pompéi et Herculanum —, sont les éruptions volcaniques les plus dangereuses. Les nuées ardentes sont un grand volume de gaz brûlants à très forte pression transportant, comme suite à la violente explosion d'un volcan, des masses considérables de débris de lave (des cendres aux blocs en passant par les scories) et se déplaçant à grande vitesse (100 km/h et plus). Juste après une explosion, on constate l'expansion rapide d'un magma qui se désintègre lors d'un dégazage. Sur la trajectoire des coulées pyroclastiques, on observe l'accumulation des débris volcaniques éjectés (projections), et des éléments chauds (fragments de verres, de cristaux ou

[272] Gimeno, Marini 1995, p. 14.
[273] Je remercie Bernard Manigaut, ancien géologue du BRGM et Gilbert Crevola, maître de conférences à l'université de Bordeaux 3, pour m'avoir donné les explications sur les gaz pipes et les fumerolles fossiles, ainsi que les références bibliographiques : Walker 1971 ; Sheridan 1979 ; Cas, Wright 1987, pp. 190-193. Je remercie aussi les géologues du Geocistem (P. Rocher, S. Tocco, C. Marini, et D. Gimeno) qui nous ont fait découvrir ce phénomène à Paringianu.

de roches). Le lent refroidissement et le durcissement de ces éléments donnent naissance aux *pyroclastes*, qui sont les roches ignées les plus communes. Parmi les roches pyroclastiques, il y a les ignimbrites, qui sont le produit de l'amoncellement de ces débris éjectés.

Le dégazage rapide de l'ignimbrite amoindrit sa cohésion. Il se constitue dans des couches ignimbritiques épaisses des conduits d'échappement du gaz ou conduits de fluidisation. Ceux-ci font généralement jusqu'à environ 50 centimètres de longueur et quelques centimètres en largeur, mais le plus souvent, ils mesurent seulement quelques centimètres de long et encore moins en largeur. Il existe des gaz pipes supérieurs à deux mètres de long. En coupe, ils peuvent avoir des formes tout à fait irrégulières qui rappellent des cosses. Les colonnes sont plus communes vers les parties hautes des unités d'écoulement ; cependant, on peut les trouver à la base de la couche d'ignimbrite [274]. Ce phénomène se rencontre un peu partout dans le monde et aussi en Etrurie méridionale dans la zone du volcan de Vico (Fig. 8-9 et Carte 1-2).

La relation entre les gaz pipes avec le texte vitruvien de 2, 6, 5-6 peut à présent se faire. Lorsque les coulées pyroclastiques refroidissent et que du gaz s'en échappe rapidement, au travers des conduits, le tuf ou l'ignimbrite ne durcit pas correctement. À Paringianu, le tuf induré est exploité comme pierre de construction. Non loin de là, le même tuf qui a subi un dégazage rapide va se déliter en arène volcanique : il est peu solide, mais il a plus de cohésion que la terre de surface. Cette constatation correspond exactement à ce qu'écrit notre auteur : *est autem materiae potestas mollior quam tofus*, *solidior quam terra* « ce matériau est par nature plus tendre que le tuf, de plus grande cohésion que la terre ». Pour le naturaliste qu'est Vitruve, cette différence d'induration entre deux pierres d'apparence identique semblait assez remarquable pour la rapporter et essayer de la dénommer.

De plus, l'existence des gaz pipes au travers d'une couche de tuf a peut-être inspiré Vitruve quand il indique que « la violence du feu (volcanique) brûle ces roches quand elle traverse leurs veines (*uenas*) ». La présence, dans une roche, de conduits fossiles, rappelant les veines ligneuses, peut lui avoir donné l'idée d'utiliser le terme *materia*, qui fait penser à la notion de bois. Ainsi, en 2, 9, 13, les lexèmes *materia* « bois » et *uena* « veine » sont associés dans ce passage, lorsqu'il écrit que les veines du bois de cèdre sont droites (*materies uena directa*). Dans le champ notionnel du bois chez Vitruve, ces termes sont usités et il est normal que, pour des roches volcaniques évoquant peu ou prou ce champ, notre auteur se serve de ces mêmes lexèmes pour décrire un phénomène géologique déroutant pour le lecteur de l'époque augustéenne. L'usage de *materia* est révélateur du fait que Vitruve n'a pas su trouver un mot ou une lexie complexe satisfaisante pour désigner les fumerolles fossiles.

Le lien entre *materia* « bois » et *materia*, qu'on devrait traduire ici par la périphrase « tuf volcanique peu induré » existe donc, même si ce lien est assez lointain.

---

[274] Cas, Wright 1987, pp. 191-192.

3.2.6. La *materia excocta* (2, 6, 6) : une structure volcanique meuble peu ordinaire alliée à une *ieiunitas* naturelle

Il convient maintenant de faire la synthèse de la nature du carboncle. D'abord, la *materia* en 2, 6, 6, dans un contexte pyroclastique (gaz pipes, etc.), correspond à un tuf meuble ou une ignimbrite peu indurée, lesquels peuvent se déliter en arène exploitable pour la construction. Tout ce paragraphe cumule deux caractéristiques du tuf *carbunculus*. Premièrement, c'est un « type de sol rocheux » (*genere materiae*) dont les « veines » rocheuses (*uenas*) ont subi le feu souterrain. Par ces veines, les vapeurs venues des profondeurs (*qua penitus ab imo uehementia uaporis adusta*) ont calciné à haute température le tuf-matériau (*excocta materia*). Cette description correspond aux gaz pipes. Deuxièmement, la « structure de cette roche » (*materiae potestas*) est d'être moins indurée que le tuf volcanique ordinaire (*mollior quam tofus*), et d'être de plus grande cohésion que la « terre » (*solidior quam terra*), c'est-à-dire le sol issu de l'altération de ce tuf : nous avons vu ce phénomène à Paringianu.

Ainsi, peuvent être réunies dans le même contexte « magmatique » et dans un même champ sémantique, les occurrences de *materia* de 2, 6, 6 et celles de 2, 6, 5. En 2, 6, 5, *materia* peut se traduire par « tuf peu induré » ou « tuf peu lithoïde », pour reprendre la terminologie archéologique italienne, puisqu'il est le seul nom parmi une série d'adjectifs (*terrena* « sols terreux », *sabulosa* « sols alluvionnaires », *glareosa* « terrains graveleux », *harenosa* « terrains sablonneux ») dans une description des roches meubles.

Notre théoricien situe le carboncle en Etrurie, dont il a peut-être vu une variété dotée de gaz-pipes. D'après les caractéristiques dégagées *supra*, c'est une pierre du type tuf pépérin, qui peut se déliter en arène volcanique. Cette dernière propriété est une particularité des tufs et des roches fournissant l'*harena fossicia*. En 2, 4, 1, Vitruve énumère les sables volcaniques pour les mortiers (*Genera autem harenae fossiciae sunt haec*) : il distingue le noir, le gris blanchâtre, le rouge, le carboncle (*nigra*, *cana*, *rubra*, *carbunculus*). Comment peut-il différencier une *harena fossicia* et le *carbunculus* ? Il les discrimine de façon chromatique, ce qui n'est pas le cas pour le carboncle, que notre auteur présente par son seul nom. En 2, 6, 6, nulle part n'est indiquée la couleur de cette arène. Le nom même de ce matériau « petit charbon, braise » induit une teinte noire ou rouge, mais ce dernier indice ajoute plus de confusion que de clarté. En fait, il semble que l'élément le plus pertinent pour distinguer le *carbunculus* des autres *harenae fossiciae*, est la mention, en 2, 6, 6, des veines où les vapeurs ou les gaz chauds se frayent un chemin à travers la roche: cette mention fait penser aux gaz pipes dans la roche pyroclastique. Ainsi, la *materia excocta*, comme tuf volcanique peu induré, décrite en 2, 6, 6, coïncide non seulement à une roche pyroclastique contenant des fumerolles fossiles, mais correspond aussi, dans le texte vitruvien, à une pierre que le feu souterrain a cuite pour en altérer sa structure.

Il est temps de revenir au classement des matériaux évoqué *supra*. Puisqu'il est *materia excocta*, le carboncle d'Etrurie possède des veines au travers desquelles les vapeurs brûlantes modifient la structure de la roche : les parties tendres disparaissent ou se délitent en créant des pores et des veines. Pour un tuf volcanique, une cuisson très intense le réduit en fine pouzzolane, tandis qu'avec une coction moindre, il devient du carboncle, lequel a une cohésion intermédiaire entre une terre et une pierre.

De plus, la cendre et le carboncle auront acquis, par cette cuisson naturelle, une *ieiunitas*, une activation chimique, pour réagir avec la chaux. Même si Vitruve ne mentionne pas explicitement que ces deux matériaux ont une *ieiunitas* naturelle, il écrit avec suffisamment de clarté en 2, 6, 1 et 4, ce qui se passe quand la chaux, le tuf volcanique et la pouzzolane en contact les uns avec les autres, interagissent et durcissent. D'après la théorie vitruvienne du volcanisme, telles sont les conséquences du feu souterrain sur les matières rocheuses, qui seront employées dans la construction (agrégat, moellon, pierre de taille) : les tufs peu indurés fournissent aisément du sable volcanique, ce qui est la preuve qu'ils possèdent une *ieiunitas* adéquate pour réagir avec la chaux.

Avec le rapprochement du phénomène de gaz pipes et de la *materia excocta*, il est possible de dire que le paragraphe 6 du sixième chapitre du livre II correspond à la plus ancienne description des fumerolles fossiles dans un texte antique. Ce texte décrivant un tuf pépérin avec ses colonnes de dégazage peut être une observation personnelle de Vitruve en Etrurie, tout comme on se rend compte que Vitruve a ailleurs (et particulièrement au chapitre 9 du livre II) une connaissance précise et sans doute individuelle des régions proches de l'Adriatique, au nord de l'Italie, où il séjourna vraisemblablement avec les légions césariennes entre 59-58 et en 50 *a. C.* [275]

3.3. Résultats archéologiques : le *carbunculus* post-vitruvien est un sable volcanique cuit au four

Dans une publication, en nous basant sur le texte de Vitruve 2, 6, 6, nous avions émis l'hypothèse que le *carbunculus* vitruvien était du sable artificiellement cuit à 800 °C, puisque notre auteur écrivait qu'il s'agissait de *materia excocta* et que c'était ce qui distinguait le carboncle des autres sables volcaniques (*harenae fossiciae*) [276]. En réalité, nous avons vu *supra* que cette supposition n'était pas fondée, puisque *materia excocta* est assurément usitée dans une description de cuisson naturelle. Or les hasards de la recherche scientifique font qu'une hypothèse fausse dans un domaine technique donné acquiert une validation dans un autre, et il le sera montré *infra*.

[275] Cf. Corso 1983; *Vitruve II*, p. 98, n. 2.
[276] Davidovits 1994.

Dans le cadre du programme GEOCISTEM, nous avons prospecté et échantillonné à Rome et Ostie vingt-deux prélèvements de mortiers anciens allant de la République à l'Empire. Le but était de comparer leurs agrégats avec des échantillons de tufs volcaniques cuits à 800 °C. Les échantillons OST 7 (R et G) sont des mortiers du parement de l'intérieur du Capitolium d'Ostie (réfection d'époque trajane en *opus testaceum*). Ils furent prélevés à droite de l'entrée. OST 7 R est un mortier contenant des agrégats lithiques rouges, alors qu'OST 7 G possède des granulats de même nature, mais gris. Leurs charges sont identifiées comme des fragments de tufs volcaniques. L'autre spécimen est OST 3, qui est un morceau du *caementicium* du château d'eau (*castellum*) de l'aqueduc romain (époque claudienne?). Pour l'anecdote, les géologues de Cagliari, Sandro Tocco et Carlo Marini, eurent du mal à extraire les prélèvements du mur, car le béton se révéla être d'une très grande dureté. Ils furent analysés au moyen de la résonance magnétique nucléaire (RMN).

Toujours dans le cadre du programme, on a développé une méthode mettant en œuvre les spectres ^{27}Al-RMN permettant de visualiser les atomes d'aluminium de coordinence (VI), lesquels sont des indicateurs pour repérer si un ajout pouzzolanique a été calciné ou non. Ce procédé a été validé, puisqu'il a détecté la cuite des *testae* dans les *opera signina* républicaines (ROM 1) et impériales (ROM 4) [277]. Pour les mortiers de sables volcaniques, il a été montré qu'à l'époque républicaine, les *harenae fossiciae* n'étaient pas cuites (OST 2, restauration OST 4 r) et qu'à la période impériale, ces sables pouvaient l'avoir été (OST 3, OST 7 g) [278].

Dans l'industrie cimentière, on ajoute dans les ciments Portland des zéolithes chauffées à 600 °C. Cette calcination améliore leurs vertus pouzzolaniques et augmente la qualité du ciment. Or, l'analyse des échantillons OST 3 et OST 7G permet de supposer que la pratique de chauffage des agrégats était attestée aux deux premiers siècles *p. C.* D'où peut venir cet usage ? Ce procédé résout le problème de conservation du sable volcanique, pour son emploi dans la *structura caementicia*, que mentionne notre auteur en 2, 4, 3 : « Si les sables volcaniques restent trop longtemps inutilisés, une fois extraits, ils se désagrègent sous la brûlure du Soleil, de la Lune ou du gel et deviennent terreux (*Si enim exemptae diutius iacent, ab sole et luna et pruina concoctae resoluuntur et fiunt terrosae.*) ». C'est pourquoi, pour conserver

[277] Davidovits, Davidovits 1997, pp. 11-12. *Opus signinum* : ROM 1 Aire Sacrée de Santo Omobono: sous-couche du pavement en *tessera* de terre cuite, elle est réalisée en mortier de *testa* et date de la seconde moitié du IIIè s. avant notre ère. ROM 4 "cisterna delle 7 Salle" des Thermes de Trajan : enduit du mur de la salle 5, près de la troisième porte.

[278] Davidovits, Davidovits 1997, p. 22. Pour Ostie : OST 2 « Nécropole Républicaine en dehors de la Porta Romana » : *opus caementicium* et *opus reticulatum* d'un *columbarium*, *opus reticulatum* de lave et de tuf volcaniques. OST 4 *Horrea di Ortensio* (entrepôts républicains) : 4 r : Restauration en mortier rouge sur l'*opus reticulatum* ; 4 g: mortier gris du *reticulatum*. OST 3: *caementicium* du "castellum" de l'aqueduc romain (époque claudienne ?); béton très dur. OST 7 intérieur du Capitolium, réfection impériale (Trajan) ; 7 r: parement du *testaceum*, mortier rouge ; 7 g: parement du *testaceum*, mortier gris.

leurs qualités réactives, les maçons romains avaient deux possibilités : soit enfermer les *harenae* dans des récipients hermétiques (bouchés à la cire) soit les cuire. Pour les granulats calcinés OST 3 et 7G, on peut poser l'hypothèse que quelqu'un, à partir du I^er^ siècle *p. C.* a lu Vitruve et qu'il a voulu activer la *ieiunitas* des agrégats en les chauffant.

4. Conclusion

Le *carbunculus* est un tuf volcanique peu induré ou peu lithoïde, où il est désigné comme *harena carbunculus* « tuf volcanique peu dur » (8, 1, 2). Cette roche ignée correspond à un tuf volcanique plus ou moins consolidé lequel peut se désagréger en surface pour devenir un sol de culture (Columelle 3, 11, 7). Puisque Vitruve le situe en Etrurie (2, 6, 6), la littérature archéologique le fait correspondre au *nenfro* (par exemple à Norchia ou à Tarquinia), qui est le nom local de cette pierre, ou à d'autres, similaires (ignimbrite, etc.). Ces roches pyroclastiques groupées sous la lexie complexe de sens général de « tuf pépérin » (*tufo peperino*) sont d'une dureté variable. Celui-ci est caractéristique de l'Italie centrale (région co-magmatique romaine).

Mais ce qui distingue la roche carboncle des autres tufs volcaniques plus ou moins consolidés, c'est l'usage du terme *carbunculus* dans le sixième chapitre du livre deux, où notre auteur expose sa doctrine sur le volcanisme. Dans sa théorie, les vapeurs souterraines, les gaz brûlants et le feu « volcanique » remontent à la surface de la Terre et cuisent les roches qui sont à leur contact ; selon la durée et l'intensité de la coction, la pierre devient de la cendre, comme la pouzzolane : ou bien elle perd sa fermeté, ou bien elle se transforme en ponce. Bref, son aspect et sa cuisson sont autant de signes visuels permettant à notre architecte d'apprécier la réactivité « chimique » du matériau, quand celui-ci entre en contact avec la chaux. À ce titre, le carboncle a subi le feu souterrain et en a gardé les marques : il est devenu *materia excocta* « tuf volcanique cuit à haute température », car il possède des traces des *uenae* « veines » à travers lesquelles les vapeurs brûlantes ont circulé suivant le principe exposé en 2, 6, 6. On peut ainsi associer cette description au phénomène de gaz pipes ou de « fumerolles fossiles » qui survient quand, dans les ignimbrites, les gaz s'échappent rapidement et que ceux-ci rendent les roches pyroclastiques moins consolidées.

Dès lors en 2, 6, 5-6, le *carbunculus* est l'exemple type de l'*harena fossicia*, de dimension inférieure à 2 mm, mélangée avec la chaux : Vitruve explique sa formation géologique et son usage en construction terrestre, par opposition avec la cendre de pouzzolane, idoine pour les édifices sous-marins. La structure peu cimentée de ce tuf volcanique lui donne un degré de dureté inhabituelle pour le profane, mais familière pour le carrier et le maçon. Le carboncle, comme d'autres tufs, est moins consolidé qu'une pierre de taille, plus cohérent qu'une terre, et permet une extraction idéale comme granulat (OST 3 et OST 7 G).

Les analyses des spécimens de mortiers d'Ostie montrent qu'à l'époque impériale (Claude et Trajan), des sables volcaniques sont chauffés pour améliorer la qualité du liant de chaux. D'où peut venir cette pratique ? M. E. Blake constate que la brique cuite romaine peut être constituée d'un mélange d'argile rouge et d'un dégraissant, comme une arène volcanique résistante à la chaleur [279]. Ainsi, il est possible que la coction d'un matériau de cette nature, comme ajout pouzzolanique à la chaux, tire son origine de son usage comme élément anti-plastique dans la céramique.

[279] Blake 1947, pp. 301-303.

7. Creta - cretosus - θεοδοτεῖον

1. Étymologie de *creta*, de *cretosus* et de θεοδοτεῖον

Crēta, (*-ae*, f.) « argile, craie, poudre douce au toucher ». En expression désignative à plusieurs termes, le lexème est précisé par une épithète : *crēta argentāria*, *crēta figlīna*, *crēta fullōnia*, *crēta Carica*, *crēta Cimolia*, *etc.* [280] Il est ancien, car on le trouve déjà chez Plaute. Pour M. Fruyt, *creta* dénote différentes sortes de terres, sols et roches ayant pour point commun la blancheur [281]. L'origine du mot est inconnue: on peut mentionner l'égyptien *rḫty* « blanchisseur » et *rḫt* « blanchir, nettoyer » ; on peut aussi signaler l'hypothèse, qui fait de *creta* un participe passé de *cernere* « cribler, sasser, tamiser » pour désigner la lexie complexe *creta terra* « terre criblée » [282]. Les dérivés et les composés sont : *crētula* « argile blanche à cacheter », *crētātus* « blanchi à la craie, à l'argile blanche », *crētulentum* « eau mêlée d'argile » *(C. I. L., VI, 10298)*, *crētifodina* « carrière de craie », *incrētō*, *-ās* « blanchir avec de la craie, de l'argile blanche ». Parmi d'autres dérivés, on trouve des adjectifs synonymes : *crēteus* « de craie, d'argile », *crētāceus* « de la nature de la craie, de l'argile », *crētōsus* « abondant en craie, en argile » [283], *crētārius* « qui a rapport avec la craie, l'argile » (d'où *crētārĭa* « boutique où l'on vend de la *creta* »).

Θεοδοτεῖον (-ου, n.) « Theodoteion, terre verte de Théodotos » est un hapax vitruvien dérivé de Θέοδοτος « Théodotos » qui signifie « donné par les dieux » [284].

2. Usage et sens de *creta* et de *cretosus* avant Vitruve

Les mentions les plus anciennes de *creta* sont chez Plaute (*Aul*. 718 ; *Poen*. 969 ; *Truc*. 294) et les occurrences les plus récentes sont usitées par Isidore de Séville (16, 1, 6 ; 19, 17, 9 et 15 ; 19, 17, 22 ; 19, 24, 6) [285]. C'est un terme plus courant qu'*argilla* qui lui est synonyme. On peut résumer huit acceptions : le sens général « craie, argile » (Varron, Lucrèce, Tite-Live, Columelle, Pline l'Ancien, Palladius, Isidore de Séville), et les significations spécialisées « argile et craie utilisées en agriculture » (Caton, Varron, Virgile, Columelle, Pline l'Ancien), « argile ou autre matière en médecine » (Varron, Celse, Chiron, Pline l'Ancien), « argile de

[280] Ernout, Meillet 1985, *s. v.* creta, p. 150.
[281] Fuyt 2006, p. 13.
[282] Pour la comparaison avec l'égyptien : Erman, Grapow 1926-1953, 448.9 ; Forbes 1956-1964, n. 5, p. 95 et p. 224. Walde, Hofmann 1982, *s. v.* creta, pp. 290-291.
[283] Ernout 1949, pp. 5-9.
[284] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* θεοδοτεῖον, p. 203.

cuisine » (Varron, Pline l'Ancien, Columelle), « argile figuline » (« L'Etna », Columelle, Cetius Faventinus), « matière poudreuse (argile, craie, etc.) pour écrire, peindre, teindre » (Plaute, Horace, Ovide, Sénèque, Martial, Pline l'Ancien), « matière poudreuse (argile, craie, etc.) pour nettoyer les vêtements ou l'argent » (Plaute, Pline l'Ancien), « argile à sceller » (Cicéron).

L'adjectif *cretosus* « argileux, crayeux », est usité d'abord par Caton (*Agr*. 8, 1 ; 128) et enfin par Palladius (1, 6, 16 ; 4, 10, 7) pour désigner des terrains agricoles ou de la terre. Il est employé pour des matériaux surtout chez les auteurs agrestes (Caton, Varron, Columelle, Pline le Naturaliste, Palladius) ou chez Ovide [286].

3. *Creta*, *cretosus* et θεοδοτεῖον chez Vitruve

Creta « argile, craie », est usitée dix fois : 2, 8, 19 / 5, 12, 4 / 7, 3, 3 / 7, 7, 4 (bis) / 7, 14, 1 (bis) / 7, 14, 2 / 8, 1, 2 / 8, 1, 5 [287]. Le terme *creta* est ambigu puisqu'il désigne aussi bien de l'argile que du calcaire. La différenciation entre les deux significations se fait dans le contexte où le mot est employé.

- *creta* « argile » : 2, 8, 19 / 5, 12, 4 / 7, 7, 4 / 8, 1, 2 / 8, 1, 5.
- *creta* « enduit de détrempe » : 7, 3, 3.
- *creta* « charge fine, argileuse ou calcaire » : 7, 14, 1-2.

Avec des adjectifs, on a des unités lexicales complexes de sens techniques pour les enduits et les couleurs [288] :

- *creta bona* « bonne argile rouge » : 2, 8, 19.
- *creta uiridis* « terre verte » : 7, 7, 4.
- *creta selinusia* « terre de Sélinonte » : 7, 14, 2.
- *creta anularia* « craie annulaire » : 7, 14, 2.

Creta peut être considérée comme l'hyperonyme d'un certain nombre de termes qui désignent des pigments.

Quant à *cretosus* « argileux », il est utilisé dans l'unité lexicale complexe *terra albida cretosa* « argile plastique blanche » : 2, 3, 1 [289].

Θεοδοτεῖον « terre verte de Théodotos » : 7, 7, 4 [290]. C'est un hapax.

---

[285] *T. L. L.* , IV, col. 1184, l. 62-84, col. 1185, l. 1-84, col. 1186, l. 1-84, col. 1187, l. 1-25.
[286] *T. L. L.* , IV, col. 1188, l. 37-61.
[287] Callebat, Fleury, 1995, p. 33.
[288] Callebat, Fleury, 1995, pp. 203, 205 et 206.
[289] Callebat, Fleury, 1995, p. 33.

3.1. *Terra albida cretosa* « argile blanche plastique » et les adobes (2, 3, 1)

La *creta* « argile » sous sa forme naturelle est brièvement mentionnée en 8, 1, 2. Dans un long paragraphe, Vitruve aborde l'étude des terrains pour y trouver de l'eau. Dans un sol argileux (*in creta*), celle-ci est en minces filets, en nappe peu profonde (*tenuis et exilis et non alta est copia*) et elle n'a pas très bon goût (*ea erit non optimo sapore*). *Creta* ne désigne pas ici un sol calcaire, où l'eau peut apparaître sous forme de nappe par exemple, mais plutôt la terre argileuse. Dans ce cas, l'eau peut être boueuse si des particules y restent en suspension [291]. On voit en 2, 3, 1, dans la notice consacrée aux adobes, l'unique emploi de l'adjectif *cretosus* « argileux ».

L'adobe et le torchis sont utilisés dans le monde gréco-romain depuis longtemps [292]. Dans le troisième chapitre du livre II, Vitruve décrit leur fabrication (cf. *Lutum*). Parmi les matériaux inventoriés par notre architecte pour la bauge et la brique crue, on trouve la *terra albida cretosa* « argile blanchâtre », la *rubrica* « argile rouge », et le *sabulum masculum* « sablon, sable fin ». Ce que notre auteur ne signale pas, c'est que ces matériaux sont purs: on les a extraits puis préparés (décantation, séchage, sassage) de sorte qu'ils sont prêts à l'emploi. Concernant l'argile apprêtée pour le torchis ou la céramique, on l'éprouve de plusieurs manières (cf. *Argilla*).

Le *Larousse du XIX^e siècle* [293] distingue quatre espèces d'argiles selon leurs propriétés :

— les argiles infusibles (réfractaires), car elles ne fondent pas à haute température à cause d'impuretés (potassium, composés ferreux...). Cette catégorie comprend les kaolins et les argiles plastiques réfractaires.

— les argiles fusibles, qui sont de deux sortes : les argiles dites figulines (argile commune, terre glaise), qui sont colorées par des impuretés (oxyde de fer, calcaire, etc.), et les argiles smectites (comme l'argile cimolitique) aussi appelées « terres à foulon » (argile employée pour le dégraissage ou le foulage du drap).

— les argiles effervescentes (argile marneuse, calcarifère) doivent ce nom à la propriété qu'elles possèdent de faire effervescence avec les acides à cause de la présence plus ou moins élevée de calcaire. Elles sont fusibles et donnent une pâte sans liant.

— les argiles ocreuses sont des argiles siliceuses, maigres, très faibles, et d'un grain extrêmement fin, contenant toujours une proportion notable d'oxyde de fer qui les colore en jaune s'il est anhydre, en rouge s'il est hydraté. Ce sont ici les ocres rouges et jaunes qui

---

[290] Callebat, Fleury, 1995, p. 203.
[291] Sur l'étude des terrains en hydrologie : Guyot 1966, p. 75. *Vitruve VIII*, p. 51, n. 2. Le calcaire donne aussi mauvais goût à l'eau.
[292] Blake 1947, p. 276 sq. ; Mingazzini 1956-1958, pp. 86-88 ; Lugli 1957, p. 527, sq. ; Martin 1965, p. 46 sq. ; Adam 1995, p. 61 sq. ; De Chazelle 1995.
[293] Larousse 1886, pp. 605-607, *s. v.* Argile.

servent de pigment et elles ne sont pas plastiques. Elles seront étudiées plus en détail avec les termes *sil*, *usta* et ὦχρα (*ôchra*).

L'énumération des types d'argiles du XIX^e^ s. est encore proche des connaissances antiques et traditionnelles. C'est pourquoi, la *terra albida cretosa* « terre argileuse blanchâtre » pour l'adobe répond à plusieurs catégories de terre appartenant à la liste des « argiles infusibles », ce qui est surprenant, pour un matériau destiné à de la brique crue. Tout d'abord, d'après le *Larousse du XIX^e^ siècle*, la couleur blanche s'explique par la présence de kaolinite. Celle-ci est blanche et peu plastique ou moyennement plastique. Elle est friable, maigre au toucher et elle se délaye difficilement. Ajoutée aux argiles plastiques, la kaolinite sert à réduire leur retrait.

Ensuite, le reste de la *terra* peut être constitué d'argile plastique réfractaire, qui est douce et onctueuse au toucher : celle-ci forme une pâte liante et longue. On en use pour la fabrication des poteries, carreaux, briques réfractaires, creusets, etc. Chez Vitruve, la *terra albida cretosa* est donc une argile plastique kaolinitique blanchâtre ou une « terre à pipe » blanchâtre.

L'expression désignative à deux termes *terra cretosa* se trouve déjà chez Caton (*Agr*. 128) où elle dénote une terre cohésive aussi argileuse que possible (*terra quam maxime cretosa uel rubricosa*) pour la confection d'une bauge à base d'amurque. Au Bas-Empire, Palladius (6, 12) montre que la *terra cretosa* est de toute évidence un matériau qui est le résultat d'une chaîne opératoire, puisqu'elle est *terra cretosa omni asperitate purgata* « argile propre de tout grumeau ».

3.2. *Creta* « poudre minérale fine » et la finition des enduits des plafonds cintrés (7, 3, 3)

En 7, 3, 1-3, Vitruve présente le procédé des « fausses » voûtes à berceaux (charpentes de bois cintrées) : « Une fois les berceaux en place avec leur lattis (*Cameris dispositis et intextis*), on jette, à la truelle, un gobetis sur l'intrados (*imum caelum earum trullissetur*) ; puis on applique le mortier de sable (*deinde harena dirigatur*) ; ensuite, on fait la finition avec de la craie ou de la poudre de marbre (*postea autem creta aut marmore poliatur*). » [294]

Pour les enduits de finition, les syntagmes verbaux *creta caelum polire* et *marmore caelum polire* n'indiquent en rien la technique utilisée. Le verbe *polire* qualifie, en 2, 8, 5 et 2, 8, 7, l'action de recouvrir la maçonnerie d'enduit. Dans les autres occurrences (5, 10, 3; 7, 3, 3; 7, 3, 3; 7, 4, 1), il se spécialise pour caractériser le travail de la couche de finition, couche qui est unique : les plafonds cintrés, contrairement aux surfaces pariétales, ne reçoivent que trois

[294] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

couches, et non sept, pour ne pas être alourdis [295]. *Creta* « poudre calcaire » et *marmor* « poudre de marbre » désignent par synecdoque la charge principale et non le liant, qui est le plus souvent de la chaux ou du plâtre. Dans un tel contexte technique, les deux lexèmes soulignent en fait la granulométrie des composants : *creta* est une matière fine, comme une argile, tandis que *marmor* « marbre broyé » est plus grossier. Vitruve n'énonce pas la méthode qu'il recommande pour l'application des enduits de finition pour la *creta* : on doit donc énumérer les différents procédés.

Si le revêtement final est blanc (*creta* blanche, *marmor* blanc), comme le texte semble l'indiquer, et si la *creta* et le *marmor* ne craignent pas la causticité de la chaux, ces matériaux peuvent être employés avec la *fresque* (pigments mélangés à de l'eau et appliqués sur le mur avec de la chaux) ou du *stuc* (avec le plâtre).

Si les couleurs de la couche de finition sont sensibles à la chaux, alors, il n'est pas question de se servir de la fresque. M.-T. Cam [296] rapproche cette notice vitruvienne des conseils de Pline (*Nat*. 33, 162 et 35, 49) ; ainsi, le Naturaliste inventorie les teintes qui ne supportent pas la chaux : le *purpurissum*, l'indigo, un bleu égyptien, le *melinum*, l'orpiment, l'*appianum* et la céruse. Les commentateurs des textes pliniens (A. Reinach, S. Augusti, et J.-M. Croisille, éditeur du livre XXXV) conviennent du fait que ces couleurs sont appliquées sur une surface sèche (*creta*, *cretula*) grâce à un médium. La méthode employée est donc la *détrempe* : les pigments sont trempés dans l'eau et ils sont fixés avec une colle végétale (gomme arabique) ou animale (lait, jaune d'œuf, gélatine tirée des os, des peaux et des cartilages…) [297]. D'après M.-T. Cam, *creta poliatur* est l'indication selon laquelle Vitruve évoque la détrempe pour des couleurs qu'on ne peut utiliser en fresque : la *politio* « couche de finition » se fait alors à la *creta* « craie ». De plus, le syntagme *marmore poliatur* suggère une *politio* « finition » en fresque à la poudre de marbre ou encore un décor de stuc, réalisé lui aussi à la poudre de marbre [298].

Pour une couche de finition *a tempera*, le maçon vitruvien se servira d'une *creta* blanche laquelle pourra être une craie, une aragonite, une dolomite [299], une diatomite, une argile blanche, etc., en bref, tout ce qui est une poudre blanchâtre.

[295] Callebat, Fleury, 1995, p. 197; *Vitruve VII*, p. 108-109, n. 2 et 4.
[296] *Vitruve VII*, p. 109, n. 4.
[297] Ginouvès, Martin 1985, p. 139. *Pline XXXV*, §49, pp. 165-166, n. 1.
[298] Blanc 1983, pp. 863-864.
[299] Béarat 1997, pp. 20-22.

3.3. Les pigments *cretae uirides* « terres vertes » (7, 7, 4)

À la fin du sixième chapitre du livre VII, Vitruve distingue les couleurs naturelles et artificielles : « Les premières se forment d'elles-mêmes dans les lieux où on les extrait (*colores qui per se certis locis procreantur et inde fodiuntur*). Les secondes sont obtenues artificiellement à partir d'autres substances soumises à des traitements ou à des mélanges convenablement dosés : elles se prêtent alors au même usage dans les travaux de revêtement (*nonnulli ex aliis rebus tractationibus aut mixtionibus temperaturis compositi perficiuntur, uti praestent eandem in operibus utilitatem*). » [300] Vitruve cite d'autres couleurs où la *creta* intervient, non pas comme pigment, mais comme support : dans le quatorzième chapitre du même livre, elle entre dans la composition de teintures végétales.

En général, les pigments sont des matériaux finement divisés (c'est-à-dire à grains fins), dispersés dans un *véhicule* ou *médium* diluant et liant (eau, huile, solvants organiques), grâce auquel ils peuvent être étendus comme pellicule légère et utilisés sur du bois, de la toile, du métal, de la céramique, de l'émail, du verre, du papier, du tissu, afin de donner couleur et/ou opacité à ces supports pour un but artistique, décoratif ou de protection. Le médium est le liquide dont l'action vise à broyer, diluer et fixer les pigments sur le support de la peinture. Les pigments peuvent être organiques et inorganiques, minéraux et bio-dérivés. Ils disposent de caractéristiques physiques comme la couleur, le pouvoir couvrant, et idéalement, la stabilité. De plus, ils possèdent une capacité d'adhésion et de pénétration, et/ou une durabilité à la lumière, à l'altération atmosphérique et à l'humidité. Les pigments actuels sont presque tous des produits chimiques de synthèse. Dans l'Antiquité, on les obtenait à partir de substances organiques et biologiques.

Chez Vitruve, la *creta* est à la fois un pigment et une couleur, mais aussi un support et, à cause de sa taille de grain, une charge, qui absorbera un colorant. Avant d'aborder la *creta* comme charge de colorant, on étudiera les seuls pigments naturels qualifiés de la sorte par notre architecte : les *cretae uirides* « terres vertes ».

3.3.1. *Creta uiridis*, *θεοδοτεῖον* (7, 7, 4) et *appianum* (Plin. *Nat.* 35, 48)

Vitruve (7, 7, 4) mentionne les pigments verts pour la peinture : « La terre verte (*creta uiridis*) est produite en plusieurs lieux, mais la meilleure est à Smyrne. Les Grecs la nomment *theodoteion*, parce que Théodotos était le nom du propriétaire du terrain où cette sorte d'argile fut trouvée pour la première fois. » [301] Le Naturaliste reprend la lexie complexe *creta*

[300] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[301] Vitr. 7, 7, 4: *Creta uiridis item pluribus locis nascitur, sed optima Smyrnae ; hanc autem Graeci* θεοδοτεῖον *uocant, quod Theodotus nomine fuerat cuius in fundo id genus cretae primum est inuentum.* Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

uiridis et écrit en 35, 48 qu'il existe une couleur verte, découverte à son époque, qu'on appelle *appianum* et qui imite la chrysocolle : « On la fabrique à partir de la « craie verte » et son cours est d'un sesterce la livre (*uiride quod Appianum uocatur et chrysocollam mentitur, ceu parum multa dicta sint mendacia eius ; fit e creta uiridi, aestimatum sestertiis in libras*). »

La *creta uiridis* « terre verte » est l'expression désignative à deux termes dénotant les argiles vertes, comme les glauconies, la céladonite, et la chlorite. D'une manière plus générale, l'archéomètre S. Augusti la définit comme une argile magnésique, colorée par du silicate de fer [302].

3.3.2. Types d'argiles vertes et gisements connus

- ***Les glauconies et les chlorites***

La glauconie est une argile vert foncé, presque noire, qu'on trouve dans le bassin parisien, en Provence, et à Vérone. Beaucoup de gisements sont dus à l'altération des sables glauconieux. À Vix-Pierrefeu, les couches font trois mètres de haut et plusieurs centaines de mètres de long. Des dépôts alluvionnaires dans les rivières peuvent traverser des terrains glauconieux et ainsi ne posent pas de problèmes d'exploitation. Quant aux chlorites, elles ressemblent aux glauconies et aux céladonites. Elles se forment par différents processus de décomposition et sont très abondantes [303].

- ***Les céladonites :* θεοδοτεῖον *de Chypre (Vitr. 7, 7, 4) et* appianum *du Monte Baldo (Plin.* Nat. *35, 48)***

La céladonite est plus rare que les glauconies. Elle se rencontre sous forme de remplissage de fissures ou de nodules dont le diamètre ne dépasse guère le centimètre. On doit l'extraire d'une roche mère dure, ce qui en fait une argile difficile à exploiter. Du fait de sa rareté, il est donc tout à fait remarquable que celle-ci ait été utilisée pour en faire un pigment : il faut trouver un bon gisement dont l'exploitation est aisée. Les gîtes de céladonites sont de véritables curiosités géologiques dont la difficulté est déjà de pouvoir les identifier. Les deux sites les plus connus sont Chypre et Monte-Baldo.

Selon Vitruve, la *creta uiridis* de Smyrne est la meilleure et elle est appelée θεοδοτεῖον « terre verte de Théodotos ». On ne sait rien de ce personnage mentionné aussi par Pline (*Nat*. 35, 37) : « La céruse existait aussi jadis sous forme de terre à l'état naturel, que l'on avait découverte sur le domaine de Théodotus à Smyrne et dont se servaient les anciens pour teindre les navires (*Fuit et terra per se in Theodoti fundo inuenta Zmyrnae, qua ueteres ad nauium*

[302] Augusti 1967, p. 100 ; Delamare 1987 b; Delamare, Guineau 1990 ; Béarat 1997, p. 31.
[303] Delamare 1987 b, pp. 346-349.

picturas utebantur). » [304] K. C. Bailey considère que l'allusion à un Théodotus doit provenir d'une volonté d'explication du terme grec signifiant « don des dieux » usité pour le produit [305].

Smyrne ne possède pas de gisement de céladonite : la source la plus proche est Chypre. Il semble que Smyrne ait, comme Sinope pour son ocre, monopolisé le commerce de ce pigment et en ait été peut-être un centre actif d'exportation [306]. A Chypre, dans le massif de Troodos, la céladonite remplit d'anciens conduits laviques autrefois sous-marins. Certains mesurent 1 m de large et 50 cm de haut. Elle se rencontre par tonnes en affleurement : l'exploitation en est donc aisée. On trouve trois qualités de céladonites à Troodos :

— une céladonite pure mal cristallisée,

— une céladonite mal cristallisée associée à une zéolite,

— une céladonite mal cristallisée associée à une zéolite et à une smectite [307].

L'*appianum*, découverte récente pour Pline, désignerait plutôt un lieu d'extraction comme le Val Appiana dans la chaîne du Monte Baldo, à quarante kilomètres de Vérone, en Italie du Nord. A Brentonico, la *terra verde*, qu'on exploitait jusqu'au XIX^{e} s., était de la céladonite presque pure. L'extraction se faisait au pic dans des galeries souterraines à 200 m sous terre par des paysans en dehors des périodes agricoles. Les femmes et les enfants séparaient la *terra verde* de sa gangue à l'air libre, opération qui se faisait assez aisément à la hachette. Séchée, la terre était triée par couleur et par texture, puis répartie en trois qualités dont les prix allaient de 3,76 à 6,26 livres italiennes par quintal. Brentonico produisait 17 tonnes par an. Les nodules pesaient ordinairement de 1 à 10 kg [308].

3.3.3. Les terres vertes en peinture romaine : analyses d'échantillons

Les analyses conduites sur plus de 80 échantillons suisses de peintures murales romaines vertes par H. Béarat montrent sans ambiguïté que le pigment vert le plus couramment utilisé est à base de « terre verte ». Les trois pigments identifiés sont, par ordre de fréquence, la céladonite, la glauconite et la chlorite. Au moins deux variétés de céladonite sont déterminables parmi les spécimens analysés. La plus courante ressemble à celle provenant de Chypre ; elle a été détectée sur la majeure partie de sites suisses. L'autre rappelant celle du Monte Baldo a été décelée à Avenches, Bösingen et Vallon uniquement [309]. Les verts peuvent être des mélanges naturels de céladonite et de glauconie, mais on a

[304] Trad. J. M. Croisille. *Pline XXXV*, p. 157, n. 5.
[305] Bailey 1932, p. 213, *ad Loc*.
[306] Delamare, 1987 b, pp. 348-350 ; Delamare, *et al*. 1990, pp. 112-113.
[307] Delamare 1987 b, p. 354.
[308] Delamare 1987 b, p. 349. Le plus gros nodule de céladonite, trouvé sur le site et offert à un musée, pesait 500 kg.
[309] Béarat 1997, p. 31.

constaté qu'il pouvait y en avoir des artificiels. Ainsi, l'analyse d'une couche picturale de l'acropole de Léro (10 de notre ère) se compose de 74 % de céladonite de Brentonico, de 17 % de glauconie de Vieux-Pierrefeu et d'un liant de chaux [310].

La *creta uiridis* désigne la « terre verte », le plus répandu des pigments verts utilisés dans l'Antiquité. Comme l'a montré H. Béarat, on trouve des mélanges naturels de céladonite et de glauconie, comme des artificiels. Si la céladonite est la terre verte la plus fréquente, la glauconite et la chlorite suivent immédiatement par ordre de fréquence. La céladonite la plus employée, le *theodoteion*, vient de Chypre.

3.4. Les supports de couleurs obtenues par voie humide (7, 14, 1-2) (*creta*, *creta selinusia*, *creta anularia*) *et les laques*

Le titre de cette partie est inspiré par S. Augusti, qui distinguait les couleurs obtenues par voie sèche, autrement dit des pigments minéraux (*creta uiridis*, ὤχρα, θεοδοτεῖον, *paraetonium*, *rubrica*, *sil*, *usta*) des autres teintes recueillies par voie humide (pigments bio-dérivés). La *creta* n'est plus une couleur, mais une charge fine pour les pigments organiques. Elle absorbe le colorant bio-dérivé et soluble dans l'eau et le rend insoluble comme une couleur minérale. Vitruve énumère ces pigments végétaux à la fin du livre VII, et ils sont employés sous forme de laques : ce sont des succédanés à bon marché de la pourpre, du sil, de la chrysocolle, de l'indigo. Vitruve reste évasif quant à la qualité de certaines de ces couleurs dont il note seulement le rôle de substitution parce que les substances colorées originales sont trop chères ou rares ; il n'hésite cependant pas à donner un avis favorable sur d'autres (*purpuram elegantem, uiridissimum colorem*) [311].

L'architecte écrit : « On fait des couleurs pourpres en teignant de la craie (*infecta creta*) avec de la racine de la garance (*rubiae radice*), et à partir de l'hysgine (*hysgino*), tout comme, à partir de la fleur, on obtient d'autres couleurs. Les peintres de revêtements (*tectores*), lorsqu'ils veulent imiter le sil attique, jettent dans un récipient, avec de l'eau, des violettes séchées (*uiolam aridam*), et les mettent au feu à bouillir ; ensuite quand la décoction est à point, ils la versent dans un linge, puis, l'exprimant avec les mains, recueillent dans un mortier l'eau colorée par les violettes (*aquam ex uiolis coloratam*) ; ils y versent une craie [charge absorbante] (*cretam*), la broient, et obtiennent la couleur du sil attique. » [312] Vitruve continue son énumération des laques végétales au paragraphe suivant (7, 14, 2) : « En préparant de la même façon des airelles (*uaccinium*) et en y mélangeant du lait, ils produisent une pourpre distinguée. De même, ceux qui ne peuvent employer la chrysocolle (*chrysocolla*)

[310] Delamare 1987 b p. 359 ; Delamare, Guineau 1990, p. 114.
[311] Sur ce chapitre : Rouveret 1989, pp. 277-278.
[312] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

à cause de son prix teignent du bleu céruléen (*caeruleum*) avec l'herbe appelée *luteum*, et peuvent ainsi employer une couleur du plus beau vert : on l'appelle chrysocolle de teinture (*infectiua*). S'ils manquent d'indigo (*indici*), ils teignent de la terre de Sélinonte ou de la craie annulaire (*cretam selinusiam aut anulariam*) avec le pastel (*uitro*), que les Grecs appellent *isatis*, et font ainsi une imitation d'indigo. » [313]

3.4.1. La recette type vitruvienne : imitation du sil attique (*sil atticum imitari*) (7, 14, 1)

Dans ce paragraphe, Vitruve donne une recette détaillée de teinture végétale pour imiter le sil attique (ocre jaune). Son principe (absorption du colorant par une substance neutre) vaut pour les autres couleurs végétales exposées en 7, 14, 1-2.

- ***Matériaux***

— *creta* : charge calcaire fine, inerte et absorbante (aragonite, craie) [314] ;
— *aqua* : eau ;
— *uiola arida* : fleurs de violette sèche (*Viola purpurea*) [315] d'où on extrait la laque.

- ***Instruments***

— *uas* : récipient ;
— *linteum* : toile ;
— *mortarium* : mortier.

- ***Mode opératoire***

*Extraction de la laque (*aqua colorata*)*

— *uiolam aridam in uas cum aqua coicere* « jeter dans un récipient des violettes sèches avec de l'eau »,
— *conferuefacere ad ignem* « faire bouillir (la décoction violette) »,
— *deinde, cum est temperatum, coicere in linteum* « quand la décoction est au point (après être passée du violet, au vert, puis au jaune), la verser dans un linge »,
— *inde manibus exprimere* « exprimer la décoction avec les mains »

---

[313] *Id*.
[314] Augusti 1967, p. 97 ; Béarat 1997, pp. 20-22.
[315] André 1985, p. 272 ; *Vitruve VII*, p. 181, n. 6.

— *recipere in mortarium ex uiolis aquam coloratam* « recueillir dans un mortier l'eau (jaune) colorée par les violettes ».

Absorption de la laque au moyen de la charge calcaire

— *eo cretam infundere* « y verser une charge calcaire fine et absorbante »,
— *terere* « broyer (le tout) ».

Le *modus operandi* décrit par Vitruve est, pour une fois, suffisamment clair pour en dégager les deux phases. D'abord, on obtient la laque en faisant bouillir l'eau et les violettes : en portant à ébullition, la couleur du mélange, passe du violet, au vert et enfin au jaune [316]. Cette dernière couleur est le signe que la teinture est achevée : l'indication visuelle, qui nous est fournie, est qualifiée par Vitruve avec le syntagme verbal *est temperatum* « c'est au point ». La seconde phase consiste à mélanger la laque jaune à une charge blanche, une *creta*, qui est ici un calcaire fin, facilement broyé (craie, aragonite…). La teinte obtenue est belle et stable [317]. Cette laque se faisait sur le chantier puisque Vitruve écrit que c'étaient les peintres de revêtement (*tectores*) qui procédaient à leur fabrication.

3.4.2. *Creta* et les laques rouges pour imiter la pourpre (7, 14, 1-2)

Les laques décrites sont extraites de trois plantes : la garance, l'hysgine et la myrtille.

- ***Matières premières***

— *creta* : charge fine et blanche, soit calcaire (chaux éteinte, aragonite, craie,), soit dolomitique, soit siliceuse (diatomite) [318],
— *rubiae radix* : racine de garance (*Rubia tinctorum* L.) [319],
— *hysginum* : hysgine, (teinture violette dont la nature n'est pas déterminée) [320],
— *uaccinium* : airelle, myrtille, vaciet [321],
— *lac* : lait.

[316] Augusti 1967, pp. 97-98, n. 3 et 5.
[317] Augusti 1967, pp. 97-98 ; Béarat 1997, pp. 20-22.
[318] Augusti 1967, p. 120 ; Béarat 1997, 20-24.
[319] André, 1985, p. 220.
[320] Plante : *Pline IX*, 9, 140, n. 5 ; *Pline XXXV*, 35, 45, n. 2 ; hyacinthe : Plin. *Nat*. 21, 70 ; cochenille : *Vitruve VII*, pp. 181-482, n. 5.
[321] André 1985, p. 268 : *Vaccinium uliginosum* L. et *Vaccinium myrtillus* L. qui est l'airelle tinctoriale, poussant dans les montagnes d'Italie.

- ***Laque de garance et d'hysgine (7, 14, 1)***

— *inficere cretam rubiae radice et ex hysgino* « teindre une charge fine poreuse avec de la racine de la garance et à partir de l'hysgine ».

Pour la *creta*, une poudre calcaire ou dolomitique ou siliceuse [322] sert à la fois d'absorbant et de fixant. Dans le syntagme verbal, les pigments bio-dérivés sont énoncés avec l'ablatif de moyen (*rubiae radice*) et la préposition *ex*, suivie de l'ablatif d'origine ou de matière (*ex hysgino*) [323].

- ***Laque de myrtille (7, 14, 2)***

— *uaccinium temperare* : préparer une décoction d'airelles,
— *lactem miscere* : y mêler du lait,
— *purpuram elegantem facere* : obtenir une élégante pourpre.

La *creta* « charge fine » utilisée semble être la même que pour la laque de violette. Le lait et la *creta* ont un rôle fixateur et densificateur [324].

3.4.3. *Creta selunisia* : succédané d'indigo à base de guède (7, 14, 2)

L'indigo (*indicum purpurissum* (Plin. *Nat*. 35, 46) ou *indicum caeruleum* (*Nat*. 33, 163) est l'une des couleurs naturelles : elle n'est pas minérale, mais végétale, et on tire l'indican ($C_{14}H_{17}O_6N$. $3H_2O$) des feuilles. Ce glucoside incolore est contenu dans les feuilles de diverses plantes du genre *indigofera* et après trempage et battage, il devient par oxydation, le bleu indigo ($C_{16}H_{10}O_2N_2$) [325]. Vitruve n'en parle pas, mais le Naturaliste expose les particularités de ce colorant en 35, 46 : « Il vient de l'Inde, sous forme d'un dépôt qui adhère à l'écume des roseaux. Lors de sa concrétion, il est noir, mais une fois délayé, il donne une teinte magnifique de pourpre et de bleu d'azur mêlés. Il en existe une seconde espèce : c'est ce qui flotte à la surface des cuves dans les ateliers de teinturiers en pourpre, et c'est là l'" écume de pourpre ". Les falsificateurs teignent avec de l'indigo véritable de la fiente de pigeon ou colorent avec du pastel de la craie de Sélinonte ou de la craie annulaire (*Qui adulterant, uero Indico tingunt stercora columbina aut cretam Selinusiam uel anulariam uitro inficiunt*). On l'éprouve avec un tison ; celui qui est pur donne une flamme de pourpre

[322] Augusti 1967, pp. 59 et 120.
[323] Hofmann, Szantyr 1963, § 79, pp. 119-127 et § 147, pp. 264-267 ; Ernout, Thomas 1984, pp. 82, 85, 90-96.
[324] Augusti 1967, p. 120.
[325] Bailey 1932, p. 219 ; Augusti 1967, p. 71-72 ; Reinach, Rouveret 1985, p. 13, n. 22 ; Dioscor. 5, 92, 1 ; Plin. *Nat*. 33, 163.

superbe et sa fumée a une odeur marine. Pour cette raison, certains pensent qu'on le récolte sur les écueils. L'indigo coûte vingt deniers la livre. Utilisé en médecine, l'indigo soulage les crampes et les accès fébriles, il dessèche les plaies suppurantes. » [326]

- ***La recette***

Le pastel ou guède est le colorant le plus courant pour imiter l'indigo. Cette teinte bon marché a un usage connu tant en Méditerranée qu'en Europe [327]. *Vitrum* « guède, pastel » a été nommé ainsi à cause de sa couleur vitreuse, le verre antique n'étant pas transparent, mais verdâtre [328] : on tire le colorant des feuilles qui sont vert bleuâtre. *Vitrum* fait donc référence à une caractéristique de la plante.

Matériaux

— *creta selinusia* : terre blanche (argilo-calcaire) de Sélinonte [329],
— *creta anularia* : calcaire blanc, diatomite, associés éventuellement à du mica blanc (utilisé en maquillage), ou à du verre pilé [330],
— *uitrum* : pastel, guède (*Isatis tinctoria*) [331].

Mode opératoire

— *cretam selinusiam aut anulariam uitro inficere* : teindre une charge blanche fine et absorbante et/ou brillante avec le pastel.

Vitruve mentionne ici deux *cretae*, qui ont un rôle d'agent absorbant et de charge inerte. Ces deux qualités sont indispensables, car si l'on emploie une *creta*, qui est une argile, l'absorption d'un liquide ferait gonfler cette dernière et compromettrait la stabilité de la peinture (lors du séchage notamment). Il faut donc une charge aisément broyée et stable à l'eau et au séchage : le calcaire blanc concassé (craie, dolomite, aragonite…) ou la poudre de diatomée, laquelle peut désigner la *creta argentaria* [332]. Pour les lexies complexes *creta selinusia*

---

[326] Trad. J. M. Croisille.
[327] Dioscor. 2, 184-185 ; Plin. *Nat*. 20, 59. En Bretagne, César (*Gall*. 5, 14) écrit que les Bretons se teignaient le corps de bleu de pastel pour effrayer leurs ennemis. Pour les références antiques : *Les alchimistes grecs 1*, pp. 45, 214, et le papyrus de Stockholm n°109 p. 138, qui indique comment traiter le pastel.
[328] Ernout, Meillet 1985, p. 742, *s. v.* uitrum.
[329] Augusti 1967, pp. 38 et 56-58.
[330] Augusti 1967, pp. 56-59, 120 ; Béarat 1997, p.22 ; Davidovits 2004.
[331] D. Aichele, *Quelle est donc cette fleur ?*, Nathan, Paris, 1975, p. 114 ; André 1985, p. 274.
[332] Plin. *Nat*. 17, 45 ; et 35, 44. La *creta argentaria* sert de fixant pour le *purpurissum*, la pourpre du coquillage, employé comme pigment de peinture : Augusti 1967, pp. 58-59 et 120.

et *creta anularia*, l'adjectif *selinusia* « de Sélinonte » informe sur l'origine géographique, tandis qu'*anularia* « annulaire, de gemme » indique un usage en joaillerie (le mica). Dans ce contexte technique vitruvien, les deux épithètes *anularia* et *selinusia* peuvent commuter : leur emploi comme absorbant de colorant est identique. Ainsi, *creta selinusia* et *creta anularia* sont synonymes.

- ***La* creta Selinusia *chez Pline* (Nat. *35, 46; 35, 194)***

Notre architecte mentionne seulement la *creta Selinusia*, et n'en indique pas la nature. Le Naturaliste est plus disert en 35, 194. Dans ce passage, la terre de Chio, à usage médical, qui tire sur le blanc (*Chia terra candicans*), a les mêmes propriétés que celle de Samos. Le Naturaliste écrit : « Cette terre de Chio est surtout utilisée par les femmes pour embellir leur peau (*usus ad mulierum maxime cutem*) et il en est de même pour la terre de Sélinonte (*Idem et Selinusiae*). Cette dernière est de couleur laiteuse et se délaye très rapidement dans l'eau (*Lactei coloris haec et aqua dilui celerrima*) ; en la délayant dans du lait on s'en sert pour falsifier le badigeon des parois stuquées (*eadem lacte diluta tectorium albaria interpolantur*). » [333] D'après S. Augusti, la nature de cette *creta selinusia* pour un enduit doit être calcaire : effectivement, elle se délaye rapidement dans l'eau, contrairement à une argile ou à une marne, qui, mises en contact avec le liquide, gonflent et constituent une masse dense. Un calcaire fin est une matière inerte avec l'eau et, une fois qu'elle est réduite en poudre ténue et délayée, elle produit une « suspension » minuscule, bien adaptée, comme le dit Pline, à donner un blanc d'enduit [334].

Pourtant, il se peut aussi pour une utilisation cosmétique, que la *creta selinusia* soit une argile : D. E. Eichholz écrit dans son commentaire de Théophraste (*Lap*. 62) que la terre de Samos est du kaolin. Or, des analyses minéralogiques récentes ont montré qu'elle était une montmorillonite (bentonite) [335]. C'est probablement une bentonite peu gonflante à l'eau et qui peut être confondue avec la kaolinite. La terre de Chio a les mêmes propriétés et la même couleur que la terre de Samos et elle est utilisée par les femmes pour embellir leur peau [336]. En effet, l'adjectif *selinusia* « de Sélinonte » peut désigner Sélinonte en Sicile (Plin. *Nat*. 3, 90) ou Sélinonte en Cilicie (Plin. *Nat*. 5, 92). K. C. Bailey se pose la question à la suite d'autres commentateurs [337]. On ne peut donner de réponse assurée, à moins de savoir si un

[333] Trad. J. M. Croisille.
[334] Augusti 1967, p. 38 et 57 ; pour la falsification pp. 119-120.
[335] http://www.gla.ac.uk/archaeology/projects/indminerals/SamianEarth.htm . S. Chiotis, E. Demou, A. J. Hall, V. Perdikatsis, E. Photos-Jones, *Industrial Minerals Exploitation in Antiquity in the Aegean: the case of Samian earth* (en préparation ou en cours de publication).
[336] *Pline XXXV*, p. 287, n. 1 : Dioscoride (5, 174 (Wellmann 5, 155) et Oribase 13 (*s. v.* Γῆ) sont d'accord sur la ressemblance entre les terres de Chio et Samos. Theophrastus, *De lapidibus*, édit. D. E. Eichholz, p. 129, § 62.
[337] Bailey 1932, p. 241.

type de calcaire fin ou de phyllosilicate, adapté aux usages de la peinture et du cosmétique, se trouve dans les environs de ces deux villes (cf. Dioscor. 5, 155, 2). Il est donc possible que cette *creta selinusia* soit un calcaire broyé, une argile, ou un mélange naturel des deux.

3.4.4. Les laques de *rubia*, *uaccinium* et de *uiola*

Pour les matières organiques végétales, comme la racine de *rubia* et la fleur de *uaccinium* et de *uiola*, ou pour l'hysgine, dont la nature (végétale ou animale) est encore à déterminer, Vitruve mentionne comme support une *creta* blanche, sans utiliser un adjectif d'origine ou de qualité [338]. Pour les couleurs roses, ce matériau inerte et attesté en Helvétie romaine peut être la chaux éteinte, l'aragonite, la craie, ou la diatomite. Pour d'autres teintes, on peut user des mêmes matières en y ajoutant la dolomite [339]. Concernant la laque jaune de violette, imitant le sil attique, S. Augusti en a retrouvé un échantillon dont l'analyse chimique a donné deux substances, l'une organique, l'autre minérale. La première est une mixture de matières terpéniques et résineuses. La seconde est un carbonate de calcium avec des micro-organismes (foraminifères, radiolaires), de la silice, de l'alumine et du magnésium. S. Augusti a refait une imitation de sil attique en faisant bouillir une décoction de violette, qui part du violet, puis qui vire au vert et enfin au jaune [340].

3.5. La nature de la *creta anularia* (Vitr. 7, 14, 2 ; Plin. *Nat.* 35, 46; 35, 48)

La *creta anularia* est mentionnée dans le texte vitruvien (7, 14, 2) comme charge absorbante du pastel, comme la terre de Sélinonte, mais l'architecte n'en dit pas plus. Elle est décrite plus en détail avec le Naturaliste (35, 46 et 48). Dans cette dernière référence, Pline indique ceci : « c'est un blanc qui sert à donner un aspect lumineux au visage peint des femmes ; on le fabrique aussi à partir d'une craie à laquelle on mélange de la verroterie qui sert d'ornement aux anneaux du bas peuple, d'où son nom d'*annulaire* » [341]. L'hermétisme de « blanc qui sert à donner un aspect lumineux au visage peint des femmes » a intrigué les commentateurs de Pline. Ceux-ci considèrent que ce passage (*muliebris picturae inluminantur*) fait référence à un usage comme maquillage, et non comme peinture : il est en effet peu vraisemblable que le Naturaliste mentionne cette « craie » pour un emploi pictural, alors qu'il y en avait de meilleurs. En revanche, son prix peu élevé peut expliquer son utilisation

[338] *Vitruve VII*, pp. 181-482, n. 5. Pour S. Augusti, ces colorants organiques ont pour support un calcaire fin, prototype du support de ces laques et qu'il assimile à la *creta Selinusia* : Augusti 1967, p. 39.
[339] Augusti 1967, pp. 59, 97, 98 et 120 ; Béarat 1997, pp. 20-24.
[340] Augusti 1967, pp. 97-98, n. 3, 4, et 5.
[341] Plin. Nat. 35, 48: *Anulare quod uocant, candidum est, quo muliebris picturae inluminantur ; fit et ipsum e creta admixtis uitreis gemmis e uolgi anulis, inde et anulare dictum.* Trad. J. M. Croisille. Isidore de Séville (Orig. 19, 17, 22) cite Pline presque exactement.

cosmétique [342]. Sous ce sens, *picturae* désigne non pas la peinture, mais le fard et l'on pourra ainsi traduire le texte plinien : « Quant à ce qu'on nomme "annulaire", c'est un blanc grâce auquel le maquillage des femmes est rendu lumineux. » [343] K. C. Bailey mentionne deux passages de Plaute (*Most*. 258 ; *Truc*. 1, 4, v. 290) où des produits employés pour la peinture, le *purpurissum*, le *melinum*, la *creta*, la *rubrica*, la céruse, sont aussi des fards [344].

Pourtant, malgré cette explication, pour K. C. Bailey et S. Augusti, la « craie annulaire » est un produit siliceux utilisé pour la peinture et pour la verroterie, mais S. Augusti n'en a pas trouvé trace à Pompéi. K. C. Bailey plaide pour une craie blanche à laquelle on mélangerait du verre. Reprenant cette possibilité, H. Béarat a trouvé dans ses sélections de peinture (dans deux filets blancs d'Avenches et dans un échantillon brut de Pompéi), un blanc qui est de la craie mêlée à du verre cassé : selon lui, cela correspondrait à la « craie annulaire » de Pline [345].

Si l'emploi du verre pilé est attesté en peinture, il est cependant difficile de l'appliquer sur une peau, même pour un usage cosmétique, car, une craie, contenant une telle substance, endommagerait l'épiderme. De plus, le verre pilé ne renvoie pas parfaitement la lumière, car il ne possède pas de plan de clivage. En outre, une craie siliceuse (mélange de carbonate de calcium et de silice), comme le suppose S. Augusti, renferme des éléments durs risquant d'égratigner le tissu cutané. Pour les mêmes raisons, il ne s'agirait pas non plus de quartz broyé ni de cristal de roche. Or il y a une catégorie de minéral qui serait facile à morceler et qui a le pouvoir de renvoyer la lumière : c'est le mica.

Des micas comme la muscovite, la biotite, la phlogopite ou la lépidolite ont une dureté faible sur l'échelle de Mohs : de 2 à 3 voire 4 pour la lépidolite. Ils peuvent être de différentes couleurs : blancs, jaune clair, ambre, rose vif, verts, bruns, noirs, lilas, vert-gris. Ils renvoient bien la lumière et disposent d'un éclat vitreux. « Eclat vitreux » signifie que le minéral ressemble à un verre. Les micas peuvent se broyer et l'on obtient une poudre qui sera une *creta* douce et qui n'agressera pas la peau. Les couleurs sont diverses comme développées plus haut et ainsi les *uitreae gemmae* pourraient être des « paillettes micacées à l'éclat vitreux » ou bien encore des grains assez gros pour être ces fausses pierres utilisées pour les bagues ou les anneaux de pacotille [346]. Sous l'angle de la résistance à l'altération, certains micas (biotites) sont fragiles et d'autres (muscovites) résistent longtemps. En peinture, on peut donner du brillant à un blanc en associant du calcaire fin ou de la diatomite à du mica ou du verre broyé, même si seule la craie avec du verre pilé est attestée.

---

[342] Bailey 1932, p. 221, n. 48 ; *Pline XXXV*, p. 165, n. 6.
[343] Cette traduction est aussi mentionnée par R. Rackham : *Pliny XXXV*, p. 297.
[344] Bailey 1932, p. 221, n. 48.
[345] Bailey 1932, p. 221 ; Augusti 1967, p. 57 ; Béarat 1997, p. 22.
[346] Davidovits 2004, pp. 16-18.

On a donc deux craies annulaires : une *creta anularia* dans Pline, qui est une poudre de mica, peut-être mélangée à de la craie, du talc ou de l'argile, pour un emploi cosmétique et enfin une « craie annulaire », laquelle est, selon Vitruve, une poudre inerte (calcaire blanc, diatomite, chaux éteinte) qui absorbera un colorant organique pour un usage pictural.

4. Conclusion

De toute la littérature latine, Vitruve donne le corpus le plus important du terme *creta*. Contrairement à *calx* et à *lutum*, le théoricien ne lui consacre pas de chapitre spécifique. Les occurrences se trouvent principalement dans le livre VII, et sporadiquement dans le livre II, V et VIII. La polysémie de *creta* « argile, craie » apporte à ce terme une étendue unique dans la littérature technique latine : *creta* est usitée dans des domaines variés, comme l'agriculture, la fabrication des briques, la peinture, les cosmétiques, les pigments, et le nettoyage des vêtements. Vitruve est la première source majeure (avec le Naturaliste) de l'usage des *cretae*. De fait, le lexème est l'hyperonyme d'unités lexicales comme ὦχρα, θεοδοτεῖον, *paraetonium*, *rubrica*, *sil*, *usta*, lesquelles sont des pigments : la *creta* est une poudre fine et douce et sa nature peut être autre chose que de l'argile ou de la craie. Chez Vitruve, la *creta* peut être rougeâtre, blanchâtre ou verdâtre.

Dans la littérature latine, la liste des matériaux qualifiée de *creta* est longue : *creta figlina* « argile », *creta fullonia* « terre à foulon, bentonite, montmorillonite, kaolinite, cimolite, gypse, talc, stéatite », *creta argentaria* « terre pour l'argenterie, terre siliceuse, craie, talc, stéatite, cimolite », *creta fossicia* « terre phosphatée, marne, talc, stéatite » [347]. Néanmoins, la majorité des occurrences vitruviennes de *creta* désigne de l'argile (2, 8, 19 / 5, 12, 4 / 7, 7, 4 / 8, 1, 2 / 8, 1, 5), comme la *creta bona* « bonne argile rouge » (2, 8, 19), et la *creta uiridis* « terre verte » (7, 7, 4), laquelle fait référence à la glauconie, la chlorite et la céladonite. Les autres occurrences ont des sens plus problématiques : la *creta selinusia* et la *creta anularia* sont des charges blanches fines et des supports absorbants (kaolin, calcaire) pour les pigments biodérivés, alors que chez Pline l'Ancien, la *creta anularia* est du mica pour le maquillage et que la *creta selinusia* est peut-être un mélange de kaolin et de calcaire fin. Enfin, la *creta* en 7, 3, 3 est une surface sèche, le plus souvent de calcaire fin, qui constitue un support de détrempe.

Θεοδοτεῖον « terre verte de Théodotos » (7, 7, 4) est un hapax. Il désigne la céladonite du massif de Troodos à Chypre, dont Théodotos était peut-être devenu le principal importateur. L'expression désignative à trois termes *terra albida cretosa* (2, 3, 1) signifie une argile plastique blanchâtre, contenant du kaolin. Son usage est destiné à faire du torchis et de la brique crue.

[347] Cf. Davidovits 2004, p. 16.

8. Glarea - Glareosus

1. Étymologie de *glarea* et de *glareosus*

Glārea, *-ae*, f « gravier » est attesté depuis Caton. L'étymologie de *glarea* a donné lieu des « hypothèses incertaines »[348]. Pour A. Walde et J. B. Hofmann [349], *glarea* est une dissimilation de *grāreia*, qui est issu de **grā-ros* (**gᵉrə-rós*) « broyé »; on peut rapprocher de **ĝer(ē)-* « broyer » dans *grā-num* . L'unique dérivé *glāreōsus* « qui contient du gravier » est assuré depuis Tite-Live.

2. Usage et sens de *glarea* et de *glareosus* avant Vitruve

La mention la plus ancienne de *glarea* se trouve chez Caton (*Agr*. 18, 7). L'occurrence la plus récente est usitée par saint Grégoire le Grand (*M. moral*. 15, 71 p. 1119[B]). L'acception principale est « gravier, cailloutis » (Virgile, Prudence, saint Augustin, Palladius, Cetius Faventinus, saint Grégoire le Grand). Dans l'usage, on a « gravier, caillou pour construire des pavements » (Caton, *Agr*. 18, 7 ; Columelle 6, 23, 1) et « gravier, caillou pour construire des routes » (Cicéron *Q. fr*. 3, 1, 4 ; Tibulle 1, 7, 59 ; Tite-Live 41, 27, 5 ; Ulpien *Dig*. 43, 11, 1, 2 ; Ausone 399, 15).

L'adjectif *glareosus* « graveleux, caillouteux » est usité diachroniquement par Tite-Live, Vitruve, Columelle, Pline le Naturaliste et Palladius [350].

3. *Glarea* et *glareosus* chez Vitruve

Glarea « gravier » se retrouve deux fois : 2, 4, 2 et 8, 1, 2.
Glareosus « plein de gravier, graveleux » : 2, 6, 5 ;
— (*loca*, *sola*) *glareosa* « terre pleine de gravier, terrains remplis de graves » [351].

3.1. *Glarea* et *glareosus* dans le discours géologique vitruvien (2, 6, 5 ; 8, 1, 2)

[348] Ernout, Meillet, André 1985, s. v. Glarea, p. 276.
[349] Walde, Hofmann 1982, s. v. Glarea, pp. 605-606.
[350] *T. L. L.* VI, 2, col. 2034-2035, l. 34-55 ; col. 2035, l. 56-69.

3.1.1. *Glareosa* « les sols de nature graveleuse » (2, 6, 5)

Dans le sixième chapitre du livre deux, le théoricien expose les propriétés de la pouzzolane et précise que, par un caprice de la nature, on ne trouve pas en d'autres lieux de l'*harena fossicia* « sable volcanique ». Il développe tout un contexte pour expliquer la diversité des terrains géologiques meubles : « Ce ne sont pas les mêmes types de terres ni les mêmes types de pierres qui se forment dans les différents lieux et les différentes régions : certains sols sont de même nature terreuse (*terrena*) d'autres alluvionnaires (*sabulosa*) et aussi graveleuses (*glareosa*), mais dans d'autres lieux il y en a de nature sablonneuse (*harenosa*) et également rocheuse (*materia*), et les profils de sol sont de types tout à fait dissemblables et variés en fonction de la diversité des régions. » [352]

Ce passage est particulièrement intéressant à étudier à la lumière de la théorie volcanique vitruvienne. On y trouve une occurrence de *materia* également mentionnée dans *carbunculus*. Dans ce texte, Vitruve explique qu'on ne découvre pas les matériaux utiles pour le liant de chaux, comme l'*harena fossicia*, partout dans la nature. Ainsi, on repère toutes sortes de profil de sols (*qualitates*). L'énumération des terrains parcourt toute la granulométrie des matériaux meubles : il y a les « terrains de nature terreuse » (*terrena*), les « sols alluvionnaires » (*sabulosa*), des terrains « graveleux » (*glareosa*), « sableux » (*harenosa*) et le tuf volcanique peu induré (*materia*). Notre théoricien ne détaille pas leur formation. Il explique seulement que les roches sont érodées par le feu souterrain. Cette érosion, la seule que Vitruve mentionne dans ce chapitre, est celle qui fonde la genèse des profils de sols terreux avec la pouzzolane, comme *terra exusta*, de terres sableuses volcaniques et enfin de la *materia*. En effet, les flammes détruisent la structure des roches, pour en faire selon leur degré de résistance, de la cendre, une terre ou des pierres poreuses.

Les adjectifs de ce passage disposent d'un suffixe en *-ōsus*, lequel est à connotation savante, comme *bituminosus* [353]. *Harenosus* « sablonneux », attesté avec Caton, est d'abord technique, puis devient usuel. Il est inspiré des adjectifs grecs ἠμαθόεις et ψαμμώδης . *Terrosus* « terreux » apparaissant avec Vitruve est un adjectif technique. Il est le calque de γαιώδης . *Sabulosus*, qui est utilisé en premier par Vitruve, est habituellement usité dans un contexte spécialisé puisque ψαμμώδης est son modèle. Enfin, *glareosus*, qui est peut-être une translittération de ἀμμωδης ou de ψαμμώδης , est employé pour la première fois avec Tite-Live (21, 31, 11) [354].

Ainsi, l'historien expose la puissance érosive de la Durance : « Cette rivière, qui prend source elle aussi dans les Alpes est, de toutes celles de la Gaule, la plus difficile, de

---

[351] Callebat, Fleury 1995, p. 33.
[352] Trad. L. Callebat.
[353] Ernout 1949, pp. 5-9.
[354] Ernout 1949, p. 19.

beaucoup, à traverser : bien qu'elle ait en effet un débit considérable, elle n'est pourtant pas navigable parce que son cours n'est pas canalisé entre des berges, parce qu'elle coule dans plusieurs lits à la fois — ce ne sont d'ailleurs pas toujours les mêmes —, qu'elle compte des gués et des trous dont les emplacements varient sans cesse (pour les mêmes raisons, la traversée à pied est aussi risquée); en outre, elle roule des blocs de pierres mélangés à du gravier (*saxa glareosa*) et n'offre pas d'assise ferme ni sûre à celui qui s'y aventure » [355]. L'emploi de *saxa glareosa* se fait dans un contexte d'érosion par l'eau. Tite-Live peut soit avoir créé cet adjectif à connotation savante pour le besoin de sa description, soit avoir repris un terme qui existait déjà. Vitruve se sert de *glareosus* dans une énumération des sols meubles. Par la suite, il est employé par des auteurs techniques (Columelle, Pline l'Ancien, Palladius) : c'est donc un adjectif peu fréquent.

3.1.2. *Glarea* et ses propriétés de filtration de l'eau (8, 1, 2)

Dans le premier chapitre du livre VIII, Vitruve décrit les moyens de détecter l'eau et les méthodes pour la capter et il expose les différentes sortes de terrains où on peut en trouver : « Quant au gravier, il s'y rencontre des veines de moyenne importance et mal assurées ; ces eaux sont aussi d'une qualité exquise (*Glarea uero mediocres et [non] incertae uenae reperiuntur; hae quoque sunt egregia suauitate*). » [356]

On sait que les graviers, les gravillons, les roches poreuses et perméables permettent un écoulement assez rapide de l'eau (10 à 20 m par jour), ce qui constitue une bonne perméabilité. De nos jours, on utilise du gravier, avec d'autres éléments, dans tout un système de purification de l'eau avant distribution [357], car sa forme arrondie assure une bonne porosité. Les ingénieurs romains connaissaient les vertus purificatrices des roches meubles et ils pouvaient user de ces propriétés pour clarifier de l'eau douteuse. Mais ils se servaient plutôt de la décantation, ainsi que le conseille Vitruve (8, 6, 15). Les filtres étaient constitués de grilles et des bassins de décantation et ils étaient installés à l'arrivée de l'aqueduc ou même le long de son parcours : ce sont les *piscinae limariae*, bassins qui devaient eux-mêmes pouvoir être isolés et vidés pour leur nettoyage périodique [358]. C'était le dispositif de purification le plus employé. Pourtant, des filtres de roches poreuses comme du tuf étaient utilisés [359]. A. T. Hodge trouve un exemple à Ampurias, qui n'avait pas d'aqueduc, mais où une ou plusieurs citernes recueillaient l'eau de pluie. Il décrit un système consistant

[355] Trad. P. Jal.
[356] Trad. L. Callebat.
[357] Cailleux 1965, pp. 74 et 87 ; Duval 1971, p. 26 ; *Vitruve VIII*, 1973, n. 6, pp. 53-54; Gilbert Castany, article «Hydrogéologie», in *Encyclopaedia universalis*, Paris, 1985, tome 9, p. 646.
[358] Bruun 1991 ; Adam 1995, p. 271.
[359] Müller 1934, pp. 744 et 827; Forbes 1964 , p. 178, note 108 p. 194.

en un cercle d'amphores trouées dans lesquelles on mettait du charbon actif et du sable [360]. Ce dispositif aurait été nécessaire pour des métiers comme les foulons ou les teinturiers qui exigent une eau d'une qualité excellente. A. T. Hodge remarque que les Romains auraient pu se servir des filtres de gravier ou de sable, mais que ceux-ci n'auraient pu convenir. En effet, ils n'auraient pu résister ni au volume d'eau et ni au grand débit des aqueducs [361]. C'est donc un procédé de filtration qui semble peu utilisé et cela explique pourquoi Vitruve n'en parle pas.

3.2. L'extraction d'un sable à partir de la *glarea* (2, 4, 2)

Le quatrième chapitre du livre II est consacré aux sables qu'on utilise pour les maçonneries et les enduits. Vitruve a traité des sables volcaniques, mais on ne peut pas en trouver partout : « Dans ce cas, s'il n'y a pas de carrière d'où l'on puisse extraire l'*harena fossicia*, il faudra cribler de l'*harena* extraite des cours d'eau ou provenant de granulats, au besoin même du bord de mer (*Sin autem non erunt harenaria, unde fodiatur, tum de fluminibus aut e glarea erit excernenda, non minus etiam de litore marino*). »

On trouve ici le syntagme technique : *harenam de fluminibus aut e glarea erit excernere* « tamiser du sable extrait des fleuves ou des granulats, du gravier ». D'après ce syntagme, notre auteur insiste sur le tamisage. La première étape de la chaîne opératoire consiste en l'extraction des granulats et des graviers. Ceux-ci sont tirés des gravières et des alluvions, lesquelles sont souvent au bord des rivières et sont le résultat du dépôt de sédiments par les cours d'eau. Ensuite, le criblage est la deuxième étape qui aboutira à l'obtention de sable remplaçant l'*harena fossicia*. Le verbe *excernere* « tamiser, sasser, passer au crible » est usité dans ce passage, mais aussi en 7, 3, 3, où il désigne le tamisage du plâtre pour le stuc [362].

Le sassage de la *glarea* sert à sélectionner une *harena*, qui possède les caractéristiques idoines pour un mortier. Sa nature est semblable à l'*harena fluuiatica* « sable de rivière ». D'une manière générale, ces opérations permettent de retenir les grains, car le crible ne laisse passer dans ses mailles que les éléments inférieurs à une certaine taille. On peut ainsi, par une succession de criblages, trier les grains et obtenir des granulats de tous les calibres possibles. Pour un premier sassage, on peut se servir d'un tamis fixe par exemple [363]. Le sable qu'on tamise à partir de la *glarea* est plus ou moins inférieur ou égal à 2 mm pour être utilisable dans un mortier.

---

[360] Il indique dans la note 6 p. 455: « Maison située dans le coin sud-est de Neapolis, à côté de la tour de guet (E. Ripoll Perello, *Ampurias* (Barcelona, 1979), 27). P. MacKendrick, *The Iberian Stones Speak* (New York, 1969), 47, et fig. 3.5, p.49. »
[361] Hodge 1992 , p. 275 et p. 455, n. 5.
[362] Callebat, Fleury 1995, pp. 55.
[363] Houben, Guillaud 1989, pp. 86-87, 113, 194-195, 218 et 220.

Après le tamisage, il y a une opération que ne mentionne pas Vitruve, si ce n'est de manière allusive : le lavage du granulat. En effet, concernant le sable volcanique (*harena fossicia*), Vitruve (2, 4, 1) exige qu'il soit propre, c'est-à-dire non terreux (*neque ibi terra subsiderit*). L'opération devient indispensable surtout s'il s'agit d'*harena marina* « sable de mer ». Le nettoyage est ainsi présenté en 1, 2, 8 : « Lorsqu'il n'y a pas de sable volcanique, on se servira de sable de rivière, ou de sable marin lavé (*Vtendum autem est, ubi non est harena fossicia, fluuiatica aut marina lota*) ». En effet, cet agrégat, s'il n'est pas lavé, laissera échapper du sel lorsqu'il sera utilisé dans les enduits (2, 4, 2). Toutefois, notre auteur n'indique pas si le sable standard, qu'est l'*harena fossicia*, est lavé ou nettoyé après l'extraction. Le lavage est une opération qui consiste à débourber, laver ou dépoussiérer pour obtenir des granulats propres. La propreté des granulats est une nécessité industrielle pour le mélange d'un mortier. En effet, la présence de boues, d'argiles ou de poussières mélangées aux matériaux ou enrobant les grains, empêche leur adhérence avec les liants, ce qui interdit alors leur utilisation [364]. Cette action peut être faite dans des bassins de décantation, comme pour la *creta* et les pigments dans les îles grecques (Milos ou Samos). Le sable extrait de la *glarea* est un agrégat de remplacement de même nature que l'*harena fluuiatica* « sable de rivière ».

4. Conclusion

La *glarea* est un matériau à part dans le texte vitruvien: elle n'est pas un granulat de construction, mais plutôt l'indice d'une certaine qualité de l'eau en hydrologie (8, 1, 2) et elle fournit le sable sédimentaire qui remplacera le volcanique faisant défaut dans l'environnement géologique (2, 4, 2). Il faut faire le rapprochement entre le *De agricultura* de Caton (*Agr*. 18, 7) et le traité d'architecture pour trouver à *glarea* « gravier, cailloutis » un emploi comme matériau pour les sols et les pavements. Vitruve la place dans le chapitre 4, qui parle du sable de construction. Il est donc curieux de constater que notre architecte ne donne pas à *glarea*, la place que lui accorde Caton pour un usage constructif : il préfère se servir du terme *caementum* « caillou, moellon », qui est plus général.

Bien que Vitruve connaisse les propriétés filtrantes des matériaux minéraux, il n'évoque pas la *glarea* comme filtre pour purifier l'eau des aqueducs. Or, même si les filtres minéraux sont rarement utilisés par les hydrauliciens romains, comme l'archéologie nous l'atteste, l'architecte ne les mentionne pas.

L'utilisation de *glareosus* est confirmée depuis Vitruve et Tite-Live. Le contexte, dans lequel ces deux auteurs ont recours à cet adjectif, est géologique (description de terrains meubles pour Vitruve et gravats charriés par la Durance pour Tite-Live). Après Vitruve, si

---

[364] http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_pro/Ressources/Laboratoire/Chapitre_002_-

son usage se fait surtout dans le domaine agronomique (Pline l'Ancien, Columelle, Palladius), il est tout de même étonnant qu'on ne l'y emploie pas plus tôt. Ainsi, *glareosus* ne se trouve ni chez Caton ni chez Varron, les plus célèbres représentants de l'agriculture de l'époque républicaine.

9. Gypsum

1. Étymologie de *gypsum*

Gypsum, *-ī*, n, « gypse, plâtre » est un emprunt au grec γύψος qui a le même sens [365]. *Gypsum* désigne à fois la pierre extraite et le produit calciné qu'est le plâtre [366]. Les dérivés de *gypsum* sont *gypsĕus* « de plâtre », *gypsō* , *-ās* (et *preae-*, *re-gypsō*) « enduire de plâtre » ; *gypsātus* « recouvert de plâtre », *gypsārĭus plastes* ou *gypsŏplastēs* « mouleur de plâtre ».

2. Usage et sens de *gypsum* avant Vitruve

La plus ancienne occurrence de *gypsum* se trouve chez Caton (*Agr*. 39, 2) et les plus récentes mentions sont usitées par Isidore de Séville (*Orig*. 16, 3, 9 ; 19, 10, 20). Il a deux acceptions : « gypse » (Pline le Naturaliste, Celse, Isidore de Séville), et « plâtre » (Caton, Sénèque, Celse, Pline l'Ancien, Columelle, Tertullien, Prudence, Palladius) [367].

3. *Gypsum* chez Vitruve : l'inutilité du plâtre dans le stuc (7, 3, 3)

Gypsum « plâtre » est employé une fois chez Vitruve [368]: 7, 3, 3.

Chez Vitruve (7, 3, 3), le stuc est appliqué dans les corniches des maisons, ces parties moulurées qui font le lien entre les plafonds cintrés et les murs : « La corniche murale (*corona*) [369] permet, dans la salle d'audience d'une curie à mi-hauteur, de donner une meilleure acoustique ; elle peut être en bois (*intestinum opus*) ou en stuc (*albarium opus*). » [370] La moulure est l'ornement créé, sur la face visible d'un bloc, ici une corniche, par la translation sur une directrice d'une ligne « génératrice » ou « profil de la moulure » [371]. Vitruve poursuit : « [Dans la composition de cette corniche murale], le plâtre ne doit nullement intervenir (*minime gypsum debet admisceri*), et la corniche doit être en mortier de

[365] Ernout, Meillet 1985, p. 286.
[366] Ginouvès, Martin 1985, pp. 36 et 45.
[367] *T. L. L.*, VI, 2, col. 2383-2384, l. 78-58.
[368] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* gypsum, p. 33.
[369] Callebat, Fleury 1995, , *s. v.* Corona, p. 213: corniche dans une maison. 5, 2, 2 / 5, 2, 2 / 6, 3, 9 / 6, 3, 9 / 6, 7, 6 / 7, 3, 3 / 7, 3, 3 / 7, 3, 4/ 7, 3, 5.
[370] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[371] Ginouvès, Martin 1985, p. 152.

marbre tamisé (*sed excreto marmore*) et en traînée d'une venue (*uno tenore perduci*), de crainte que le plâtre (*uti ne non patiatur*), en prenant plus vite (*praecipiendo*), n'empêche l'ouvrage d'arriver d'une venue à siccité (*uno tenore opus inarescere*). » [372]

3.1. « *minime gypsum debet admisceri* »

Cette unique mention de *gypsum* dans le texte vitruvien se fait sous la forme d'une défense (*minime gypsum debet admisceri*) : « le plâtre ne doit nullement intervenir ». Le verbe *admiscere* « mêler, incorporer, ajouter » est spécifique au livre VII, car il est usité pour la forme au tuileau (7, 1, 5), la falsification du cinabre (7, 9, 5), et l'application de la couleur noire sur les peintures murales (7, 10, 2) [373]. Alors que Vitruve est prolixe sur la cuisson de la chaux, sa chimie, son usage, le plâtre est réduit à une simple formule, voire à son inutilité dans le traité. Cela montre bien la disparité entre la chaux, qui est le liant de l'architecture romaine, et le plâtre, qui est pourtant aussi ancien que la chaux et plus facile à calciner.

3.2. Comment utiliser le plâtre dans une corniche

L'avertissement de Vitruve doit être révélateur d'une pratique courante à son époque pour les enduits. La chaux peut être utilisée comme agent retardant dans un plâtre. Elle est introduite au mélange de plâtre et d'eau dans une proportion de 1 pour 6 [374]. Un mortier de *calx* et de *gypsum* est toujours possible à retrouver dans les fouilles archéologiques et on peut le détecter à l'analyse [375] ; une préparation, mal dosée, peut entraîner un durcissement hétérogène entre la chaux (qui durcit avec le gaz carbonique et l'eau) et le plâtre (qui fait prise avec l'eau), car celui-ci va absorber le liquide et empêcher la cristallisation de la chaux. D'après ce que l'on peut déduire du texte vitruvien, le stucateur prépare le mortier en une seule fois. Il applique le stuc sur le mur et il exécute la moulure à l'aide de gabarits permettant de tirer le profil en longueur, ou de moules que l'on presse sur le liant frais pour les reliefs complexes. Tel est le sens technique du syntagme verbal *coronas perducere* « tirer au gabarit les corniches ». Les décors les plus fins sont sculptés à la spatule, à partir d'une silhouette esquissée sur le plan du fond [376].

Pour tirer au gabarit un stuc d'un seul jet, le mortier doit rester humide. Si celui-ci sèche trop vite, le maçon ne peut pas l'appliquer sur le mur ou ne peut pas utiliser le moule. Dans ce dernier cas, on peut trouver sur une corniche des raccords ou des joints issus d'un séchage hétérogène.

---

[372] Trad. A. Choisy.
[373] Callebat, Fleury 1995, p. 53.
[374] Abdul Massih 2000 (vol. 1), pp. 42-43.
[375] Cf. Frizot 1977, p. 44.
[376] Adam 1995, pp. 243-246.

Vitruve n'interdit pas l'emploi du plâtre pour un stuc en tant que tel, mais le mélange mal proportionné de deux matériaux (*minime admisceri*), parce qu'ils ont des durcissements différents. L'enduit doit être homogène pour éviter une prise disparate [377].

Faventinus (23) précise les ambiguïtés du texte vitruvien

Cetius Faventinus reprend les descriptions de Vitruve (7, 3) pour les corniches, mais bouscule l'ordre des travaux suivis par notre architecte [378] : les corniches sont structurellement liées aux berceaux, en 7, 3, 3 et 7, 4, 4. En effet, il les considère comme appartenant à la partie supérieure des murs. Faventinus écrit : « Pour les corniches, un mortier plus fin est nécessaire afin que, grâce à une pression plus soutenue, il rende une belle surface brillante encore. Il faudra cependant se garder d'ajouter du plâtre au mortier (*Obseruandum tamen erit ne gypsum impensae adiungatur*). En effet, en séchant rapidement, le matériau déshydraté, quand il se superpose aux enduits de finition des murs et des plafonds, endommage la corniche à leur contact (*Siticulosa enim materia, dum cito arescit, uicinum coronarium opus, politionibus parietum et camerarum <cum> superinducitur*, [*nam*] *corrumpit*) » [379].

Faventinus est ainsi plus disert que Vitruve dans sa notice. Pour l'enduit de poudre de marbre, le mélange doit être assez fin (*subtilior*) et il le précise avec le syntagme *amplius fricare* (« poncer davantage » un revêtement d'un mouvement de va-et-vient répété et appuyé) qui est la traduction de *uno tenore perduci* de Vitruve. On exerce une pression sur le gabarit pour comprimer l'enduit et le rendre compact, comme dans l'opération de talochage, et pour le tirer « d'un seul jet », en maintenant le pressage.

4. Conclusion

La comparaison entre *calx* et *gypsum* est instructive. Vitruve mentionne trente-cinq fois *calx* « chaux » dans son traité. En consacrant le cinquième chapitre du livre II à la chaux, il montre les principes scientifiques de l'art de bâtir. La chaux sert de base pour les mortiers, les bétons et les enduits. Le grand nombre d'occurrences de *calx* dans le *De architectura* correspond évidemment à l'importance de cette substance artificielle dans l'architecture romaine.

L'unique mention de *gypsum* en 7, 3, 3, est éloquente quant à la place du plâtre dans l'esprit de Vitruve. En fait, il ne l'utilise pas : il est donc normal qu'il n'indique pas comment reconnaître le gypse, ni comment le calciner. À l'inverse, Pline (*Nat*. 36, 182-183) reprenant le

[377] Adam 1995, pp. 73 et 75.
[378] H. Plommer, *Vitruvius and Later Roman Building Manuals*, Cambridge, 1973, pp. 103 et 111.
[379] Trad. M. T. Cam.

texte de Théophraste (*De lapidibus*, 62 ; 64-69) [380], décrit de manière plus détaillée les roches gypseuses, la cuisson du gypse, les propriétés et les usages du plâtre [381]. Pourtant, celui-ci est employé par les artisans romains, pour les stucs, les enduits. Comme mortier de liaison, on le trouve chez des auteurs comme Théophraste et Philon de Byzance (*Par*. 79, 5 ; 80, 7). Le gypse était extrait en grandes dalles depuis la période minoenne, pour des sols, des seuils, des montants de portes, des bases de colonnes, le crépissage des murs, pour des marches d'escalier. Comme pour la chaux, le plâtre est bien attesté en Grèce et au Moyen-Orient comme enduit, stuc, et mortier de liaison : le site de Doura-Europos, en Syrie, dans la vallée de l'Euphrate, montre l'emploi intensif de ce liant même à l'époque romaine [382].

Dans son encyclopédie, Pline (*Nat*. 36, 183) évoque plusieurs usages du plâtre comme stuc : le revêtement des surfaces (*opus albarium, opus tectorium*), le façonnement d'éléments architectoniques comme les corniches, et d'autre part les stucs décoratifs, employés dans l'ornement des parois et des voûtes sous forme de reliefs et de sculptures. Le stuc est un mélange de plâtre (le cas échéant, de chaux) et de poussière de marbre, et/ou de colle forte, qui, après séchage, est susceptible d'être poli, prenant ainsi l'apparence de marbre ou de servir de support à la peinture. Mais la présence d'une colle avec la chaux ou le plâtre, si elle est attestée à l'époque moderne, ne l'est pas dans l'Antiquité [383].

---

[380] E. R. Caley, J. F. C. Richards, *Theophrastus, On Stones*, Columbus, Ohio State University, 1956, notes *ad loc*. et D. E. Eicholz, *Theophrastus, De lapidibus*, Oxford, The Clarendon Press, 1965, notes *ad loc*.

[381] Sur le type de gypse et leur cuisson: cédérom: *L'Encyclopédie de Diderot et Dalembert*, éditions Redon, Marsanne, 2000, *s. v*. gypse, plâtre. Articles: Larousse 1872, *s. v*. Gypse, p. 1162; E. Maglin, *s. c*. Plâtre, p. 1078-1081, in Berthelot, H. Derenbourg, *et al*., *Grande encyclopédie, inventaire raisonné des sciences, des lettres et des arts*, tome 26, Paris (sans date). Livres: Mora, Mora 1977, pp. 48-59; Mottana, Crespi 1993, n° 125 : gypse, n° 333 : roche gypseuse; Delanoë, Torres 2000, Paris, pp. 24-28. Une étude détaillée sur le gypse syrien et sa cuisson traditionnelle (cuisson sur aire, four) : Abdul Massih 2000 (vol. 1), pp. 12-15, 35-46, 59-73, 92-111 et pp. 128-130.

[382] Pour le stuc et les enduits : Martin 1965, p. 422 sq. ; Orlandos 1966, pp. 146-148 ; S. de Marinis in *Encyclopedia dell'arte antica, classica e orientale*,tome VII, Istituto della Enciclopedia Italiana, Rome, 1958-1966, p. 524-529 ; Sur l'exemple du plâtre comme mortier de liaison à Douras-Europos en Syrie : Abdul Massih 2000.

[383] Sur les stucateurs : Blanc 1983.

10. Harena – harenatio – harenatum – harenaria – harenosus

1. Etymologie d'*harena*, d'*harenatio*, d'*harenatum*, d'*harenaria* et d'*harenosus*

Harēna (-ae f.) « sable, place sablée, arène ». Les dérivés et les composés d'*harena* sont : *harēnōsus* et *harēnāceus* « sableux, sablonneux », *(h)arenula* (f.) « grain de sable », *harēnāria (-ae)* « sablière, carrière de sable », *harēnātus* « sablé », *harēnātum* (-i, n.) « mortier de chaux et de sable », *harēnātiō* « couche de mortier de chaux et de sable, cueillie », *(h)arēnarius* « gladiateur », etc. *Harena* n'a pas d'étymologie claire, mais la finale *-ēna*, dont le *-e-* est long, indique peut-être une étymologie étrusque [384] : on retrouve ce suffixe avec d'autres dans les finales étrusques *-na, -ena, -ina, -enna, -inna, -enas*. L'importance de cette formation dans l'onomastique et la toponymie étrusque est bien connue [385]. Le grammairien Velius Longus (Gramm. 7, 69, 4 et 7, 81, 10) mentionne le sabin *fasena* « sable » qui est l'équivalent du terme latin et il écrit que *fasena* est aussi la forme archaïque d'*harena* (*itaque harenam iustius quis dixerit, quoniam apud antiquos fasena erat*) [386]. On croise aussi des variantes orthographiques *fassana*, *fasma* ou *fasina* [387].

On trouve en étrusque *faśena* ou *fasle* « corbeille, panier à pain » [388]. Le terme *faśena* vient de *faśe* « pain, pain rituel ». On peut rapprocher sémantiquement, sans y voir de lien de parenté, *faśe* du latin *far*, *farris*, n. « épeautre, farine, gâteau sacré », comme son dérivé *farina* (< *farrina*) [389]. La translittération de *faśena* et de *faśe* étrusques devrait en fait s'écrire *fassena* ou *fasse*, puisque la sifflante avec un accent aigu est un signe conventionnel en épigraphie étrusque pour *-ss-*. On trouve chez Pline (*Nat*. 17, 147), les différents types de sol qu'aime le châtaignier : il pousse dans un terrain meuble sans être sablonneux, et surtout dans le gros sable humide ou dans le tuf carboncle ou même dans la farine de tuf pulvérulent (*Quaerit solum facile nec tamen harenosum maximeque sabulum umidum aut carbunculum uel tofi etiam*

---

[384] Walde, Hofmann 1982, *s. v.* harena ; Ernout, Meillet 1985, p. 289, *s. v.* harena.
[385] Il suffit de rappeler entre autres *Sisenna*, *Porsen(n)a*, *Spurinna*, *Ratumen(n)a*, *Tarsumennus (-menus)*, *Caecina* (étrusque *Ceicna*)... et sans doute avec un suffixe secondaire de dérivation, le type *Maecenas*, *Vercenas* (*-ena, -enas*), etc. Ces suffixes de possession ou de pertinence *-na, -ne, -ni*, s'attachent à des adjectifs issus de noms communs ou propres. A ce groupe appartiennent beaucoup des *nomina gentilia* dérivés des noms individuels: *ais* « dieu », *aisna* « divin », *spura* « cité », *spurana* « de la cité », « civique », *Vei* « Véii », *Veiane* « de Véii » : Ernout 1929 ; Aversa 1994, p. X.
[386] Ernout 1928, p. 69 ; Meillet, Vendryes 1979, p. 74.
[387] *T. L. L.* VI, 3, col. 2526-2531, l. 11-25.
[388] Aversa 1994, *s. v.* fasena.
[389] Ernout, Meillet, 1985, p. 216, *s. v.* far.

farinam […]). L'expression désignative à deux termes *farina tofi* « farine de tuf » vient peut-être du vocabulaire agricole. Pline se sert aussi de *carbunculus* « tuf volcanique meuble » dont la région d'extraction est l'Etrurie méridionale. Dans la même région, on cultive le châtaignier, par exemple au lac du Vico. Le sol de culture est volcanique et gris, qui est pulvérulent, et la granulométrie va du grossier au fin [390].

Farina tofi est apparemment une lexie complexe d'origine agricole, et désigne du tuf pulvérulent ou réduit en poudre. *Faśena* « corbeille à pain » appartient avec *faśe* « pain » au vocabulaire de la boulangerie ; il pourrait signifier aussi en étrusque « farine » et par extension « poudre ». Les termes étrusques *faśe* et *faśena* partagent le même champ notionnel que le latin *far* « épeautre, farine » et on retrouve celui-ci et ses dérivés dans les dialectes italiques. *Fasena* est la forme archaïque de *harena*. Ce *fasena* latin et le *fasena* sabin correspondent et on peut poser l'hypothèse qu'*harena* vient peut-être d'un mot étrusque ou italique signifiant « farine » ; par extension, il désignerait un type de sol meuble, car *harena* a pour définition, d'après les glossaires antiques « terre meuble » (Gloss. ^{L} I Ansil HA 84 : *terra soluta*).

2. Usage et sens d'*harena*, d'*harenatio*, d'*harenatum*, d'*harenaria*, et d'*harenosus* avant Vitruve

Harena est usité pour la première fois par Pacuvius (*Trag*. 99) et les dernières mentions sont d'Isidore de Séville (*Orig*. 16, 2, 3 ; 16, 3, 11 ; 16, 7, 2 ; 16, 15, 5 ; 16, 16, 1-2 ; 16, 16, 4 ; 16, 22, 1 ; 19, 2, 15 ; 19, 10, 2 ; 19, 10, 7-8 ; 19, 10, 21 ; 19, 13 ; 19, 17, 14). *Harena* a dix-sept acceptions (en y incluant l'usage architectural) : « sable, genre de terre meuble » (Varron, Salluste, Catulle, Virgile, Ovide, Frontin, Pline l'Ancien, Tacite, Suétone, Palladius, les juristes, Cetius Faventinus), « sable marin » (Cicéron, Lucrèce, Virgile, Ovide, Stace), « sable de rivière » (Virgile, Ovide, Pline le Naturaliste, Ausone), « sable volcanique de l'Etna » (Lucrèce, Ovide, *Aetna*, Sénèque, Pline l'Ancien), « sable pour recouvrir le sol » (Pacuvius, Ovide, Lampride, Pline l'Ancien, Palladius), « sable de l'arène, de l'amphithéâtre » (Properce, Ovide, Pétrone), « sable pour la confection du verre » (Pline l'Ancien, Tacite), « sable pour la fabrication du bleu égyptien » (Pline l'Ancien, Cetius Faventinus), « sable en agriculture » (Caton, Pline le Naturaliste, Palladius), « sable pour débiter les pierres extraites » (Pline *Nat*. 36, 51 et 53), « calculs rénaux » (Celse, Scribonius Largus, Pline l'Ancien), « plaine sableuse » (Varron, Cicéron, Virgile, Ovide, Vulgate, Prudence), « rivage, rive » (Catulle, Lucrèce, Salluste, Tite-Live, Ovide, Pline le Naturaliste, Minucius Felix), « lieu d'affrontement des lutteurs et des coureurs » (Virgile, Ovide, Stace), « arène des gladiateurs »

[390] Observation personnelle septembre 1995.

(Cicéron, Ovide, Horace, Sénèque, Juvénal, Pline l'Ancien, Quintilien, saint Jérôme, saint Augustin, Végèce), « champ de bataille » (Virgile, Stace, Lucain).

Dans un contexte architectural, on trouve *harena* « sable de construction » : Caton (*Agr*. 14, 3 et 15), Cicéron (*Mil*. 74), Velleius Paterculus (2, 22, 4), Columelle (1, 6, 13), Frontin (*Aq*. 125), Pline (*Nat*. 16, 173 ; 36, 96 ; 36, 173), Suétone (*Cal*. 53, 2), les juristes (Ulp. *Dig*. 47, 3, 1, 1 ; Pompon. *Dig*. 8, 4, 11, 1), Palladius (1, 9, 5 ; 1, 10, 3) et le papyrus de Genève (5, 3, 1) [391].

Harenaria (ou *harenarium*) est usité pour la première fois par Varron (*Rust*. 1, 2, 23) et employé pour la dernière fois par des auteurs chrétiens (Lib. *Pontif*. p. 32, 17 ; 62, 28 ; 180, 2 ; Pass. *Coron*. 9). *Harenaria* a deux acceptions : « sablière, carrière de sable » (Varron, Cicéron) et « lieu de sépulture, catacombes » (Lib. *Pontif.* ; Pass. *Coron*.) [392].

Harenatum est utilisé d'abord par Caton (*Agr*. 18, 7) et enfin par le Naturaliste (Plin. *Nat*. 36, 49 ; 36, 176-177). Il a pour unique sens « mortier de chaux et de sable » donc il est employé dans des contextes architecturaux : Caton, « Devis de Pouzzoles » (Lex. *Par*. *fac*. *Put*. *C. I. L.* X 1781, 18), et Pline le Naturaliste [393].

En fait, ce n'est pas exactement *harenatum* qui est usité par Caton, mais une expression désignative à deux termes *calx harenatus*. Dans ses notices techniques, le sable (*harena*) fait défaut sauf en 18, 7, sous la forme de *calx harenatus* « chaux mêlée de sable, mortier de chaux et de sable ». Cette lexie complexe se compose d'un nom accompagné d'un adjectif, comme *lutum paleatum* ou *lutum aceratum* « argile mêlée de paille, torchis ». Ces deux dernières unités lexicales complexes sont rarement employées, car Caton et Vitruve se servent plutôt du lexème *lutum*. Chez Caton, *calx harenatus* est mentionné deux fois en 18, 7, pour la fabrication de fondations et de pavements. Comme pour *lutum*, il fait usage par métonymie de *calx* dans le sens de « mortier » (14, 1; 14, 4-5; 15, 1; 18, 7).

On trouve aussi *calx harenatus* dans le « devis de Pouzzoles » [394]. Dans cette inscription, *calx harenatus* est au masculin et on a deux exemples où *calx* est au féminin : en 2, 18 *calce uda* « chaux délayée, lait de chaux » et en 2, 19-20 *calcis restinctai* « chaux éteinte ». À cette lexie complexe masculine *calx harenatus* « chaux mêlée de sable », s'oppose *calx uda* « chaux délayée », qui est féminine. Avec *calx harenatus* « chaux mêlée de sable », on a une unité lexicale complexe désignant le mortier, qui était employée par Caton et les auteurs du « devis de Pouzzoles ». Cette opposition de syntagmes masculins et féminins dans le « devis

---

[391] *Papyrus latinus Genaviensis*, édit. Nicole et Morel, Archives militaires du I^e^ siècle, Genève, 1900.
[392] *T. L. L.* VI, 3, col. 2531, l. 60-71.
[393] *T. L. L.* VI, 3, col. 2532, l. 15-25.
[394] *C. I. L.*, X, 1781, 2, 17-18: *Eosq*(*ue*) *parietes* / *marginesque omnes*, *quae lita non erunt*, *calce* / *harenato lita politaque et calce uda dealbata rect*e / *facito*. Choisy 1909 (vol. 3) : « Et ces parois et tous les chaperons, quant aux parties qui ne seront pas enduites, qu'à l'aide de mortier de chaux et de sable, (l'entrepreneur) les fasse enduites et polies, et blanchies correctement à la chaux délayée. »

de Pouzzoles » montre le processus d'évolution dans *calx harenatus* qui aboutira à l'adjectif substantivé neutre qu'est *harenatum*.

Harenosus est usité d'abord par Caton (*Agr*. 34, 2) et enfin par Isidore de Séville (*Orig*. 10, 254) [395]. *Harenosus* a deux acceptions principales : « sablonneux » (Caton, Salluste, Properce, Ovide, Sénèque, Columelle, Pline l'Ancien, saint Jérôme, Palladius) et « semblable à des grains de sable (calculs rénaux) » (Celse, Pline l'Ancien, Cassius Felix, Caelius Aurelianus).

3. *Harena*, *harenatio*, *harenatum*, *harenaria*, et *harenosus* chez Vitruve

Harena, *ae*, f. « sable » se retrouve trente-cinq fois dans le *De architectura* : 1, 2, 8 (bis) / 1, 5, 8 / 2, 4, 1 (bis) / 2, 5, 1 (ter) / 2, 5, 2 (bis) / 2, 5, 3 / 2, 6, 6 / 2, 7, 1 / 2, 8, 2 (ter) / 5, 12, 4 (ter) / 5, 12, 5 / 7, 1, 4 / 7, 3, 2 / 7, 3, 3 / 7, 3, 6 (bis) / 7, 3, 8 / 7, 3, 10 / 7, 11, 1 (bis) / 8, 1, 2 / 8, 4, 1 / 8, 6, 14 / 10, 16, 9 / 10, 16, 10 [396].
— *harena fluuiatica* « sable de rivière » : 1, 2, 8 / 2, 4, 3 / 2, 5, 1 (bis).
— *harena fossicia* « sable volcanique extrait du sol » 1, 2, 8 (bis) / 2, 4, 1 / 2, 4, 3 (bis) / 2, 5, 1 / 2, 6, 5.
— *harena marina* « sable de mer » : 1, 2, 8 / 2, 4, 2 / 2, 5, 1 / 2, 5, 1.

Harenosus « sableux »: 2, 3, 1 / 2, 6, 5 / 8, 6, 3.
— *lutum harenosum* « terre sableuse » : 2, 3, 1 ;
— (*loca* ou *sola*) *harenosa* « terrains sableux » : 2, 6, 5 ;
— (*solum*) *harenosum* « sol sableux (de mine) » : 8, 6, 3.

Harenaria « carrière de sable, sablière »: 2, 4, 2 / 2, 4, 3 / 2, 6, 5 [397].

Harenatio « couche de mortier de chaux et de sable, cueillie de chaux et de sable » : 7, 3, 9. C'est un hapax et donc uniquement usité par Vitruve.

Harenatum « mortier de chaux et de sable » : 7, 3, 5 (bis) / 7, 3, 11 / 7, 4, 1; 7, 4, 3.

3.1. *Harena* et sa géologie

[395] *T. L. L.* VI, 3, col. 2532-2533, l. 36-32.
[396] Callebat, Fleury 1995, p. 32.

3.1.1. Les terrains sableux : *lutum harenosum* (2, 3, 1), (*loca*/*sola*) *harenosa* (2, 6, 5), *solum harenosum* (8, 6, 3)

En 2, 3, 1, Vitruve déconseille de prendre un certain nombre de terres (*lutum*) pour en faire de la bauge ou de la brique crue. Parmi celles-ci, il y a une « terre humide sableuse » *lutum harenosum*, car la proportion d'argile est y inconnue et problématique : une telle terre manque de cohésion, et si elle contient du limon, elle est sensible à l'érosion. Si l'on se base sur le graphique de Sötenich, la « terre humide sableuse » inclut une fraction sableuse inférieure ou égale à 2 mm. En 8, 6, 3, notre architecte écrit sur les différents terrains que les ingénieurs hydrauliciens rencontrent dans la construction des aqueducs : « […] si, le sol est terreux ou sablonneux (*terrenum aut harenosum erit*), on édifiera également dans la galerie des parois avec voûte (*solum et parietes cum camara in specu struantur*) et c'est ainsi que l'on conduira l'eau (*et ita perducatur*). » [398] Du fait de sa nature meuble, le *solum harenosum* est le type de sol où les ingénieurs sont obligés d'édifier des galeries en *opus caementicium* : celles-ci peuvent être enterrées [399].

En 2, 6, 5, Vitruve inventorie les terres meubles « […] certains sols sont de même nature terreuse (*terrena*) d'autres alluvionnaires (*sabulosa*) et aussi graveleuses (*glareosa*), mais dans d'autres lieux il y en a de nature sablonneuse (*harenosa*) et également rocheuse [tuf volcanique peu consolidé] (*materia*), et les profils de sol sont de types tout à fait dissemblables et variés en fonction de la diversité des régions ». [400] L'énumération des terrains meubles rappelle la classification géotechnique des terres qui divise celles-ci en trois types [401] : les terres graveleuses (*glareosa*) qui ont du gravier et du caillou (en poids, 50 % des grains sont supérieurs à 2 mm) et qui ont l'apparence d'un béton, les terres sableuses (*harenosa*) qui contiennent essentiellement les sables (50 % et plus entre 0,08 et 2 mm) et qui ont l'aspect d'un mortier et enfin les terres silteuses (*sabulosa*). Pourtant, dans sa liste des sols, Vitruve mentionne tout de même une source d'*harena fossicia* en 2, 6, 5, sous la forme de la *materia*. Les terres sableuses (*solum harenosum*, *lutum harenosum*) peuvent fournir des sables à extraire.

---

[397] Callebat, Fleury 1995, p. 42.
[398] Trad. L. Callebat.
[399] Cf. Lamprecht 1996.
[400] Trad. L. Callebat.
[401] Houben, Guillaud 1995, p. 31.

3.1.2. La géologie de l'*harena fossicia* (2, 4, 1 ; 8, 6, 14) et les carrières de sable pouzzolanique (*harenaria*) (2, 4, 3)

Vitruve développe les vertus de l'*harena fossicia* en 2, 4, 1: « Concernant les constructions en béton, il faut d'abord étudier le problème du sable en général, afin que celui-ci soit adapté au gâchage du mortier et qu'il ne contienne pas de terre mélangée. Les espèces de sables pouzzolaniques sont: le noir, le blanc, le rouge et le carboncle. Parmi ceux-ci, le sable qui, frotté dans la main, sera criant, sera excellent. Un sable pouzzolanique terreux n'aura aucune aspérité. Si, une fois jeté sur une étoffe blanche, puis chassé par secousse ou par choc, il ne la salit pas et qu'il n'y reste pas de terre, alors ce sable pouzzolanique sera bon pour l'usage. » [402] On sait depuis longtemps que la minéralogie fait du « sable fossile » romain un sable volcanique, dont les propriétés réactives à la chaux sont proches des pouzzolanes.

- ***L'origine volcanique de l'*harena fossicia**

Les régions, auxquelles fait référence Vitruve (Etrurie, Latium, Campanie) sont géologiquement riches en matériel volcanique. La coloration et l'altération naturelle des « sables fossiles » de Vitruve renvoient de fait à ces formations meubles d'origine magmatique (les tufs pulvérulents des environs de Rome). Les critères de distinction entre l'*harena fossicia* et le *puluis* ne semblent découler que de la finesse de la pouzzolane et de la présence de cette dernière dans des lieux caractérisés par une activité thermale importante, sans nécessairement une activité éruptive reconnue. Le sable fossile correspond à des analogues naturels des pouzzolanes, plus compacts, tels des tufs altérés. Cela explicite l'emploi du terme de « sable de carrière » (*harena fossicia*) dans le sixième chapitre du livre II, à la place de « pouzzolane » (*puluis*), 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 théorie volcanique vitruvienne explique la formation des roches meubles et cohérentes par l'action d'un feu souterrain, lequel cuit des pierres dans le sous-sol (cf. *carbunculus*, *materia*, *puluis*). Le résultat de cette calcination est différent selon le degré de résistance des roches à la chaleur : pour le *puluis* « pouzzolane », après l'action du feu, la roche d'origine est devenue une « cendre » *cinis* et a donc perdu toute sa cohérence. Pour d'autres pierres, la flamme ne vient pas à bout de l'induration de la roche et celle-ci devient poreuse, comme la pierre ponce (*pumex*, *spongia*). Le modèle de la formation de l'*harena*

---

[402] Vitr. 2, 4, 1 : *In caementiciis autem structuris, primum, est de harena quaerendum, ut ea sit idonea ad materiem miscendam neque habeat terram commixtam. Genera autem harenae fossiciae sunt haec: nigra, cana, rubra, carbunculus. Ex his quae in manu confricata fecerit stridorem erit optima; quae autem terrosa fuerit non habebit asperitatem. Item si in uestimentum candidum ea coniecta fuerit, postea excussa uel icta id non inquinarit neque ibi terra subsiderit, erit idonea.*

fossicia est le carboncle, que Vitruve qualifie d'*excocta materia* « tuf altéré ayant subi le feu volcanique » (2, 6, 5-6). D'après les conceptions vitruviennes, la flamme a détruit le caractère cohérent du tuf et il suffit de gratter celui-ci pour qu'il se délite en sable. De plus, ce tuf a acquis, par son contact au feu, une propriété réactive (*ieiunitas*), laquelle s'activera au contact de l'eau et de la chaux. Vitruve insiste sur la qualité des matériaux volcaniques nécessaires pour une bonne *structura caementicia*.

A Paringianu (Sardaigne) dans la carrière de tuf volcanique (tuf cendreux comenditique) (Fiche et Carte 3), le sable a toutes les caractéristiques décrites par Vitruve (2, 4, 1 ; 8, 6, 14): il est âpre au toucher et crisse dans la main. Il n'a pas été transporté ni altéré par l'érosion. En revanche, exposé aux intempéries, il peut devenir terreux et le carrier doit alors enlever un front de taille défectueux pour accéder au sable « propre ». Vitruve constate en 2, 4, 3 que le sable volcanique conserve ses qualités seulement s'il est extrait récemment de la sablière (*hae quae sunt de harenariis recentes*). Les tufs pyroclastiques peu durs désignent donc des *harenariae*, d'où on tire l'*harena fossicia*.

- ***Les pouzzolanes de Rome :*** **harena fossicia rubra, cana, nigra**

Depuis le XIX^e^ siècle, on a localisé les lieux d'extraction du sable pouzzolanique de Rome et de ses environs. Une excellente synthèse du type de sable volcanique utilisé par les maçons romains depuis de 200 *a. C.* a été faite par M. E. Blake [403]. La pouzzolane de la campagne romaine est un tuf granulaire peu induré, leucitique et basaltique, composé de verre amorphe. Ce tuf meuble est le même que la lave des monts albains dans laquelle il y a de nombreuses inclusions de leucite et de pyroxène. M. E. Blake constate que les couleurs dominantes dans les mortiers anciens sont gris, le gris rougeâtre sombre et le brun rougeâtre. Pour M. E. Blake, ce classement a valeur chronologique pour la datation des liants, car au fur et à mesure que le sol était creusé, on exploitait plus loin et en profondeur et de la sorte, on découvrait de nouveaux gisements.

On peut citer quelques sablières colligées par M. E. Blake dans la littérature archéologique : près du temple de Jupiter Stator [404], au Camp prétorien (*Castra praetoria*), sur le Viminal, aux portes de la Ville [405], au Capitole et quelques poches dans le Vélia (Palatin). Au niveau des sables noirs et rouges, l'identification est connue : d'après M. E. Blake, la pouzzolane noire de Vitruve est probablement celle de Trois Fontaines, dont on exploite les terrains voisins, lesquels assurent à la fin des années 20 *a. C.* l'essentiel de l'*harena fossicia*. A

[403] Blake 1947, pp. 41-44.
[404] F. Giordano, « Condizioni topographiche e fisiche di Roma et Campagna romana », *Monografia dellà città di roma et della campagna romana*, volume 1, rome, 1881, p. XXXI ; R. Lanciani, *Mitteilungen des Deutschen Archaeologischen Instituts*, *Römische Abteilung*, volume 9, 1894, p. 9 : cité par Blake 1947.
[405] R. Lanciani, *Bulletino della Commissione Archeologica Communale di Roma*, volume 20, 1892, pp. 283-

un échelon granulométriquement supérieur, les carrières de tuf de *Saxa Rubra* (via Flaminia) pourvoient à la grande masse des *caementa,* dont le module est réduit par rapport à celui des périodes antérieures [406]. La pouzzolane rouge est celle des bancs à l'extérieur de Porta San Paolo. Le sable gris cendreux (*harena fossicia cana*) est le lot commun du béton républicain. Il y a deux autres arènes pouzzolaniques que Vitruve ne mentionne pas : la grise sombre mêlée à de la blanche et l'*harena* rouge mélangée avec du sable gris. M. E. Blake indique que leur provenance n'était pas identifiée à l'époque où elle publia sa monographie (1947), et que ces deux sables sont employés dans le béton impérial.

- ***Discussion : la nature de l'*harena fossicia *dans la littérature archéologique***

A. Coutelas s'étonne d'un décalage existant entre la littérature archéologique et le texte vitruvien quant à la nature volcanique de l'*harena fossicia* : « Il nous paraît étonnant qu'une telle empreinte de la géologie [volcanique] 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. » [407] En effet, on peut citer, parmi quelques éditeurs du traité vitruvien, Choisy, Fensterbusch, Granger, Corso et Romano [408], lesquels rendent *harena fossicia* par « sable de carrière » et ne précisent pas dans leur commentaire sa qualité volcanique. Sans mention explicite de la géologie volcanique campanienne ou romaine, il semblerait que n'importe quel type de sable extrait du sol puisse être utilisé pour donner une bonne *materia* « mortier » laquelle permet de bâtir une voûte concrète. Par conséquent, tous les sables paraissent se valoir, quelle que soit leur provenance.

Pourtant, la nature volcanique et donc réactive de l'*harena fossicia* avec la chaux est mise en avant par Ed. Guillaume dans son article « arena » du *Dictionnaire des antiquités grecques et latines* à la fin du XIX[e] siècle. Cette identification fut reprise par Van Deman, M. E. Blake et G. Lugli [409]. Or l'archéologue américain Charles Densmore Curtis [410] contesta en 1912 cette assimilation à la pouzzolane. Dans sa publication, il s'insurge contre l'usage abusif du terme « pouzzolane » pour désigner un sable dans la littérature archéologique de son époque. Selon lui, l'arène volcanique n'a pas d'« aspérité » et la pouzzolane est une poudre très fine inférieure en taille au sable. Pour Curtis, appliquer le terme « pouzzolane » comme

---

284 : cité par Blake 1947.
[406] Blake 1947 pp. 41-44 ; Lugli 1957, p. 407 ; Gros 1976 a, pp. 67-68.
[407] Coutelas 2003, p. 80. Nous avions déjà signalé ce décalage entre la littérature archéologique et la nature de l'*harena fossicia* : cf. Davidovits 1994.
[408] *Vitruvio 1.* A l'inverse, l'édition du livre II de la CUF cite dans le commentaire qu'on a affaire à une pouzzolane pour le *carbunculus*, lequel est l'*harena fossicia* type : *Vitruve II*, p. 87, n. 2.
[409] Ed. Guillaume, 1877 ; Blake 1947, p. 41; Lugli 1957, pp. 390-401.

l'ont fait Guillaume et Van Deman à l'*harena fossicia* est donc une absurdité terminologique et granulométrique : « Les sables varient grandement en composition et en granulométrie, mais ils sont composés principalement de particules de cristaux de quartz. » Et ainsi, par un raccourci sémantique maladroit, C. D. Curtis laisse entendre que l'*harena fossicia* consiste principalement en quartz, et que, par conséquent, elle n'est en rien volcanique. L'argumentation de Curtis est absurde, car d'une part le sable volcanique a une surface anguleuse, laquelle correspond à la description de Vitruve (cf. *Carbunculus* et *Materia*), d'autre part, cela est en contradiction avec les solides observations de terrain sur les mortiers romains de Van Deman (et de sa disciple M. E. Blake), expériences de terrain que C. D. Curtis reconnaît volontiers à Van Deman ; de plus, C. D. Curtis n'a plus rien publié par la suite sur le mortier antique, et enfin, on sait que le mot « sable » en granulométrie définit une taille d'un matériau, qui peut être calcaire, siliceux, volcanique, etc. Dans le début de son article, C. D. Curtis semble confondre la minéralogie (quartz) avec la granulométrie (sable). Il est clair que C. D. Curtis voulait mettre de l'ordre à un débat terminologique qui est aujourd'hui clos (peut-on parler de « pouzzolane » avec l'*harena fossicia* ?) : le terme « pouzzolane » est accepté dans la littérature archéologique pour désigner le sable volcanique utilisé par Vitruve [411]. A la lecture, l'article nébuleux de C. D. Curtis est assurément à l'origine d'une confusion dans le débat archéologique et philologique sur l'*harena fossicia*.

Enfin, on trouve dans la littérature archéologique une remarque récurrente sur l'ignorance (volontaire ou non) de Vitruve sur l'emploi de la « pouzzolane » romaine, c'est-à-dire du sable volcanique qui possède les mêmes performances hydrauliques que le *puluis* [412]. En fait, la question est mal posée ; notre architecte explique bien l'usage de l'*harena fossicia* en 2, 4, 3 : « Les sables fossiles sèchent facilement dans les maçonneries, les enduits restent en état et il est possible de voûter, cela cependant s'il s'agit de sable extrait récemment des carrières (*Fossiciae uero celeriter in structuris siccescunt*, *et tectoria permanent*, *et concamerationes patiuntur*, *sed hae quae sunt de harenariis recentes*) » [413] ; en 2, 6, 6, il prescrit : « Ces deux matériaux [pouzzolane et sable volcanique] sont excellents pour les maçonneries, mais les propriétés du second conviennent particulièrement aux constructions sur la terre ferme (*sed alia in terrenis aedificiis*), celles du premier aux digues de mer (*alia etiam in maritimis molibus habent uirtutem*) » [414]. Le sable volcanique sert seulement pour les constructions terrestres et la pouzzolane pour les môles. Celle-ci est trop ténue pour être mélangée à la chaux éteinte, mais en revanche on peut la mêler à la chaux vive, à sec. La cendre fine est une matière

[410] Curtis 1913, pp. 197-203.
[411] Ginouvès, Martin 1985, p. 44.
[412] Cf. Guillaume 1877, Curtis 1913, Blake 1947, Anderson Jr. 1997.
[413] Trad. L. Callebat.
[414] Trad. L. Callebat.

difficile à malaxer dans une auge à mortier, et elle remet en cause les habituelles méthodes de travail des *structores*. En outre, notre théoricien explique l'origine commune et volcanique de la pouzzolane et de l'*harena fossicia* dans le sixième chapitre du livre II. Une fois ces précisions faites, on s'aperçoit que Vitruve connaît bien ses matériaux, leur formation et leur usage.

3.1.3. Les sables fluviaux et marins (*harena fluuiatica*, *harena marina*) (2, 4, 2)

En 2, 4, 2, si l'on n'a pas d'*harena fossicia*, écrit Vitruve, il faudra trouver un substitut avec du sable de rivière (*harena fluuiatica*) ou de mer (*harena marina*): « S'il n'y a pas de carrière d'où le sable [volcanique] puisse être extrait (*Sin autem non erunt harenaria unde fodiatur*), on le tirera des fleuves ou du gravier (*tum de fluminibus aut e glarea erit excernenda*), en le passant au crible, voire aussi du bord de mer (*non minus etiam de litore marino*) ». [415] L'*harenaria* « carrière de sable » est évidemment une sablière d'arène volcanique. Reprenant la notice vitruvienne, Palladius (1, 10, 2) précise bien que si l'on n'a pas de sable volcanique de carrière, il faudra tirer le sable du gravier ou du bord de mer (*Sed si fossilis harena non fuerit*, *de fluminibus glarea aut litore colligetur*).

Ce sable est extrait du lit des rivières, mais aussi des berges et des terrasses alluviales, qui est le lieu où un cours d'eau peut déborder en crue et déposer des sédiments. Ces terrasses sont aussi l'emplacement d'extraction des argiles et des dégraissants pour le *lutum* « bauge, torchis » [416]. Les granulats de rivière sont associés dans la notice vitruvienne à des matériaux graveleux (*glarea*). Si l'on décrit l'environnement géologique d'une vallée, les alluvions récentes se présentent sous l'aspect d'une masse limoneuse ou limono-sableuse et souvent organique (colloïdes), alors que les alluvions anciennes, présentes aussi en système de terrasse, sont plus grossières et riches en graviers. Ces formations grenues ou fines sont des sources possibles de matières premières pour fournir du sable criblé et normalisé, comme le suggère Vitruve.

Les notices vitruviennes (2, 4, 2 ; 2, 6, 5) constituent un aspect de la connaissance géologique des Romains qui auraient su voir dans les terrasses alluviales la marque des anciennes divagations des cours d'eau cheminant en contre-bas. Ainsi, pour les régions auxquelles l'architecte fait référence, les terrasses alluviales pourraient être associées aux « sables de rivière ». Si l'on compare avec d'autres régions romaines comme la Gaule plus 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

[415] Trad. L. Callebat.
[416] Cf. Houben, Guillaud 1995.

répercussions sur la propriété des matériaux de chaux. Quant à l'exploitation du lit des cours d'eau 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 [417].

L'élaboration du sable fluvial comme agrégat suppose un certain nombre de chaînes opératoires : extraire le gravier, laver ou décanter les alluvions pour en éliminer les colloïdes ou l'argile, sécher le matériau et enfin tamiser pour supprimer les éléments indésirables, etc. Les matières premières, autres que le matériel volcanique, sont des sables silicatés ou calcaires, dont la coloration vient, pour l'essentiel, d'une « contamination » en constituants fins (argiles, limons). C'est pourquoi il est nécessaire de les laver pour les ôter. Si l'*harena fluuiatica* doit être nettoyée pour devenir un produit, le sable marin doit être bien lavée à l'eau douce, car sinon il peut rejeter du sel qui était dissous dans l'eau, comme l'avertit notre architecte : « Le sable marin présente en plus un autre inconvénient (*Marina autem hoc amplius quod etiam parietes*), à savoir que lorsqu'un enduit a été appliqué sur les murs (*cum in is tectoria facta fuerint*), ceux-ci rejettent du sel et font ainsi s'effriter la couche d'enduit (*remittente se salsugine corium dissoluunt*). » [418]

- ***Précipitation d'un sable calcaire dans l'eau (8, 4, 1)***

On peut signaler un cas curieux où le sable peut émerger spontanément. En 8, 4, 1, pour déterminer la pureté d'une eau calcaire, Vitruve conseille de la faire bouillir pour la faire évaporer. Le carbonate de calcium (*harena*), dissous dans l'eau, précipite et apparaît dans la bouilloire. Cette méthode de détermination se retrouve chez Pline l'Ancien (31, 36) et chez Palladius (9, 10) et est encore employée aujourd'hui [419]. Cette *harena* qui se forme après évaporation est une curiosité minéralogique.

Vitruve discrimine donc trois sortes d'*harenae* pour la construction:
– *harena fossicia*, qui est une arène volcanique;
– *harena fluviatica*,
– *harena marina* : ces deux derniers sables sont calcaires, quartziques, etc.

Notre architecte classe les granulats selon leur origine d'extraction. En cela, la langue technique de l'architecture ne distingue d'ailleurs pas les variétés de sable d'après leurs caractéristiques minéralogiques, mais suivant leur lieu d'origine [420].

[417] Coutelas 2003, p. 82.
[418] Trad. L. Callebat.
[419] Guyot 1966, p. 26 sq., p. 36 sq.
[420] Ginouvès, Martin 1985, p. 44.

3.2. *Harena* et son usage sur le chantier

Vitruve fait donc une distinction précise entre les différents sables, car il parle de l'importance du choix de l'*harena* suivant son usage: il définit ainsi quel type doit être employé dans les bétons, les mortiers, les enduits. Le sable est complémentaire de la chaux, mais dans le traité vitruvien, le quatrième chapitre du livre II qui a pour thème l'*harena*, précède la section sur la chaux, alors que les manuels d'architecture du XIX[e] siècle, comme le *Traité théorique et pratique sur l'art de bâtir* (1812) de J. B. Rondelet, font l'inverse. Cela prouve l'importance du sable pouzzolanique dans le système architectural de Vitruve.

3.2.1. L'*harena fossicia* est un produit de qualité (1, 2, 8)

En plus de la discrimination des *harenae* en trois catégories, notre architecte introduit en 1, 2, 8 une donnée économique dans le choix des matériaux. « La distribution est la répartition convenable des ressources et du terrain *(Distributio autem est copiarum locique commoda dispensatio*) et, dans les ouvrages, un sage équilibre des dépenses grâce à un calcul (*parcaque in operibus sumptus ratione temperatio*). On l'observera si d'abord l'architecte ne cherche pas ce qu'on ne pourra trouver ou préparer qu'à grands frais. En effet, il n'y a pas en tous lieux abondance de sable de carrière, de moellons, de sapin, de planches de sapin ni de marbre, mais un matériau dans un lieu, un autre ailleurs et leur transport est difficile ou coûteux. Lorsqu'il n'y a pas de sable de carrière, il faut se servir de sable de rivière ou de sable de mer lavé (*Vtendum autem est*, *ubi non est harena fossicia, fluuiatica aut marina lota*); » [421]

Ce texte est très intéressant, car il permet d'en déduire les relations entre l'architecte et le maître d'ouvrage, le *dominus*. Si l'on paraphrase grossièrement Vitruve, l'architecte a un budget qu'il doit répartir convenablement entre les exigences des ressources et du terrain. Les besoins financiers tiendront compte de la main-d'œuvre, de la qualité et donc du prix des matériaux, etc. Pour ces derniers, il suffit de lire Pline l'Ancien pour s'apercevoir que la perfection se paie et qu'il faut être grand clerc pour savoir reconnaître un article falsifié d'un autre pur : un exemple, en 31, 114, montre qu'en Égypte, le natron pouvait être frelaté par l'ajout de la chaux, frelatage qui se percevait au goût. C'est pourquoi l'architecte se doit d'être expert des matériaux qui saura distinguer lesquels sont les meilleurs et lesquels sont des succédanés.

Notre auteur donne la liste de ce qu'il considère comme les meilleures matières du marché: l'*harena fossicia*, le *caementum*, l'*abies* et le *sappinus*, qui désigne le sapin, et le *marmor*. Mais comme on ne les trouve pas partout et qu'ils sont rares, ils sont donc chers. Si l'architecte en a besoin et si le maître d'ouvrage est riche, on peut les faire venir à grands

[421] Trad. P. Fleury.

frais d'assez loin. Sinon, il faudra se contenter des matières locales. Vitruve ajoute en 6, 8, 9 que de toute façon la décision revient au maître d'ouvrage, le *dominus*.

Ainsi, concernant le choix des matériaux, au critère de qualité, Vitruve en joint un autre: celui du prix. L'architecte les choisira selon ces deux principes. L'un détermine l'autre, et il faut envisager, dans le cas de l'*harena fossicia*, des sables de substitution, comme des granulats lavés de cours d'eau. Mais ces deux produits ne possèdent pas la réactivité pouzzolanique de l'*harena fossicia* : il faut alors ajouter de la *testa* pour compenser leur neutralité chimique.

3.2.2. L'*harena fossicia* pour la *structura caementicia* (1, 2, 8 ; 2, 4, 1 ; 8, 6, 14)

L'*harena fossicia* est assurément le sable standard pour la construction (2, 4, 2) : « Les sables pouzzolaniques font durcir rapidement le béton dans les constructions (*Fossiciae uero celeriter in structuris siccescunt*), les enduits se maintiennent (*et tectoria permanent*) et ils supportent l'effort des voûtes concrètes (*et concamerationes patiuntur*), mais seulement les sables qui sont fraîchement extraits des carrières (*sed hae quae sunt de harenariis recentes*). » Vitruve reprend alors son exposé par la négative sur l'*harena fossicia*: celle-ci n'est pas faite pour les enduits, alors que l'*harena fluuiatica* l'est. Celle-ci doit être propre si on veut l'utiliser avec la chaux (2, 4, 1) : « Parmi ces sables volcaniques, le meilleur est celui qui crisse quand on le frotte dans la main (*quae in manu confricata fecerit stridore*) ; celui, en revanche, qui est terreux (*terrosa*) n'accrochera pas (*non habebit asperitatem*). Si l'on jette par ailleurs du sable sur une toile blanche que l'on secoue ensuite pour le chasser (*Item si in uestimentum candidum ea coniecta fuerit*), et si ce sable ne la tache pas et n'y laisse pas de terre, il sera d'un bon usage (*postea excussa uel icta id non inquinarit neque ibi terra subsiderit, erit idonea*). » Notre architecte donne donc allusivement des opérations techniques pour la préparation des granulats en 1, 2, 8 et 2, 4, 1-2.

- ***La préparation des granulats pour le mortier d'après Vitruve***

Vitruve donne quelques modes opératoires pour choisir le bon sable volcanique et le nettoyer. Pour un usage cimentier, il ne doit pas être mêlé de terre (*terra commixta*) et il doit être « propre » (*pura*, 8, 6, 14). Notre auteur indique deux épreuves pour reconnaître le sable volcanique idoine (*harena fossicia idonea*) du terreux (*terrosa*) :

- test de la main (*in manu*) : le sable qui crisse dans la main ou sera criant (*confricata fecerit stridorem*); ce sable aura donc des aspérités, ce que celui terreux n'aura pas (*non habebit asperitatem*).
- test de la toile blanche (*in uestimentum candidum*) : le sable volcanique est jeté sur l'étoffe blanche, puis chassé par secousse ou par choc (*excussa uel icta*), s'il ne l'a pas

souillée (*id non inquinarit*) et si la terre n'y est pas restée (*neque ibi terra subsiderit*), il est idoine (*idonea*).

Le meilleur sable est donc volcanique sans trop d'éléments fins, c'est-à-dire sans trop de cendres fines. La courbe de Sötenich conseille une fraction fine inférieure à 0,25 mm. Dans cette quantité, se retrouvent les pouzzolanes qui réagiront avec la chaux. L'épreuve du linge blanc permet de sélectionner le sable volcanique qui contient la part de fines dont la granulométrie va jusqu'à 1/16 mm (cendre grossière clastique volcanique). Celle qui est en dessous de 1/16 mm (0,0625 mm) risque de tacher le linge blanc, car elle se situe au niveau des argiles et des silts granulométriquement.

Le sable volcanique non altéré possède une surface anguleuse. Vitruve dispose donc d'un agrégat ayant une « rugosité » (*asperitas*) ou « très anguleux » (*asperrima*), comme en 8, 6, 14. L'aspect des grains est important pour découvrir l'origine du granulat (par comparaison avec les formations géologiques locales, surtout si celles-ci sont sédimentaires) et pour envisager l'éventualité d'un broyage de la formation exploitée. La géologie a établi une classification de la forme des grains. Le sable peut être *non usé* (NU), à forme esquilleuse et irrégulière, *émoussé luisant* (EL), car un transport aqueux prolongé fait un grain ovoïde à surface propre et éclat vif. Enfin, un transport éolien donne un grain de sable *rond mat* (RM) : rond ayant l'aspect du verre dépoli [422]. Les grains de l'*harena fossicia* peuvent être considérés comme « non usés ».

Pour avoir un sable « propre » (*pura*, 8, 6, 14), Vitruve peut conseiller un tamisage (*succernere* « tamiser, cribler »), comme en 2, 5, 1 pour un granulat normalisé de *testa*. En 1, 2, 8, il écrit que le sable marin doit être lavé : on a le syntagme *harenam marinam lauare* « laver le sable marin ». Le lavage de l'agrégat est donc une procédure connue de notre architecte. Pourtant à la lecture du texte, il semble que cette action ne soit pas appliquée à l'*harena fossicia*: il choisit un sable, qui, à l'état naturel, ne possède pas de fines et est « propre ».

Enfin, après ces opérations de tamisage et de nettoyage, si l'on se base sur la courbe de Sötenich, on peut postuler que l'*harena* vitruvienne est inférieure à 2 mm. Ainsi, le pourcentage massique de granulat tamisé (*harena fluuiatica*, *harena fossicia*, *testa*) est pour un volume :

- 33,33 % inférieur à 0,25 mm: 0,5 kg et 0,333 l;
- 66,66 % entre 0,25 et 2 mm: 1 kg et 0,666 l [423].

[422] Aubouin, Brousse 1975, p. 236. Il y a un autre classement mentionné par Pettijohn, Potter 1972, pp. 80-85 et p. 586 et Coutelas 2003, pp. 24-25.
[423] Cf. *Caementum*, *Materia* et *Testa*.

- *Évolution des mortiers et des* **modi operandi** *de la République à l'Empire*

L'étude attentive des mortiers romains et de leurs composants depuis la République jusqu'à l'Empire donne des indications sur l'utilisation des chaînes opératoires en usage sur les chantiers. Vitruve spécifie que le sable doit être propre, et non pas terreux. En effet, une des faiblesses du liant républicain est justement sa caractéristique terreuse ; en outre, puisqu'on note que de nombreux liants césariens et presque tous de la période augustéenne possèdent une poussière rouge de type pouzzolanique, il semble que le lavage des granulats ne soit pas devenu la règle. En fait, le caractère terreux du mortier persiste jusqu'à l'époque flavienne [424].

S'il est assez ancien, le résumé que donne M. E. Blake de l'évolution des mortiers romains est assez instructif. De 200 à 87 *a. C.*, le liant est gris cendreux et extrêmement friable. Le sable est terreux et est responsable de la friabilité. Le granulat est gris, brun principalement et quelquefois rouge. Il ressemble à du gravier fin, car le grain est érodé et non anguleux. De plus, la granulométrie varie beaucoup et il y a peu de chaux. On remarque peu de changement avec la période syllanienne : on note toujours la même quantité insuffisante de chaux et le sable est plus sombre et moins terreux ; le liant est moins friable. Il y a aussi un ciment blanc et dur, destiné à des usages spéciaux.

L'époque césarienne est assurément une époque de transition dans la manière dont les maçons travaillent. Les premiers mortiers de cette phase, même s'ils sont du même type que la période précédente, acquièrent en qualité. Ainsi, la chaux, quoique possédant toujours une couleur blanche sale, est légèrement meilleure et elle est plus abondante. Le sable est de la même couleur, mais moins terreux, si bien que le mortier est de texture plus fine et plus dure. Les bâtiments tardifs de la période césarienne ont un liant rouge gris. La chaux est plus propre et sa quantité est plus importante ; le sable est une vraie pouzzolane volcanique, laquelle est anguleuse et elle varie beaucoup en taille et on y trouve beaucoup de gros éléments. Cette pouzzolane est principalement brun rougeâtre avec un peu de rouge. Bien que le liant possède encore un caractère terreux, la friabilité, qui était la malédiction des périodes précédentes, selon M. E. Blake, a été largement éradiquée.

Un liant rouge foncé est développé sous Auguste, qu'on emploie ensuite sous le règne de Tibère et de Caligula. La chaux est de très bonne qualité et est très abondante par rapport aux époques anciennes. Le sable est une pouzzolane rouge et brun rougeâtre, que M. E. Blake identifie avec l'*harena fossicia rubra* vitruvienne ; on trouve avec cette pouzzolane un peu de gris et de blanc. Bien que ce sable volcanique soit relativement propre, celui-ci contient une fine poussière rouge extraite, laquelle donne l'aspect rouge foncé de ce mortier. C'est l'indication qu'on ne lave pas l'arène pouzzolanique, et par conséquent, le liant,

[424] Blake, pp. 41-44.

quoiqu'il soit plus fin en qualité et moins friable que les liants républicains, n'a pas la dureté de pierre qu'aura celui du siècle suivant, lequel sera fait d'un sable plus propre. On note une régularité dans la taille des particules de pouzzolane, ce qui suggère que l'*harena* a été versée dans un crible aux mailles grossières avant d'être mêlée à la chaux. L'ajout d'un sassage de l'arène volcanique à la chaîne opératoire distingue le mortier augustéen du césarien [425]. La création de la curatèle des édifices publics sous Auguste permet un meilleur contrôle de la qualité dans les chantiers de construction [426].

Ainsi, l'aspect terreux de certains mortiers s'explique par le surcroît de fines volcaniques qui n'ont pas été absorbées lors de la prise de la chaux. Pour l'éviter, on doit mieux laver (*lauare*) ou tamiser (*cernere*, *incernere*, *succernere*) le sable volcanique terreux (*harena fossicia terrosa*) afin d'évacuer l'excès inutile de cendres volcano-clastiques.

- ***La révolution de la voûte concrète grâce à l'*harena fossicia**

Les tufs volcaniques meubles fournissant l'*harena fossicia* permettent d'expliquer la création d'une architecture concrète, avec l'édification de la Porticus Aemilia, un gigantesque entrepôt voûté, traditionnellement daté de 193 ou 173 *a. C.*, mais qui pourrait avoir été construit sous Sylla; celui-ci devait répondre aux besoins d'une population romaine sans cesse croissante [427]. En effet, parce qu'on le trouve abondamment à Rome et en Campanie, et qu'il autorise une prise à cœur dans un *opus caementicium*, Vitruve fait du sable pouzzolanique le sable standard (Fig. 5).

Les mortiers de *testa* et d'*harena fossicia* rendent possible l'emploi de la *structura caementicia* « structure concrète ». Elle permet d'édifier la voûte concrète. J. C. Anderson décrit cette révolution architecturale due au mortier de chaux, d'argile kaolinitique calcinée et de sable volcanique. Les murs édifiés avec des assises en pierres de taille ne peuvent fournir la véritable résistance d'une maçonnerie bâtie par le versement d'un mélange de liant « pouzzolanique » et d'agrégats entre des parements de tuf taillé, de briques, ou de moellons. Ces parements déjà en place font corps avec le béton, quand ce dernier est versé. En même temps, ils le protègent extérieurement ce qui élimine le besoin de moule. Le béton prend la forme du moule ou du coffrage dans lequel il est versé, ainsi on évite de le tailler. « La plasticité inhérente au béton obligera les architectes romains à expérimenter et à inventer de nouvelles solutions voûtées, plutôt que le traditionnel "pilier et linteau", à tel point que les arcs et voûtes de béton devinrent un des principes fondamentaux de *design* dans le répertoire de l'architecture romaine. » [428]

---

[425] Blake 1947, p. 317.
[426] Lugli 1957, pp. 426-428 ; Gros 1976 a, pp. 67-68.
[427] Boëthius, Ward-Perkins 1970, p. 107 ; Tuck 2000.
[428] Anderson 1997, pp. 146-147.

Cette élaboration technique apparut en Italie romaine au moment même où les bâtisseurs romains étaient influencés par la grandeur architecturale des royaumes hellénistiques et par les compositions de leurs architectes, comme Hermogénès. Le résultat fut la création de ce que Vitruve appela *consuetudo italica* « l'usage italique (architectural) », et qui est la formation d'un style romain vraiment marqué d'architecture monumentale, style basé sur la résistance et la plasticité du béton, plutôt que sur les propriétés structurales des pierres de taille.

Cette révolution formelle, qui avait commencé dès le IIe siècle avant J.-C., se manifeste chez Vitruve par l'insistance de l'emploi systématique de l'*harena fossicia* dans les murs et les voûtes concrètes. On connaît l'immense postérité de cette manière de bâtir à l'époque impériale. C'est sous ce sens qu'il fait comprendre la métaphore de Caligula, dont parle Suétone (*Cal*. 53, 3) dans sa *Vie des douze Césars* : « Avant de prononcer un discours, Caligula déclarait d'un ton comminatoire "qu'il fallait brandir les traits de ses veilles", méprisant à tel point le style trop choisi et trop orné, qu'il reprochait aux ouvrages de Sénèque, l'auteur alors le plus en vogue, "d'être de pures tirades théâtrales" et "comme du sable sans chaux" ("*harenam esse sine calce*" *diceret*). » [429]

Caligula reproche donc à Sénèque d'avoir une oeuvre qui manque de cohérence et *harenam esse sine calce* appartient au vocabulaire de l'architecture. À Rome, Caligula pouvait voir les édifices, qui avaient été édifiés grâce à la technique de l'*opus caementicium*. La métaphore prend tout son sens si l'on ajoute à *harena* l'adjectif *fossicia*, qui qualifie le sable volcanique de la région romaine. Les écrits de Sénèque manquent de fondations adéquates, car à l'*harena fossicia*, la chaux fait défaut. On pourrait dire que l'œuvre de Sénèque est bâtie sur du sable, même si celui-ci est de l'*harena*, toute *fossicia*, soit-elle.

3.2.3. Les sables et les enduits (7, 3, 2-3 ; 7, 3, 6 ; 7, 3, 8 ; 7, 3, 10) ; *harenatum* (7, 3, 5 ; 7, 3, 11 ; 7, 4, 1 ; 7, 4, 3) ; *harenatio* (7, 3, 9)

Après avoir énuméré les *harenae fossiciae*, et déterminé leur critère de sélection, Vitruve (2, 4, 2-3) indique que l'on peut remplacer celles-ci par le sable de rivière ou de mer. Mais notre auteur définit par la négative les emplois des granulats fluviaux et marins car, ni l'un ni l'autre ne sont bons pour l'usage le plus important, la maçonnerie concrète : « Mais le sable de rivière a un inconvénient : il fait durcir difficilement le béton, le mur ne peut pas porter une charge importante de façon continue (*difficulter siccescit neque onerari se continenter paries patitur*), à moins d'alterner pour le béton du mur la pose et la prise (*nisi intermissionibus requiescat*), et ce sable ne supporte pas l'effort des voûtes (*neque concamerationes recipit*). » Pour le sable marin, celui-ci « a en plus ce défaut: lorsque les enduits auront été appliqués

[429] Trad. H. Ailloud.

sur les murs, ceux-ci se désagrègent, à cause des sels qui migrent hors des parois (*remittente se salsugine corium dissoluunt*). » En revanche, ces deux sables sont idoines pour les enduits : « La nature maigre du sable de rivière fait en revanche que le sable de rivière devient ferme dans les enduits, comme l'*opus signinum*, avec le travail du polissoir (*Fluuiatica uero propter macritatem uti signinum liaculorum subactionibus in tectorio recipit soliditatem*). » La *macritas* « nature maigre » doit faire référence au fait que l'*harena fluuiatica* (ou *marina*) a été lavée et tamisée : ce type est propre, c'est-à-dire sans particules fines qui rendent le sable « gras » et terreux. Si celui volcanique contient trop d'éléments fins, ceux-ci peuvent influer trop rapidement sur la prise de la chaux aérienne et le maçon ne peut pas travailler, taloché, et peindre l'enduit.

L'enduit, qu'il soit d'argile, de plâtre ou de chaux, protège et décore les parois depuis la plus haute Antiquité et l'usage intensif de la maçonnerie et des mortiers de chaux ne pouvait qu'entraîner les Romains à l'application généralisée d'enduits protecteurs et décoratifs sur leurs murs [430]. Ainsi, en architecture romaine, ceux-ci, quelle que soit leur nature, à cause du relief de leur surface, reçoivent un enduit ou un placage. Le ratio que Vitruve applique pour les enduits est de 2/1 pour les *tectoria* normaux et de 3/1 pour les revêtements hydrauliques.

- ***La composition des enduits muraux* (7, 3, 5-6)**

Les *tectoria*, destinés aux murs secs, se composent de chaux, de sable ou de poudre de marbre. Vitruve (7, 3, 6) les fabrique ainsi : « Lorsque, en plus du gobetis (*praeter trullissationem*), on aura façonné au moins trois couches de mortier de sable (*ab harena non minus tribus coriis*), alors il faut dresser des cueillies au mortier de marbre concassé, en prenant soin de le composer de telle façon que, lorsqu'on le malaxe, il ne colle pas à la pelle, mais que le fer sorte propre de l'auge. Quand on en aura étendu une couche épaisse et qu'elle commencera à sécher, on en appliquera une deuxième d'épaisseur moyenne ; lorsque celle-ci aura été dressée et bien talochée, on en étendra une autre plus fine. Ainsi lorsque les murs auront été renforcés par trois couches de mortier de sable et autant de mortier de marbre (*Ita cum tribus coriis harenae et item marmoris solidati parietes fuerint*), ils ne pourront ni se fissurer, ni subir aucun autre dommage. » [431]

Notre architecte conseille donc sept couches d'enduits : un gobetis, trois au mortier de sable et trois autres au mortier de marbre. Le chiffre de sept couches est exceptionnel, car il est plus courant d'en avoir seulement trois : le gobetis, une couche de sable et une de

[430] Adam 1995, p. 235.
[431] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

marbre [432]. De plus, il recommande en 7, 3, 3 qu'il y en ait trois couches pour des enduits sous des voûtes en berceaux. Le premier revêtement se compose de gros sable et de chaux, de manière à conserver une certaine rugosité. L'épaisseur la plus importante de tous les autres *tectoria* varie entre 3 et 5 cm. La seconde application, de 2 à 4 cm, possède un sable tamisé. Enfin, la troisième couche peut seulement avoir 1 ou 2 mm d'épaisseur et est souvent faite de chaux pure ou d'un mortier de sable finement tamisé. Ce dernier peut être remplacé par du calcaire, du gypse, ou du plâtre pulvérisé. Mais le nombre de couches n'influe pas sur la composition des *tectoria* : on retrouve toujours le gobetis, le(s) couche(s) de sable, et le(s) couche(s) de marbre.

Le schéma classique des enduits peints romains et gallo-romains est une décroissance, du revers à l'avers, à la fois de l'épaisseur de la couche et de la granulométrie du mortier. La décroissance de l'épaisseur des couches peut n'affecter que la fin de la stratigraphie [433]. A. Barbet et C. Allag observent qu'il n'y aurait pas de règle absolue ; on constate tout de même qu'une couche faite de gros éléments a plus de chance d'être épaisse qu'une autre constituée d'agrégats fins; ceci s'explique parfaitement : pour un maçon, il est plus difficile d'étendre en application mince un matériau grossier qu'une pâte fine. On procède par strates d'épaisseur raisonnable, auquel cas le revêtement ne tiendrait pas [434]. En tout cas, il ressort de la littérature archéologique que les granulats font une fraction (moitié, tiers, quart) de l'épaisseur d'un enduit.

Pour la pose de la première couche, Vitruve a décrit l'opération en 7, 3, 5 avec le verbe *trullisso* « enduire, crépir » et le substantif dérivé *trullissatio* : « on jettera sur les murs à la truelle un gobetis aussi rugueux que possible ; puis sur ce gobetis en train de sécher, on formera des cueillies au mortier de sable… » *parietes quam asperrime trullissentur, postea autem supra, trullissatione subarescente, deformentur directiones harenati*. Le verbe *trullissare* est dérivé de l'instrument dont se sert l'ouvrier, *trulla* « truelle », qui, au demeurant, n'est pas dans Vitruve [435]. D'après Varron (*Ling*. 5, 118), *trulla* est à la fois grec et latin [436].

Vitruve est le premier à employer *trullissare* (5, 10, 3; 8, 3, 3 et 8, 3, 5; 8, 4, 1), et *trullissatio* (7, 3, 5; 7, 3, 6; 7, 4, 3) dans la littérature latine: l'un et l'autre se retrouvent chez Faventinus (17, 21-22 où les *trullizationes* désignent les couches d'enduit fait en poudre de marbre).

---

[432] Barbet, Allag 1972, pp. 963-964, 967; Ginouvès, Martin 1985, pp. 137-138 ; Adam 1995, pp. 236-237.
[433] Coutelas 2003, p. 415.
[434] Barbet, Allag 1972, p. 971.
[435] Mignot 1969, pp. 336-338.
[436] J. André, propose le processus étymologique suivant: lat. *trulla* > gr. τροῦλλα > *τρουλλίζω > lat. *trullizare, -issare* : J. André, "Latin *trua*, *trulla*, etc. (Varron, *Ling*. 5, 118)", in *Varron. Grammaire antique et stylistique latine,* édit. J. Collard *et alii*, Publications de la Sorbonne, série "Etudes", 14, Paris, 1978, pp. 23-30 ; *Vitruve VII*, p. 108, n. 2.

Le « gobetis » ou *trullissatio* est constitué d'un mortier de sable ou, dans les lieux humides, d'un liant de *testa*. Pour les *tectoria*, Vitruve avait recommandé de l'*harena fluuiatica* en 2, 4, 3. Le sable de la *trullissatio*, siliceux ou calcaire, est grossier, c'est-à-dire non tamisé, pour avoir une certaine rugosité. De plus, on ajoutera sur le gobetis, à la truelle un relief de lignes aléatoires ou organisées propres à favoriser une bonne adhérence de la couche suivante [437]. Grâce à ces deux procédés, le gobetis aura une surface aussi rugueuse que possible pour faciliter l'accrochage de la suivante. En 7, 3, 6, *trullissatio* suffit à décrire l'action à mettre, puis à rendre rugueux le gobetis, pour la strate suivante. L'*harena fluuiatica* non tamisée et le relief de lignes sont donc les caractéristiques d'une bonne *trullisatio*.

D'une manière générale, on n'attendait pas qu'une couche fût entièrement sèche pour étendre celle qui suivait, lui assurant ainsi une cette adhérence indispensable et permettant les inclusions éventuelles de mortier rapporté ou les dessins préparatoires incisés [438]. De fait, Vitruve (7, 3, 5) conseille : « […] sur ce gobetis en train de sécher (*trullissatione subarescente*), on formera des cueillies au mortier de sable (*deformentur directiones harenati*) en prenant soin de les dresser, dans le sens horizontal, à la règle et au cordeau, dans le sens vertical, au fil à plomb, dans les angles, à l'équerre (*uti longitudines ad regulam et ad lineam, altitudines ad perpendiculum, anguli ad normam respondentes exigantur*). » Il continue : « Ainsi, l'aspect des enduits sera irréprochable quand il s'agira de peindre. Cette couche séchant, on en étendra une deuxième, puis une troisième ; ainsi, plus ce support réglé au mortier de sable (*ex harenato directura*) aura de consistance, plus l'enduit sera solide et résistera au temps » [439].

Après le gobetis, Vitruve conseille d'appliquer des cueillies d'*harena* et de chaux (*directiones harenati*, 7, 3, 5 ; *harena dirigatur*, 7, 3, 3). *Harena* désigne en 7, 3, 3, par synecdoque, l'enduit de sable et de chaux. En 7, 3, 3, Vitruve ne précise pas quel genre d'*harena* il faut utiliser, mais il préconise du sable de rivière, comme pour le gobetis, quoique plus fin. Le verbe *dirigere* « disposer en une couche réglée » et ses composés, *directura*, ou *directio*, se réfèrent à la manière dont le mortier est étendu, par couches réglées et contrôlées au cordeau, à l'équerre et à la règle [440]. Pour la finition, Vitruve emploie, toujours par synecdoque, le matériau (*creta aut marmore*) avec le verbe *poliatur*, qui désigne le polissage de la dernière couche d'enduit, celle qui recevra un décor peint ou un stuc. En 7, 3, 6, *dirigere* est usité pour

[437] Adam 1995, p. 237-238. Pour le dessin en chevron, il pourrait avoir été inspiré à un ouvrier romain qui connaissait l'*opus spicatum* et les coups de gradines de même dessin sur pierre: cf. Barbet, Allag, 1972, pp. 950-954.
[438] Barbet, Allag 1972, p. 971.
[439] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[440] *Directura* « support réglé, couche dressée » ne se rencontre qu'une fois, en 7, 3, 5 et indique son résultat de la pose d'enduit: le support réglé au mortier de sable *(ex harenato*), achevé, avec ses trois épaisseurs successives. *Directio* « cueillie » a des emplois identiques à ceux du verbe: en 7, 3, 5, il exprime clairement l'action de dresser les trois couches intermédiaires au mortier de sable (*directiones harenati*), et en 3, 6, les couches de finition au mortier de marbre *(e marmore graneo directiones* : cf. un peu plus bas *alterum corium mediocre dirigatur*). *Vitruve VII*, p. 111, n. 2-3. Cf. Callebat, Fleury, 1995, p. 195.

la troisième phase des enduits (enduits finaux) et ailleurs, il s'agit d'appliquer les couches de la phase deux (enduits intermédiaires) [441].

- **Harenatum** « ***mortier de sable*** » ***(7, 3, 5; 7, 3, 11; 7, 4, 1; 7, 4, 3) et*** **harenatio** « ***couche de mortier de sable*** » ***(7, 3, 9)***

En 7, 3, 5, Vitruve utilise le terme technique *harenatum* « enduit de chaux et de sable », qu'il emploie encore en 7, 3, 11, en 7, 4, 1 et enfin en 7, 4, 3. En 7, 3, 5, la description des couches intermédiaires d'*harenatum* montre la façon dont on doit les poser. Les « cueillies d'enduits de sable » (*directiones harenati*) sont « façonnés » (*deformentur*). Ce verbe implique la rigueur d'un calcul ou d'un tracé géométrique et il rend compte en 7, 3, 5-6 du travail rigoureux du plâtrier lors de la pose de l'*harenatum*. *Deformare directiones* est synonyme de *dirigere* « dresser un enduit ». Dans ce contexte *harenatum* est associé à *directio*.

La traduction de *directio* par « cueillie » est pertinente, car la cueillie est « du plâtre dressé le long d'une règle qui sert de repère pour lambrisser, enduire de niveau, et faire à plomb les piédroits des portes, des croisées et des cheminées. » [442] La règle est constituée de deux planches de bois planes que l'ouvrier place parallèlement à quelques centimètres du mur à enduire au moyen de petites cales. Il lisse de bas en haut la couche avec une latte de bois, qui repose sur les deux planches. De la sorte, il assure le lissage et l'aplomb de l'enduit. De plus, le dictionnaire Littré mentionne à propos du verbe « cueillir »: « Cueillir une fenêtre avec du plâtre » éclaire le sens de « cueillie » [443]. En effet, une fenêtre ou une porte sont des gènes pour la pose. On commence donc par enduire le pourtour d'une porte par exemple, puis on dresse à la règle, au fil à plomb, et à l'équerre ces enduits. Ceux-ci sont situés autour du cadre de la porte. Ces cueillies sont des surfaces de référence pour le reste du mur. Il suffit alors d'enduire le reste de la paroi en les prenant pour repère. Le singulier *directio* est donc un revêtement plan de référence et le pluriel *directiones* dénote des enduits dressés juxtaposés le long d'un mur, qui constituent autant d'étapes dans la succession des poses.

Harenatum est ainsi associé à *directio* en 7, 3, 5. En 7, 3, 11, *harenatum* forme un syntagme verbal avec *inducere* « appliquer » : *harenatum inducere* « appliquer un enduit de chaux et de sable ». *Harenatum* est concurrencé par *harena* en 7, 3, 3 et en 7, 3, 6 et 7, 3, 8, où *harena* qualifie par métonymie l'enduit de chaux et de sable.

En 7, 3, 9, Vitruve écrit : « de même les enduits constitués d'une couche mince de mortier non seulement se fissurent (*sic tectoria quae ex tenui sunt ducta materia non modo sunt*

---

[441] *Vitruve VII*, *introduction*, p. xxix et pp. 108-109, n. 3.
[442] Cédérom *L'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert*, éditions Redon, Marsanne, 2000, *s. v. Cueillie*. C'est donc un trait de plâtre par lequel les maçons commencent pour dresser un enduit. La cueillie sert aussi à former les angles.
[443] Paul-Emile Littré, *Dictionnaire de la langue française*, éditions du Cap, Monte-Carlo, 1964, tome 1, p. 1373.

rimosa), mais s'effacent rapidement (*sed etiam celeriter euanescunt*), tandis que ceux qui sont d'une bonne épaisseur et dont la solidité est assurée en profondeur par les couches de mortier de sable et de mortier de marbre (*quae autem fundata harenationis et marmoris soliditate sunt crassitudine spissa*), lorsqu'ils ont subi des polissages répétés, non seulement sont brillants, mais renvoient aux spectateurs des images qui se détachent sur l'ouvrage avec netteté (*cum sunt politionibus crebris subacta, non modo sunt nitentia, sed etiam imagines expressas aspicientibus ex eo opere remittunt*). » [444] *Harenatio* est un hapax qui insiste sur l'action d'étendre l'enduit de chaux et de sable, alors qu'*harenatum* est le mortier de sable. *Harenatio* est usité dans un contexte où la couche de mortier de sable, avec ses trois épaisseurs, succède au gobetis et doit être particulièrement bien contrôlée avec les instruments. *Harenatum* avait chez Caton et le devis de Pouzzoles une acception générale « mortier » et chez Vitruve, il devient un mot spécialisé pour les *tectoria* [445].

- ***Les sables utilisés dans les enduits romains***

Alors que Vitruve donne comme référence pour les enduits le sable de rivière, la littérature archéologique relève des exemples où la géologie volcanique ou sédimentaire fournit les mêmes granulats pour la maçonnerie et les revêtements. En Italie, M. Frizot est intervenu sur plusieurs bâtiments pour établir quelles matières premières composaient les différentes couches d'enduits. Il constate à Pompéi une utilisation courante de la « poudre de marbre » pour la charge de la couche d'épiderme et enfin il observe que les enduits de support sont constitués de trois couches de mortier et de sable volcanique [446]. A Bolsena, il retrouve les mêmes matériaux sur des échantillons de *tectoria*, certains du I^e^ siècle de notre ère et d'autres du II^e^ siècle. 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 strates de chaux et de sable volcanique (grains fins ou fragments roulés de pierre ponce), soit une de chaux et de sable et une autre terreuse. Un autre lot de prélèvements de ce site possède une couche d'épiderme sans marbre, avec un sable volcanique blanc ; on découvre 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 morceaux anguleux de sable volcanique, sans doute broyés ; les couches suivantes paraissent de plus enrichies en ponce aux dépens du sable fin [447].

---

[444] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[445] Callebat, Fleury 1995, p. 42 ; *Vitruve VII*, p. 116, n. 4.
[446] Cf. Adam, Frizot 1983.
[447] A. Barbet, *Fouilles de l'Ecole Française de Rome à Bolsena (Poggio Moscini)*, tome 5, *La maison aux salles souterraines*, Fascicule 2, *Décors picturaux (murs, plafond, voûtes)*, deux volumes, Ecole Française de Rome, Mélanges d'archéologie et d'histoire, supplément 6, Palais Farnèse, Rome, 1985 ; Coutelas 2003, pp. 397-398.

La technique superposant une strate de chaux et marbre et une ou plusieurs couches de chaux et sable volcanique se retrouve à Rome. Ainsi dans le « Studiolo », dans la maison d'Auguste sur le Palatin (époque augustéenne), le support est constitué de trois strates. La couche d'épiderme est en marbre broyé, alors que les deux autres sont en mortier de sable et de pouzzolane [448]. Dans un décor datant de la fin du I^e^ siècle *a. C.* ou du tout début du II^e^ siècle, sous le palais Altemps sur le Champ de Mars, la couche d'épiderme est un mélange de chaux et de marbre, tandis que la seconde strate correspond à un mortier de chaux et d'arène volcanique [449].

Les deux granulats de prédilection seraient donc la calcite et le sable volcanique, mais toute l'Italie n'est pas caractérisée par un environnement riche en formations volcano-clastiques ou volcano-sédimentaires. R. Bugini et L. Folli ont cité une étude sur les peintures d'un sanctuaire du I^e^ siècle avant notre ère (avant la période impériale) de Brescia (Le Capitole). La couche d'épiderme est un mélange de chaux et de diverses roches carbonatées broyées dans une proportion chaux/granulat de 1 pour 3. Celle inférieure 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 [450].

Le sable de rivière recommandé par Vitruve est parfois attesté par la présence de coquillage dans les enduits peints. M. Frizot, en 1975, a étudié les peintures du *fanum* de Crain et a identifié les sables de l'Yonne (qui coule à 800 m du site) comme source du granulat (sable roulé, quartzeux, voire granitique). Pour A. Coutelas, il est toutefois difficile de reconnaître cette origine fluviale, car certains sables de carrière pouvant apparaître avec des formes parfaitement roulées (suppression des angles par charriages dans les cours d'eau) liées à leur passé géologique [451].

3.3. L'*harena* à usage industriel : *caeruleum*, la recette du bleu égyptien (7, 11, 1)

En 7, 11, 1, Vitruve dépeint la manière dont est fabriqué le pigment bleu égyptien à Pouzzoles : « La fabrication du bleu céruléen a été mise au point à Alexandrie, et plus tard Vestorius en a fondé une fabrique à Pouzzoles. C'est un produit tout à fait étonnant par les ingrédients à partir desquels il a été mis au point. On broie en effet du sable avec de la fleur de nitre, assez finement pour obtenir une sorte de farine; et, lorsqu'on y a mélangé du cuivre

---

[448] G. Musatti, « Il recupero e il restauro dello Studiolo di Augusto sul Palatino », *De la fouille à la présentation, actes du colloque international pour la peinture murale de l'époque romaine, 17-18 mai 1999*, Veszprem, Hongrie, édit. S. K. Palágyi, MTA-VEAB, pp. 47-57.
[449] M. De Angelis d'Ossat, « I nuovi affreschi dagli scavi di palazzo Altemps a Roma », *De la fouille à la présentation, actes du colloque international pour la peinture murale de l'époque romaine, 17-18 mai 1999*, Veszprem, Hongrie, édit. S. K. Palágyi, MTA-VEAB, pp. 59-64.
[450] Bugini, Folli 1997.
[451] Coutelas 2003, pp. 420-421.

réduit à l'état de limaille à l'aide de grosses limes, on arrose le tout, pour qu'il s'agglomère; puis en le roulant dans ses mains, on en fait des boulettes que l'on rassemble pour les faire sécher; une fois sèches, on les met dans un pot de terre cuite, et les pots sont portés dans des fours: ainsi, quand le cuivre et le sable entrant en effervescence sous la violence du feu se sont fondus ensemble, en se donnant l'un à l'autre et en recevant l'un de l'autre leurs sueurs ils abandonnent leurs caractères individuels, et, leur être propre anéanti par la violence du feu, ils sont réduits à l'état de couleur bleue. » [452]

3.3.1. Le célèbre pigment « bleu égyptien »

Dans toutes les civilisations antiques, le bleu est rarement utilisé dans les arts, car il ne se trouve pas à l'état naturel. Les anciens Égyptiens, qui ne disposaient pas d'une panoplie de couleurs naturelles variée, se firent maîtres dans la fabrication des pigments synthétiques, principalement à l'usage de la peinture et des fards. Cet artifice leur permettait d'obtenir les teintes les plus diverses et essentiellement un certain type de bleu, connu sous l'appellation de « bleu égyptien » [453]. Aucun texte antique notoire à ce jour, à part celui de Vitruve, ne retrace les étapes de la fabrication de ce pigment artificiel à base d'oxyde de cuivre et d'alkali, qui fut fabriqué pendant deux mille ans en exclusivité et dans une qualité constante puisque les Romains l'ont aussi utilisé pour leurs peintures. Depuis que les égyptologues se sont intéressés à redécouvrir le secret du « bleu égyptien », qui a connu une postérité dépassant la seule civilisation égyptienne, la littérature archéologique a fourni beaucoup de lexies complexes: « bleu égyptien », « fritte bleue », « verre fritté bleu », « fritte de cuivre égyptienne », « bleu de Pompéi », « bleu vestorien », « *caeruleum* de Vitruve », « faïence égyptienne », « pâte émaillée », « pâte égyptienne » et « émail bleu »; elles semblent *a priori* désigner la même teinte pour le même revêtement. Seules de récentes recherches relatant les résultats d'analyses chimiques révèlent finalement que tous les qualificatifs en usage définissent bien chacun un pigment synthétique bleu composé à la base d'éléments identiques, qui se différencient ensuite, parfois subtilement, par leurs proportions et par l'utilisation préférentielle de certaines substances ajoutées [454].

---

[452] Vitr. 7, 11, 1: *Caeruli temperationes Alexandriae primum sunt inuentae, postea item Vestorius Puteolis instituit faciundum. Ratio autem eius, e quibus est inuenta, satis habet admirationis. Harena enim cum nitri flore conteritur adeo subtiliter ut efficiatur quemadmodum farina; ea aes cyprum limis crassis uti scobis facta mixta conspargitur, ut conglomeretur; deinde pilae manibus uersando efficiuntur et ita conligantur ut inarescant; aridae componuntur in urceo fictili, urcei in fornaces: ita aes et ea harena ab ignis uehementia conferuescendo cum coaluerint, inter se dando et accipiendo sudores a proprietatibus discedunt suisque uiribus per ignis uehementiam confectis caeruleo rediguntur colore.* Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

[453] Isabelle Naef-Galouba, « Les bleus d'Egypte, les bleus célèbres en céramique », *La revue de la céramique et du verre*, n°69, mars/avril 1993, pp. 41-45. Davidovits 2004.

[454] La bibliographie relevée par M.-T. Cam est importante, entre autres : A. P. Laurie, W. F. P. Lintock et F. D. Miles, « Egyptian Blue », *Proceeding of the Royal Society of London,* Serie A, 89, 1914, pp. 418-429; G. Schippa, G. Torraca, « Contributo alla conoscenza del bleu egiziano », *Boll. dell' Istituto centrale del*

3.3.2. Étude archéologique, historique et archéométrique

L'unité lexicale complexe « bleu égyptien » véhicule donc, selon son contexte, les notions de couleur, de culture et de géographie, mais aussi les connotations relatives aux principaux éléments de sa composition chimique — tels que le cuivre qui devient synonyme de bleu — pour arriver finalement à désigner l'objet lui-même et sa technique d'émaillage. Ce pigment bleu participe dans l'Égypte antique à toutes sortes de disciplines artistiques sur des supports divers, tels que la pierre, le bois et la céramique. Par « faïence égyptienne », on entend un produit déjà artificiel, car mélangé par l'homme, à base de quartz ou sable de quartz et d'un liant alcalin.

Selon les proportions et la cuisson, cette « faïence » approche le verre dans sa translucidité et sa dureté. Les corps de « faïence » — portant un revêtement — apparaissent déjà dans les tombes prédynastiques, entre 4000 et 3100 avant J.-C., suivant de près les premiers objets en stéatite vernie. On trouve d'abord de petits objets, amulettes et perles, puis des sculptures de petite taille, vers 3000 avant notre ère.

Le bleu égyptien fut donc fabriqué en Égypte dès avant la IV^{e} dynastie [455] et il continua d'être préparé à Alexandrie, car la capitale des Ptolémée avait éclipsé tous les autres centres de production. La présence de cette couleur est attestée par les fouilles dans tout le monde méditerranéen, en Mésopotamie, en Crète, à Mycènes, en Grèce classique [456].

Le bleu égyptien est un disilicate de cuivre qui peut être calcique ou sodique ou les deux ensemble. C'est un produit paradoxal, car il est à la fois une céramique et un verre, plus exactement une céramique entourée d'une matrice vitreuse. En effet, il répond à la définition moderne de la céramique : un matériau solide artificiel constitué de minéraux anhydres cristallisés, éventuellement associés à une phase vitreuse, formés par synthèse et consolidés à haute température [457].

On précisera que les études citées donnent leur définition chimico-minérale du bleu: ainsi, on a un bleu sodique, ou calcique ou les deux en même temps. De toute manière, le *caeruleum* de Vitruve est de couleur bleue et le travail de l'artisan est de savoir doser les proportions de chaux, de natron, de temps de chauffage et de température. En effet, les variations de ces paramètres induiront une différence chromatique allant du bleu au vert.

---

restauro, n°31-32, 1957, pp. 97-107; L. Nicolini et M. Santini, « Contributo allo studio dello smalto blu egiziano », *ibid.*, n°34-35, 1958, pp. 59-70; Ullrich 1987; Delamare, 1997 ; *Vitruve VII*, pp. 170-174, n. 1-11.

[455] Théophraste, *Lap.* 55; Ullrich 1987, pp. 326-328.

[456] Cf. Caley 1945; Gettens, Stout 1946, pp. 112-113.

[457] Delamare 1997, p. 104.

Le texte de Vitruve est célèbre, car il expose le mode opératoire du "bleu égyptien", plus particulièrement du *caeruleum vestorianum*, dont Vitruve a peut-être visité la fabrique à Pouzzoles. On broie (*conteritur*) du sable (*harena*) avec du natron (*nitri flore*); on en fait une sorte de farine avant d'y mêler du cuivre; puis on pétrit cette combinaison pour en faire une boulette que l'on fait sécher, avant de la répartir dans des pots de terre cuite, qui seront chauffés dans des fours. On sait que le mélange est cuit entre 800 à 900 °C pendant au moins 24 h [458].

Les expérimentations de G. Onoratini, G. Conrad et L. Michaud montrent qu'on peut obtenir deux pigments si l'un des composants fait défaut. En mélangeant ensemble une unité d'oxyde de calcium (CaO) avec une unité d'oxyde de cuivre (CuO), quatre unités d'oxyde de silice (SiO_2) et enfin 0,6 unité de carbonate de sodium (natron : $Na_2\ CO_3\ H_2O$) et en calcinant le tout pendant 24 heures, le résultat est un silicate double cristallin de cuivre et de calcium, CaO CuO 4 SiO_2. Le cristal est du type bipyramide tétragonale, de la classe des phyllosilicates tétragonaux. C'est pour cela qu'on considère aussi le cristal du bleu égyptien comme une céramique. Mais d'après D. Ullrich, l'appellation « bleu égyptien » peut s'appliquer à un cristal quadratique de silicate double de cuivre et de calcium (cuprovaïte), entouré d'un verre de silicate sodique, de couleur verte [459]. Il s'obtient en ajoutant au cuivre, au sable siliceux et au carbonate de sodium, de la chaux, qui permet d'abaisser la température du mélange et une meilleure cristallisation du bleu.

Le second pigment obtenu par calcination est le « bleu de Hubert ». C'est un mélange d'oxyde de cuivre (1 unité), d'oxyde de sodium (1 unité) et d'oxydes de silice (4 unités), que l'on a en chauffant à 800 °C pendant au moins 2 heures. Le résultat est un cristal triclinique de silicate de cuivre sodique, anhydre, Na_2 Cu Si_4O_{10}. C'est aussi une céramique. C'est peut-être le produit le plus ancien archéologiquement, car il ne contient pas de chaux, qui pourrait être un ajout des artisans pour obtenir une meilleure cristallisation du bleu.

C. Vestorius, riche banquier de Pouzzoles, homme d'affaires, correspondant de Cicéron et d'Atticus, a importé et perfectionné à Pouzzoles les méthodes alexandrines de fabrication du bleu égyptien ; il a même inventé une nouvelle nuance de bleu d'excellente qualité à laquelle il a donné son nom, le *lomentum Vestorianum*, tiré de la partie la plus fine du bleu égyptien et qui coûte onze deniers la livre (Pline *Nat*. 33, 162). J. Andreau a conclu qu'il n'appartenait pas à l'ordre des chevaliers, mais à la catégorie des affairistes, investissant partout où il y avait espoir de gain, dans la fabrique de couleurs, comme dans le commerce, le prêt bancaire, la gestion de biens, etc. [460]; Vestorius a su diversifier aussi sa production

[458] Onoratini, Conrad, 1987.
[459] Ullrich 1987.
[460] Andreau 1983; *Vitruve VII*, p. 171-172, n. 3.

puisqu'on met à son crédit la fabrication d'autres couleurs comme la litharge et la sandaraque retrouvées sur l'épave « Planier 3 » au large de Marseille [461].

Le bleu dont parle Vitruve se présente sous forme de boules bleues ou vertes, appelées *caerulea*. Pigment stable, on l'utilise dans la peinture murale en sous-couche du *purpurissum* afin d'obtenir une teinte pourpre éclatante (Pline *Nat*. 35, 45), et il ne peut être étendu à fresque (Pline *Nat*. 35, 49). Son prix élevé de huit deniers la livre (Pline *Nat*. 33, 162) en fait une couleur de luxe qu'on employait rarement sur de grandes surfaces. G. Onoratini, G. Conrad et L. Michaud analysent ces boules comme un produit céramique, poreux, dans lequel on trouve des cristaux de bleu égyptien, du quartz, des impuretés et du verre de silicate de cuivre calco-sodique. Ces boules étaient fabriquées selon le procédé vitruvien. Leurs analyses montrent la présence de calcium dans les *caerulea*, car cet élément appartient au cristal du bleu égyptien. Mais D. Ullrich rapporte qu'au Moyen-Age, les artisans qui suivirent la recette vitruvienne n'obtinrent que de la fritte verte et non pas du bleu [462]. Où est le carbonate de calcium qui permet d'avoir un bleu franc ?

Pour résoudre ce problème, il faut étudier les composants du *caeruleum* vitruvien. On broie du sable (*harena*), du natron (*flos nitri*) et de la limaille de cuivre. La chaux ne peut évidemment pas être contenue dans le métal. En revanche, l'*harena* broyée peut être calcaire et D. Ullrich indique que la fabrique de C. Vestorius à Pouzzoles était située près de la rivière Volturne, et par conséquent que du sable calcaire avait dû être employé [463]. On peut aussi supposer que l'*harena* est un mélange naturel ou artificiel de calcaire et de quartz.

3.3.3. La reprise de la recette par Cetius Faventinus (27, 10)

Le compilateur de Vitruve, Cetius Faventinus (27, 10), en reprenant la recette du *caeruleum*, apporte une précision: « L'élaboration du bleu céruléen a été mise au point pour la première fois à Alexandrie, mais aujourd'hui, on en élabore à Pouzzoles à partir de sable réduit en poudre et de fleur de nitre ; mais si l'on porte du cuivre au feu… » [464]. L'*harena* utilisée est une poudre, ce qui indique vraisemblablement une origine fluviale : du sable silico-calcaire, qui se triture aisément. Or le sable du Volturne, dont D. Ullrich a fait mention, est aussi employé pour faire du verre [465]. Pline (*Nat*. 36, 194) rapporte qu'on le broie

---

[461] A. Tchernia, « Premiers résultats des fouilles de juin 1968 sur l'épave 3 de Planier », *Études classiques*, III, 1968-1979, pp. 51-82 : pp. 66-67.
[462] Ullrich 1987, p. 327.
[463] Ullrich 1987, p. 327.
[464] Cet. Fav. 27, 10 : *Caerulei temperationes Alexandriae primo sunt inuentae; nunc autem Puteolis ex harenae puluere et nitri flore temperatur; sed Cyprium adustum* <...>. Trad. M. T. Cam. Le texte latin est lacunaire et une reconstitution conforme à la notice vituvienne serait : *si et Cyprium adustum <fuerit cum hac mixtione, caeruleo redigetur colore>* « Mais si du cuivre est calciné avec ce mélange, il devient bleu ». *Faventinus*, note 4 pp. 146-147.
[465] Ullrich 1987, p. 327 ; Crimaco 1991, pp. 11-16.

facilement et qu'on le mêle à un volume triple de carbonate de soude, avant de le mettre au four pour obtenir du verre. De plus, le sable d'Alexandrie qui servait sur place à faire le verre et le bleu égyptien est silico-calcaire avec 35 % de CaO [466]. Si l'*harena* de Vitruve ou le *puluis harenae* de Faventinus est silico-calcaire, comme celui du Volturne, en Campanie, l'apport de chaux nécessaire à la production du *caeruleum* est dû à la nature de l'*harena* (silico-calcaire).

Il reste à étudier la « fleur de nitre », *flos nitri*, ou *nitrum*, qui vient du grec νίτρον ou λίτρον et qui désigne ici le natron, carbonate de sodium ou soude, Na_2CO_3, que Pline l'Ancien (*Nat*. 31, 106), rapproche du sel [467]. On en récoltait notamment en Égypte, sous la forme de natron et en Macédoine (Pline *Nat*. 31, 107-109). Dans la fabrication du bleu égyptien, comme dans celle du verre, le natron sert d'agent de fusion [468]. Mais le carbonate de sodium pur ne contient pas de chaux. En revanche, Pline écrit dans *Nat*. 31, 114 : « On contrôle le nitre en vérifiant qu'il est extrêmement ténu et aussi spongieux et poreux que possible. En Égypte, on le falsifie avec de la chaux, falsification qui se décèle au goût. Car s'il est pur, il fond aussitôt ; s'il est falsifié, la chaux le rend piquant, et, après aspersion, il exhale puissamment son retour. » [469] On peut donc supposer que le natron, que décrit Vitruve, vient d'Alexandrie et qu'il est frelaté à la chaux !

Les fabricants de bleu égyptien comme Vestorius pouvaient importer du natron altéré d'Égypte, puisque Pouzzoles était le plus grand port de l'Italie, avant l'aménagement d'Ostie sous le règne de Claude, et un important centre industriel et commercial déjà ancien; l'industrie minière produisait le soufre, l'alun, la *creta,* la pouzzolane; la cité exportait le vin de Campanie, la céramique, le verre, le fer, des parfums, et sur le marché des couleurs, à côté du *caeruleum,* on trouvait la pourpre et la céruse [470]. Les échanges commerciaux entre Pouzzoles et Alexandrie sont séculaires et datent de la fin du II^{e} s. *a. C.* [471].

Il existe donc deux sources possibles de calcium dans la description de Vitruve. La chaux peut être apportée soit par une *harena* calcaire ou un mélange de sable silico-calcaire, soit par du natron frelaté à la chaux, comme en Egypte. L'*harena* vitruvienne, issue du Volturne, peut être silico-calcaire. Diachroniquement, on part de l'*harena* vitruvienne qui est

---

[466] Piganiol 1965, p. 81.
[467] Cf. Forbes 1965, pp. 181-186; cf. Dioscoride 5, 113.
[468] Forbes 1966, pp. 111-120.
[469] Plin. *Nat*. 31, 114 : *Nitri probatio ut sit tenuissimum et quam maxime spongeosum fistulosumque. Adulteratur in Aegypto calce, deprehenditur gustu. Sincerum enim statim resoluitur, adulteratum pungit calce et aspersu reddit oderem uehementer*. Trad. Guy Serbat.
[470] Dubois 1907, pp. 127-129; J.-P. Morel, « Aspects de l'artisanat dans la Grande-Grèce romaine », in *La Magna Grecia nell'età romana, Atti del XV Convegno di studi sulla Magna Grecia, Taranto, 1975*, édit. G. Pugliese Carratelli, Naples, 1979, pp. 291-320.
[471] Dubois 1907, pp. 70-71; Fraser 1986, pp. 156-157.

une des matières premières du bleu, pour en arriver au Naturaliste (Pline *Nat*. 33, 161) qui écrit que le « bleu égyptien est un sable » (*Caeruleum harena est*).

4. Conclusion

Harena est un des termes qui a le plus d'occurrences dans le corpus des matériaux du *De architectura*. En 7, 3, 3 et 7, 3, 8, *harena* désigne par synecdoque un enduit de sable et il est synonyme d'*harenatum*. *Harena fluuiatica* « sable de rivière » et *harena marina* sont destinées aux revêtements, car elles sont tamisées et lavées : ce sont des granulats chimiques stables, qui ne réagiront pas avec la chaux. À l'inverse, *harena fossicia* « sable volcanique » est l'agrégat typique de construction de Rome et l'usage de cette arène est à l'origine de la révolution qui commença au II^e^ siècle de notre ère pour l'architecture coffrée. Le sable pouzzolanique utilisé dans un mortier, est un mélange naturel de particules inférieures à 2 mm, dont la taille pouvait descendre jusqu'à 0,25 mm. Il est peut-être aussi tamisé que les autres sables de construction — que la courbe de Sötenich définit également en dessous de 2 mm —, mais il n'est pas sûr que Vitruve conseille de le laver : il faut une certaine quantité de particules fines qui réagiront avec la chaux — un pourcentage donné de granulométrie inférieure à 0,25 mm. L'*harena fossicia* est l'expression désignative à deux termes pour les sables volcaniques et donc le carboncle. Celui-ci est le type même du sable volcanique dont la formation est due, d'après la géologie vitruvienne, à l'action du feu souterrain sur une roche déjà existante. Enfin, la seule *harena* qui ne soit pas employée dans un enduit est le sable calcaire ou silico-calcaire utilisé dans le bleu égyptien (7, 11, 1). Le terme *harenaria* « carrière de sable, sablière » est usité exclusivement dans des contextes volcaniques en 2, 4, 2, en 2, 4, 3 et 2, 6, 5.

Harenatum vient probablement du syntagme *calx harenatus*. Diachroniquement, *calx harenatus* a évolué de cette façon:

— chez Caton (*Agr*. 18, 7), *calx harenatus* « mortier » est au masculin;

— dans le " devis de Pouzzoles " (-105), *calx harenatus* « mortier » est devenu un syntagme figé au masculin, par opposition à d'autres lexies complexes du paradigme (*calx* + adjectif), comme *calx uda* « chaux délayée » ou *calx restincta* « chaux éteinte », lesquelles sont usitées au féminin dans l'inscription.

— disparition de *calx harenatus* des textes latins après cette date, car Vitruve utilise *materia* dans le sens de « mortier ». *Calx* devient féminin. Toutefois *calx harenatus* survit sous la forme du substantif neutre *harenatum* « mortier de chaux et de sable » chez Vitruve (employé comme enduit: 7, 3, 5; 7, 3, 11; 7, 4, 1; 7, 4, 3) et chez Pline (*Nat*. 31, 49; 36, 176). Le mortier de chaux et de sable (volcanique, sédimentaire, etc.) contient pour un volume de granulat,

d'après le graphique de Sötenich : 33,33 % en masse de particules inférieures à 0,25 mm (0,333 l ; 0,5 kg) et 66,66 % de particules entre 0,25 et 2 mm (0,666 l ; 1 kg).

Harenatio « couche de mortier de chaux et de sable, cueillie de chaux et de sable » (7, 3, 9) peut être considéré comme un doublet d'*harenatum*, il dénote l'action d'appliquer un enduit qui sera ensuite dressé. C'est un hapax, une création vitruvienne, mais on a du mal à imaginer pourquoi notre architecte l'aurait inventé et usité alors qu'*harenatum* ou *harena* sont des termes plus courants et plus appropriés. Enfin, l'adjectif *harenosus* « sableux » est utilisé dans des contextes géologiques décrivant une classification géotechnique des terres ou sols meubles. Ainsi, il acquiert une connotation savante dans les expressions désignatives à un ou plusieurs termes *lutum harenosum* « terre sableuse » (2, 3, 1), (*solum*) *harenosum* « sol sableux » (2, 6, 5 ; 8, 6, 3).

11. Lapis - lapidicina - lapideus

1. Étymologie de *lapis*, de *lapidicina* et de *lapideus*

Lapis, *-idis* (m., f. chez Ennius) « pierre » et tout objet en pierre ou qui rappelle la pierre, d'où « borne milliaire ou frontière », « monument funèbre, statue », « homme stupide », « pierre précieuse ». Les dérivés de *lapis* sont nombreux [472] : on a par exemple, *lapidō* , *-ās*, « lapider, jeter des pierres à », « il tombe des pierres », *lapidātiō* etc., l'adjectif *lapida¤rius* (*-ris*) « de pierre, chargé de pierres, gravé dans la pierre », *lapidārius* (*-ris*, m.) « lapidaire », *lapillus* (m.) « lapidaire », etc. L'adjectif *lapidĕus* « de pierre » est en concurrence avec son doublet *lapidōsus*. *Lapidĕus* est formé de la base nominale *lapid-* et du suffixe adjectival de matière *-ĕus*. Ainsi, le suffixe *–eus* a pour valeur la plus répandue, celle d'un affixe de matière [473]. Le composé *lapicīdīnae* « carrière de pierre » devient *lapidicīnae* avec métathèse favorisée par l'influence des mots en *–cen*, *-cina*, *-cinium*. Avec *lapicīdīnae* « carrières de pierres », on a d'autres composés, comme *lapi-cīda* « tailleur de pierre », *lapidicīnārius* « carrier », « intendant des carrières », etc. Quant à l'origine de *lapis*, elle est incertaine, tout au plus la rapproche-t-on par exemple de l'ombrien *vapeř-e* « pierre », etc. Mais chaque nom de « pierre » a un vocable différent dans les langues indo-européennes.

2. Usage et sens de *lapis*, de *lapidicina* et de *lapideus* avant Vitruve

Les occurrences les plus anciennes de *lapis* se trouvent respectivement chez Naevius (*Com*. 57) et Plaute (*Asin*. 31 ; *Bacch*. 815 ; *Capt*. 593, 724, 730 ; *Poen*. 528 ; *Stich*. 613). L'auteur le plus récent à user de *lapis* est Isidore de Séville (*Orig*. 16, 3, 1 ; *Diff*. 1, 537). *Lapis* a cinq sens figurés, qui ne seront pas mentionnés ici, et dix sens propres (en y incluant les usages architecturaux) : « pierre » (Naevius, Plaute, Ennius, Varron, Catulle, Tite-Live, Celse, Pline l'Ancien, Isidore de Séville), « marbre » (Virgile, Tibulle, Pline l'Ancien, Javolenus, Scaevola), « objet en pierre » (Horace), « sarcophage » (Sénèque), « tombeau » (Cicéron, Tibulle, Properce, Tite-Live), « pierre sacrée » (Cicéron, Lucrèce, Properce, Tibulle, Tite-Live), « pierreries, pierres précieuses » (Catulle, Tibulle, Horace), « borne, pierre milliaire » (Varron, Tite-Live, Pline l'Ancien). Pour les emplois architecturaux de *lapis*, on a « pierre de

[472] Ernout, Meillet 1985, *s*. *v*. lapis, pp. 340-341.
[473] Leumann 1963, p. 205-206 ; Meillet, Vendryes 1979, p. 391 ; Monteil 1986, p. 157 ; Fruyt 1987.

construction » (Cato, *Agr*. 14, 1 ; *Agr*. 14, 3-4 ; Varro, *Men*. 524 ; Hor. *Sat*. 2, 4, 83), « pierre de carrière » (Plaut. *Capt*. 724 et 730 ; Plin. *Nat*. 36, 174 ; Paul. *Dig*. 8, 3, 6, 1 ; Scaev. *Dig*. 2, 4, 21, 1 ; Ulp. *Dig*. 24, 3, 7, 13) [474].

L'adjectif *lapideus* est usité d'abord par Plaute (*Truc*. 818) et enfin par Grégoire de Tours (*Franc*. 4, 44 p. 179,5 ; *Vit*. *Patr*. 14, 1 p. 718, 16). *Lapideus* a deux acceptions : « de pierre, composé de pierre » (Plaute, Ennius, Cicéron, Tite-Live, Sénèque, Columelle, Pline l'Ancien, Vulgate, Minucius Félix, Grégoire de Tours), et « contenant de nombreuses pierres » (Méla, Pline le Naturaliste, Grégoire de Tours). Pour les usages architecturaux de *lapideus*, on a, par exemple, les unités lexicales complexes suivantes :

- Varron (*Rust*. 3, 5, 9 ; 11 et 13) : *margines lapidei* « bordures de pierre », *columnae lapideae* « colonnes de pierres » ;
- Tite-Live (1, 36, 1 et 6) : *murus lapideus* « muraille de pierre de Tarquin l'Ancien » ;
- Sénèque (*Epist*. 90, 25) : *lapideae moles* « fûts de colonne en pierre » ;
- Quinte-Curce (5, 1, 29) : *pons lapideus* « pont de pierre » ;
- Ulpien (*Dig*. 43, 21, 1, 10) : *riuus lapideus* « canal en pierre » [475].

Lapidicina est usitée pour la première fois par Plaute (*Capt*. 736, 1000) et enfin par le « Code de Théodose » (10, 19, 8). L'unique acception est « carrière » (Plaute, Caton, Cicéron, Pline le Naturaliste, Ulpien, Code de Théodose) [476].

3. *Lapis*, *lapidicina* et *lapideus* chez Vitruve

Lapis « pierre » est mentionné vingt et une fois : 2, 1, 7 / 2, 5, 3 / 2, 6, 2 / 2, 6, 5 / 2, 7, 5 / 2, 8, 3 / 2, 8, 5 / 2, 9, 15 / 4, 4, 4 / 5, 3, 6 / 5, 5, 7 / 5, 12, 6 / 7, *pr*. 9 / 7, 8, 3 / 8, 3, 21 / 8, 6, 8 (bis) / 10, 2, 14 (bis) / 10, 13, 1 / 10, 16, 9 [477].

— *lapis* « bloc de chaux vive » : 2, 5, 3 ;
— *lapis* « marbre » : 10, 2, 14 ;
— *lapis* « pierre raccord » : 8, 6, 8 ;
— *lapis quadratus* « pierre de taille » : 2, 7, 5 / 2, 8, 3 ;
— *lapis durus* « pierre dure » : 2, 8, 5 ;
— *medii lapides* « milieu des blocs (quadrangulaires) » : 4, 4, 4 / 5, 12, 6.

L'adjectif *lapideus* « de pierre » est usité douze fois : 2, 8, 9 / 2, 8, 17 / 3, 3, 2 / 3, 3, 5 / 4, 2, 2 / 4, 2, 3 / 5, 1, 1 / 5, 3, 3 / 5, 9, 1 / 7, 8, 3 / 8, 3, 9 / 8, 3, 10 [478].

---

[474] *T. L. L.* VII, 2, 2, col. 948-953, l. 49-39.
[475] *T. L. L.* VII, 2, 2, col. 943-944, l. 28-45.
[476] *T. L. L.* VII, 2, 2, col. 941, l. 20-68.
[477] Callebat, Fleury 1995, p. 34.
[478] Callebat, Fleury 1995, p. 34.

— *lapidea epistylia* « architraves de pierre » 2, 8, 9 / 3, 3, 5 / 5, 1, 1 ;
— *pilae lapideae* « piliers en pierre » 2, 8, 17 ;
— *theatrum lapideum* « théâtre de pierre » 3, 3, 2 ;
— *lapideae aedificationes* « constructions (temples) en pierre » 4, 2, 2 ;
— *opera lapidea* « constructions (temples) en pierre » 4, 2, 3 ;
— *copiae lapideae* « matériaux de pierre » 5, 3, 3 ;
— *columnae lapideae* « colonnes de pierre » 2, 8, 9 / 5, 9, 1 ;
— *pars lapidea* « partie d'un roseau pétrifié » 8, 3, 9 ;
— *crusta lapidea* « croûte pierreuse » 8, 3, 10.

Lapidicinae « carrières » se trouve dix fois [479] : 2, 7, 1 / 2, 7, 3 / 2, 7, 4 (bis) / 2, 7, 5 / 8, 3, 9 / 10, 2, 11 / 10, 2, 12 / 10, 2, 15. 10 fois.
— *lapidicinae* « carrières (de bitume) » : 8, 3, 9 (cf. *bitumen*) ;
— *lapidicinae* « carrières de marbre » : 10, 2, 11 / 10, 2, 12 / 10, 2, 15.
— *lapidicinae molles* « carrières de tufs volcaniques tendres » : 2, 7, 1 ;
— *lapidicinae temperatae* « carrières de calcaires moyennement dures » : 2, 7, 1 ;
— *lapidicinae durae/siliceae* « carrières de pierres dures » : 2, 7, 1.
— *lapidicinae Anicianae* « carrières d'Anicius » : 2, 7, 3.

3.1. *Lapidicina*, *lapis* et la géologie des pierres (2, 7, 1-5)

Dans le champ notionnel de la pierre chez Vitruve, *lapis* est usité dans un contexte géologique, qu'on trouve surtout en 2, 6, 2 et 5. Mais c'est surtout de *lapidicinae* dont il se sert pour décrire les caractéristiques des blocs à extraire dans le septième chapitre du livre II. Vitruve y aborde « les carrières de pierres d'où l'on extrait et où l'on prépare les pierres de taille et les moellons servant de matériaux pour les constructions (*Sequitur ordo de lapidicinis explicare, de quibus et quadrata saxa et caementorum ad aedificia eximuntur copiae et comparantur*) ». Il discrimine ces carrières selon leur dureté et l'usage qu'on peut avoir de ces pierres. Les seuls lieux d'extraction évoqués sont ceux d'Italie et non pas ceux de Grèce ou d'Asie Mineure : Rome et ses environs, la Campanie et la façade de l'Adriatique et enfin l'Etrurie.

[479] Callebat, Fleury 1995, p. 42.

3.1.1. Brève nomenclature des carrières (2, 7, 1)

Vitruve décrit ainsi ces carrières : « Ces pierres de carrière se trouvent être de qualité inégale et diverse. Certaines en effet sont tendres : celles par exemple, dans les environs de Rome, de Rubra, de Palla, de Fidènes et d'Albe ; d'autres sont de dureté moyenne, comme celles de Tibur, d'Amiterne, du Soracte ou des carrières de ce type ; quelques-unes, comme les roches siliceuses, sont dures. Mais il y en a aussi de bien d'autres espèces ; le tuf rouge et le tuf noir par exemple, en Campanie ; le tuf blanc de l'Ombrie, du Picenum et de la Vénétie qui se coupe par ailleurs comme le bois avec une scie dentée. » [480] Dans cet extrait, on y trouve le syntagme technique *eximere et comparare de lapidicinis et quadrata saxa et caementorum copias ad aedificia* « extraire des carrières pour les bâtiments et fournir les pierres de taille et les matériaux de moellons ».

Les mêmes carrières (*lapidicinae*) fournissent donc les pierres de taille (*saxum quadratum*) et les moellons (*caementum*). Selon la nature géologique des blocs (calcaires, tufs volcaniques, etc.), Vitruve, en homme expérimenté, distingue différentes duretés ou indurations (*disparibus et dissimilibus uirtutibus*). Il ajoute aussi les noms des lieux d'extraction.

1) *Lapidicinae molles* (*circa Romae*) « tufs volcaniques tendres »

— *lapidicinae Rubrae* : tufs consolidés rouge sombre à grain relativement fin de Saxa Rubra au nord de Rome, le long de la via Flaminia ou tufs volcaniques de Grotta Oscura ou de Monteverde [481].
— *lapidicinae Pallenses* : les tufs rougeâtres de Paglia, de Tor Cervara et de l'Anio [482].
— *lapidicinae Fidenates* : tufs plus tendres de Fidènes, de Castel Giubileo (que ceux de Monteverdi et de l'Anio) [483].
— *lapidicinae Albanae* : variété tendre de pépérin des monts Albains, tuf semi-consolidé gris cendré de Marino [484].

---

[480] Vitr. 2, 7, 1 : […] *Sequitur ordo de lapidicinis explicare, de quibus et quadrata saxa et caementorum ad aedificia eximuntur copiae et comparantur. Haec autem inueniuntur esse disparibus et dissimilibus uirtutibus. Sunt enim aliae molles, uti sunt circa urbem Rubrae, Pallenses, Fidenates, Albanae ; aliae temperatae, uti Tiburtinae, Amiterninae, Soractinae et quae sunt his generibus ; nonnullae durae, uti siliceae. Sunt etiam alia genera plura, uti in Campania rubrum et nigrum tofum, in Vmbria et Piceno et in Venetia albus, quod etiam serra dentata uti lignum secatur*. Trad. L. Callebat.
[481] Blake 1947, pp. 29-30 ; Lugli 1957, pp. 196-197 et 311-313 ; Anderson 1997, pp. 141-142.
[482] Lugli 1957, pp. 309-311 ; Ginouvès, Martin 1985, p. 43 ; Anderson 1997, p. 142.
[483] Blake 1947, pp. 26-27 ; Lugli 1957, pp. 257-258 ; Anderson 1997, p. 141-142.
[484] Le pépérin est appelé aussi *lapis Albanus* et *saxum Albanum* : Blake 1947, pp. 35-38 ; Lugli 1957, pp. 314-326 ; Anderson 1997, p. 143. Le *lapis Gabinus*, semblable au pépérin, de texture moins fine, avec inclusions de scories plus fréquentes, n'est pas mentionné par Vitruve : Blake 1947, pp. 38-39 ;

2) *Lapidicinae temperatae* « pierres calcaires moyennement dures »

— *lapidicinae Tiburtinae* : travertins de Tivoli [485].
— *lapidicinae Amiterninae* : calcaires de San Vittorino [486].
— *lapidicinae Soractinae* : calcaires de Soracte [487].

3) *Lapidicinae durae* « carrières de pierres dures » : tufs volcaniques durs, laves, silex, calcaires durs, dolomies, etc. [488]

Vitruve classe les carrières en fonction de leur résistance à la taille : *lapidicinae molles* « carrières de pierres tendres », *lapidicinae temperatae* « carrières de pierres moyennement dures », *lapidicinae durae* « carrières de pierres dures ». Avec l'emploi du substantif pluriel *lapidicinae* et des adjectifs *molles* et *temperatae*, Vitruve parvient à les faire coïncider avec des catégories géologiques cohérentes (tufs volcaniques et calcaires). Les *siliceae*, qui sont une classe de *lapidicinae durae*, correspondent à des roches, soit contenant de la silice, soit dont l'indice de difficulté de taille commence à 7 (cf. *Silex*), mais l'absence de sous-catégorisation (*lapidicinae* + adjectifs toponymiques) ne permet pas de les préciser assurément. Ainsi, le classement vitruvien ne concorde pas avec celui que les archéologues utilisent : d'abord, seuls des calcaires sont classés parmi les carrières de blocs « moyennement durs », alors qu'il existe des roches éruptives dont le degré d'induration pourrait entrer dans cette catégorie.

De même, le travertin est répertorié comme une pierre dure par G. Lugli et on s'attendrait à ce que le pépérin (*lapis albanus*) de la région d'Albe soit catalogué avec les roches moyennement indurées [489]. *Lapidicinae* hérite de *lapis* la possibilité de former un paradigme avec les adjectifs toponymiques [490]. Concernant *Pallenses*, rien ne s'oppose à ce qu'il dérive de l'adjectif *pallens* « jaune » employé ici au milieu des toponymes, pour indiquer la couleur (moins foncée que celle des *Saxa Rubra*) de ces pierres [491].

Anderson 1997, pp. 143-144.
[485] Appelé *lapis Tiburtinus* : Blake 1947, pp. 44-48 ; Lugli 1957, pp. 314-326 ; Anderson 1997, pp. 144-145.
[486] *Vitruve II*, p. 101, n. 11.
[487] Blake 1947, p. 21.
[488] Ce classement est inspiré de P. Gros : *Vitruve II*, p. 101, n. 4.
[489] Lugli 1957, p. 41.
[490] *Vitruve II*, pp. 100-103, n. 3-14.
[491] Lugli 1957, pp. 309-311 ; Ginouvès, Martin, 1985, p. 43 ; Anderson 1997, p. 142.

3.1.2. *Lapidicinae molles* « carrières de tufs volcaniques tendres » (2, 7, 2)

Les carrières qu'indique Vitruve en 2, 7, 2 ont des propriétés spécifiques : « Toutes les roches tendres présentent l'avantage que les blocs qu'on en tire se travaillent facilement. Dans des endroits couverts, elles sont un matériau résistant ; à l'air libre en revanche et dans des endroits non protégés, elles se délitent et s'effritent sous l'effet du gel et de la condensation en givre. Sur le bord de la mer également, elles sont rongées par la salure et se désagrègent, et elles cèdent aussi aux mouvements de l'eau » [492]. Les tufs décrits dans ce passage sont essentiellement volcaniques et se trouvent aux alentours de Rome (*circa Romae*). Comme Vitruve mentionne le nom de ces carrières de « roches tendres », la littérature archéologique les reprend en y ajoutant quelques autres.

Cappellaccio

Vitruve ne parle pas du *cappellaccio*, mais ses propriétés font entrer ce tuf dans la catégorie des *lapidicinae molles*. Il s'agit de la première roche volcanique à fournir les blocs les plus courants de Rome du VII^e^ au V^e^ siècle *a. C.* Le *cappellaccio* est extrait du côté sud du Quirinal et du Capitole. Il est facile à tailler et à travailler, mais il résiste assez mal aux intempéries et c'est probablement la seule pierre de carrière disponible jusqu'au V^e^ siècle *a. C.* On en trouve dans le podium du temple de Jupiter Capitolin et dans les fondations des sanctuaires archaïques de la Fortune et de Mater Matua au Forum Boarium [493].

Lapidicinae Rubrae

Les carrières de Saxa Rubra sont situées immédiatement au nord de Rome, le long de la *via Flaminia,* près de la commune de Grotta Rossa. Ces roches volcaniques consolidées rouge sombre à grain relativement fin se prêtaient à une taille assez précise. Il est difficile de les distinguer des tufs rouges ou marron dits de Monteverde dont les gisements principaux doivent être cherchés entre la gare du Trastevere et la via Portuense, au pied du Janicule (avec des lieux secondaires d'extraction à la Magliana). L'exploitation de ces derniers est devenue régulière au cours du II^e^ s. *a. C.* : on les rencontre dans les fondations du temple d'Apollon *in Circo* (179 *a. C.*), dans le sanctuaire de la Concorde (121 *a. C.*), au niveau supérieur de la prison mamartine et dans le temple B de Largo Argentina (100 *a. C.*). Parmi

[492] Vitr. 2, 7, 2 : *Sed haec omnia quae mollia sunt hanc habent utilitatem, quod ex his saxa cum sunt exempta, in opere faciliter tractantur. Et si sunt in locis tectis, sustineant laborem, si autem in apertis et patentibus, gelicidiis et pruina congesta friantur et dissoluuntur. Item secundum oram maritimam ab salsugine exesa diffluunt neque perferunt aestus*. Trad. L. Callebat. Cf. *Saxum* pour l'analyse de cet extrait.

les autres carrières qu'on peut rattacher aux *Rubrae*, figurent les tufs de Grotta Oscura. Ceux-ci deviennent disponibles dès la conquête de Fidenae (426 *a. C.*) et de Véii (396 *a. C.*). Ils sont exploités intensivement jusqu'au IIe s. av. J.-C. On en trouve dans le Mur Servien (IVe s. *a. C.*), au niveau inférieur de la Basilica Aemilia, dans le sanctuaire de Veiovis sur le Capitole, dans le temple rond du Forum Boarium, et dans les ponts émiliens et mulviens. Les tufs rouges mentionnés en 2, 8, 4 peuvent venir de ces divers sites proches de Rome, mais il existe des tufs similaires en Campanie (2, 7, 1) [494]. Enfin, il y a la pierre de Campidoglio, qui est de même consistance et de dureté identique que celle de Monterverde et de l'Anio. Elle s'extrayait sur le Capitole près de la roche tarpéienne, sur le Palatin, et la partie est de l'Aventin [495].

Lapidicinae Pallenses

On rapproche les *Pallenses* des tufs rougeâtres de la rivière *Pallia* (l'actuelle Paglia), qui est un affluent du Tibre. Les tufs provenant de cette région se confondent sans doute avec ceux de l'Anio, rougeâtres eux aussi, et qui sont extraits des carrières de Tor Cervetara (près du huitième mile de la Via Tiburtina, au nord-est de la ville). L'Anio a fourni des pierres pour l'Aqua Murcia (144 *a. C.*), la plate-forme retravaillée du temple A du Largo Argentina (120 *a. C.*), pour le pont mulvien (109 *a. C.*), la tombe des Scipions (100 *a. C.*), et pour la prison mamartine. Ce tuf sera l'un des matériaux préférés dans la construction à Rome à la fin de la République et au début de l'Empire.

Lapidicinae Fidenates

Le tuf de Fidènes, extrait sans doute dès la fin du Ve s. *a. C.*, est tiré de Castel Giubileo. Il se distingue par de nombreuses inclusions de scories noires et ne sera plus utilisé au-delà de la fin du IIe s. *a. C.* Comme pour Grotta Oscura, il est employé pour le Mur Servien, et dans les niveaux inférieurs des temples A et C de Largo Argentina. On les trouve dans la troisième phase des sanctuaires de l'aire sacrée de Santo Omobono [496]. Pline (*Nat*. 36, 167) compte au nombre des pierres tendres exploitables non loin de Rome, la roche de Fidènes et celle d'Albe.

---

[493] Anderson 1997, p. 141.
[494] Blake 1947, pp. 29-30 ; Lugli 1957, pp. 196-197 ; pp. 311-313 ; Anderson 1997, pp.141-142; *Vitruve II*, pp. 101-102, n. 6.
[495] Anderson 1997, p. 142-143; *Vitruve II*, p. 102, n. 7.
[496] Blake 1947, pp. 26-27 ; Lugli 1957, pp. 257-258 ; Anderson 1997, pp. 141-142.

Lapidicinae Albanae

Il s'agit du célèbre pépérin ou *peperino*, tuf volcanique consolidé gris cendré qui provient des carrières de Marino, toujours en activité, aux Monts Albains. Il appartient à la catégorie du « tuf pépérin » (cf. *Carbunculus*). Il est employé à Rome dès le IV^e^ s. *a. C.* Il est apprécié dans les constructions publiques pour sa résistance au feu entre le II^e^ s. *a. C.* et le II^e^ s. *p. C.* : on en trouve dans les murs des Fora d'Auguste et de Trajan et dans la zone du théâtre de Marcellus (Fig. 16). Du temple de la *Magna Mater* (191 ou 110 *a. C.*) à celui d'Antonin et de Faustine (II^e^ s. *p. C.*), son utilisation ne connaît guère d'éclipse. Il est attesté sous les noms de *lapis Albanus* ou *saxum Albanum* [497]. Vitruve ne fait pas allusion au *lapis Gabinus* (Sperone), très semblable au pépérin quoique de texture moins fine, avec plus d'inclusions de scories. Il était exploité près de Gabii, sur la via Praestina. C'est assurément un matériau assez pauvre et une pierre de construction médiocre, mais comme le pépérin, elle a aussi une bonne résistance aux flammes : son usage dans les murs de protection sauva le Forum d'Auguste de l'incendie de 64 *p. C.* Sa relative proximité de Rome a favorisé son emploi dans les structures qui pouvaient s'en accommoder comme l'aqueduc de l'*Aqua Marcia*, les quais du pont mulvien (109 *a. C.*), les arcs de la Cloaca Maxima (fin du II^e^ s. *a. C.* ou restauration d'Agrippa, 33 *a. C.*), les murs du *Tabularium*, les boutiques du Forum de César, etc. [498] Outre le *peperino* des Monts Albains, il y en a un autre en Etrurie méridionale discuté *infra*.

Les *lapidicinae molles* sont la première catégorie de carrière dans la classification vitruvienne. Assurément, le *cappellaccio*, à cause de son peu de résistance aux intempéries, peut y être classé et la terminologie archéologique lui applique l'épithète *granulaire*. Mais cette classe inclut aussi des tufs volcaniques consolidés (ou appelés par les archéologues *lithoïdes*), comme ceux de Monterverde et de l'Anio et le tuf pépérin (*peperino*, *nenfro*, *lapis albanus*). Le *lapis albanus* est une roche qu'on peut considérer comme dure et il résiste assez bien aux éléments climatiques. Si l'on doit situer la famille *molles* « tendres » sur l'échelle des difficultés de taille de pierre, elle commence dès 1 (très tendre), mais on ne sait où elle peut finir, car il n'a pas été trouvé de données de laboratoire sur l'induration du *lapis albanus* [499].

[497] Blake 1947, pp. 35-38 ; Lugli 1957, pp. 314-326 ; Anderson 1997, p. 143.
[498] Blake, 1947, p. 38-39 ; Anderson 1997, p. 143; *Vitruve II*, p. 102, n. 9.
[499] Concernant les adjectifs italiens *granulare* et *litoide* : Ginouvès, Martin 1985, p. 42.

3.1.3. Les *lapidicinae temperatae* « pierres calcaires moyennement dures » (2, 7, 2)

La catégorie suivante des carrières est celle des *lapidicinae temperatae* « pierres (calcaires) moyennement dures », dont le contenu désigne uniquement des calcaires. L'exemple type est le travertin ou pierre de Tibur (*Tiburtina*). En 2, 7, 2, Vitruve fait de celle-ci la roche à bâtir en calcaire par excellence. Ses propriétés sont les suivantes : « La pierre de Tibur et toutes les pierres de même type résistent aux charges et aux intempéries, mais elles ne sont pas à l'épreuve du feu qui, dès qu'il les touche, les fait éclater et se fragmenter pour la raison qu'il n'entre que peu d'humidité dans leur composition naturelle, peu de matière terreuse aussi, mais beaucoup d'air et de feu. Comme elles ont en elles moins d'eau et de terre, il s'ensuit donc que, l'air ayant été chassé au contact de la vapeur brûlante, le feu s'insinue profondément dans les vides de leurs interstices et envahit cet espace de son embrasement, produisant à partir des particules qui émanent de lui, une matière pareillement incandescente. » [500]

Le travertin est une pierre que Vitruve qualifie de *temperata* « moyennement dure », mais la chimie vitruvienne n'en fait pas un calcaire où les quatre éléments sont proportionnés de façon équilibrée. La présence du feu et de l'air en abondance en fait un corps potentiellement instable, qu'une cuisson à haute température pour en faire de la chaux suffira à rendre réactif (sur la composition « élémentaire » du travertin cf. *Saxum*).

Lapidicinae Tiburtinae

Bien qu'il s'agisse d'une roche sédimentaire, l'origine du travertin est en fait liée à l'activité volcanique des Monts Albains, car il est composé de carbonate de calcium déposé par les sources thermales du type de celles de Bagni, près de Tibur, l'actuelle Tivoli. Il suffit de songer au théâtre de Marcellus ou au Colisée pour avoir une idée de son emploi remarquable dans la grande architecture romaine. En 2, 7, 2, Vitruve insiste sur la solidité de ce calcaire qui prend un ton chaud en se patinant et notre auteur écrit que sa seule faiblesse est sa vulnérabilité au feu. Mais il ne dit pas un mot sur la finesse et sa beauté après polissage : après cette opération, il n'y avait pas besoin de revêtement et il pouvait ainsi se substituer au marbre. Strabon (5, 3, 11) constate que l'Aniene coule à proximité de ses

[500] Vitr. 2, 7, 2 : *Tiburtina uero et quae eodem genere sunt omnia, sufferunt et ab oneribus et a tempestatibus iniurias, sed ab igni non possunt esse tuta, simulque sunt ab eo tacta, dissiliunt et dissipantur ideo quod temperatura naturali paruo sunt umore itemque non multum habent terreni, sed aeris plurimum et ignis. Igitur cum et umor et terrenum in his minus inest, tum etiam ignis, tactu et ui uaporis ex his aere fugato, penitusinsequens interueniorum uacuitates occupans feruescit et efficit a suis ardentia corporibus similia*. Trad. L. Callebat.

carrières, ce qui en facilite le transport. L'accessibilité des lieux d'extraction par ce cours d'eau explique que le *lapis Tiburtinus* a joué un rôle important dans la construction pendant les siècles tardo-républicains et impériaux. Comme le calcaire est sensible au feu, on lui a parfois préféré le *peperino* ou le *lapis Gabinus* pour le mur périmétral du Forum d'Auguste qui l'isolait des quartiers populaires, où le risque d'incendie était redouté [501].

Lapidicinae Amiterninae

Amiternum est situé en Sabine sur le site de l'actuelle localité de San Vittorino. Une telle mention constitue possiblement un indice de la source varronienne utilisée par Vitruve : dans son *De architectura,* Varron a peut-être fourni une liste de matériaux où il privilégiait certaines productions de sa région. Il mentionne *Amiternum* dans son *De lingua latina* en 5, 28 [502].

Lapidicinae Soractinae

Le tuf calcaire de la région du Soracte dans l'*ager Faliscus* n'est pas très renommé ; la référence à Varron est là aussi probable [503].

Les données techniques sur le travertin sont plus disponibles que les autres calcaires énumérés par Vitruve. Ainsi, il a une masse volumique entre 2.200 et 2.500 kg/m3 et une résistance à la compression de 40 à 45 Mpa [504] : on peut lui donner un indice de difficulté de taille, qui est peut-être de 7 à 8 à cause de sa résistance à la compression (cf. *Silex*).

3.1.4. Les *lapidicinae durae, uti siliceae*: les carrières d'Anicius (2, 7, 3-4)

Les carrières de pierres dures (*lapidicinae durae*) sont la dernière classe mentionnée en 2, 7, 3. Mais cette catégorie générale (*lapidicinae durae*) suppose qu'il y ait des sous-catégories, comme *lapidicinae siliceae*. C'est pourquoi, *lapidicinae durae* devrait être l'hyperonyme de *lapidicinae siliceae*. Or, où sont celles-ci dans le texte vitruvien ? Apparemment, dans les *lapidicinae Anicianae* « carrières d'Anicius », mais notre théoricien ne le précise pas clairement. En effet, le passage de 2, 7, 3 devient confus : on ne sait pas s'il parle des pierres *siliceae* ou d'autres types de roches plus ou moins dures.

---

[501] Blake 1947, pp. 44-48 ; Lugli 1957, pp. 314-326 ; Anderson 1997, pp. 144-145; *Vitruve II*, p. 104, n. 3.
[502] *Vitruve II*, p. 103, n. 11.
[503] Blake, 1947, p. 21 ; *Vitruve II*, p. 103, n. 13.
[504] http://www.tecnologos.it/Articoli/articoli/numero_002/MURATURA.asp

Il faut examiner Pline (*Nat*. 36, 168), lequel reprend ce texte du traité, pour le déterminer : il se sert du terme *silex* pour qualifier les roches des carrières d'Anicius. Vitruve (2, 7, 3) écrit : « Il y a par ailleurs, dans le territoire de Tarquinies, plusieurs carrières dites d'Anicius (*lapidicinae complures quae dicuntur Anicianae*), dont les pierres ont la même couleur que celles d'Albe et que l'on travaille surtout auprès du lac de Volsinies, ainsi que dans la préfecture de Statonia. Ces pierres ont de multiples qualités: ni les gelées, dans le mauvais temps, ni le contact du feu ne peuvent les endommager; elles restent solides et durent de longues années pour la raison qu'elles sont, par nature, composées de peu d'air et de feu, d'une quantité moyenne de matière humide, mais d'une grande quantité de matière terreuse. La cohésion que leur donne la fermeté de leur texture fait qu'elles ne sont altérées ni par les intempéries ni par la violence du feu. » [505]

- ***Caractéristiques des carrières volcaniques de Bolsena***

Selon Vitruve, les carrières d'Anicius se situent aux voisinages du lac de Bolsena et dans la préfecture de Statonia : notre architecte intègre au territoire de Tarquinia le lac lui-même, qui porte souvent dans la tradition le nom de *lacus Tarquiniensis* (Plin. *Nat.* 2, 209). Apparemment, l'exploitation ne paraît concerner que la circonscription de *Statonia*, si l'on interprète ainsi le texte vitruvien. Les Anicii, les propriétaires ou les exploitants, appartiennent à une *gens* importante de Praeneste. L'essentiel de l'activité d'extraction a lieu dans les environs de Statonia, mais la localisation de cette cité reste problématique ; elle devrait être située à l'ouest du lac de Bolsena. Il semble que cette agglomération ait disparu peu de temps après l'époque augustéenne, comme d'autres en l'Étrurie méridionale. Des recherches archéologiques belges permettent de localiser l'ancienne Statonia à Castro au N-O du lac [506].

Les pierres décrites dans ce paragraphe sont essentiellement volcaniques, puisque les volcans locaux sont, parmi d'autres, ceux de Vico et des monts Cimini. La région de Vulsinies ceinture le lac de Bolsena avec ses laves et ses tufs: tufs leucitiques de consistance assez variable, de couleur gris-jaunâtre ou jaune fauve qui prendra dans les ateliers des tons chauds jaune brun ou jaune doré. Évidemment, les carriers préfèrent des variétés plus

---

[505] Vitr. 2, 7, 3 : *Sunt uero item lapidicinae complures in finibus Tarquiniensium, quae dicuntur Anicianae, colore quemadmodum Albanae, quarum officinae maxime sunt circa lacum Vulsiniensem, item praefectura Statonensi. Haec autem habent infinitas uirtutes* : *neque enim his gelicidiorum tempestas neque ignis tactus potest nocere, sed est firma et ad uetustatem ideo permanens, quod parum habet e naturae mixtione aeris et ignis, umoris autem temperate plurimumque terreni. Ita spissis comparationibus solidata neque ab tempestatibus neque ab ignis uehementia nocetur*. Trad. L. Callebat.

[506] Sur les Anicii, cf. P. Castren, *Ordo populusque pompeianus. Polity and Society in Roman Pompeii*, Rome, 1975, p. 134. Concernant sur l'activité économique de Bolsena à l'époque antique : F. Tassaux, « Pour une histoire économique et sociale de Bolsena et son territoire », *Mélanges de l'Ecole Française de Rome, Antiquité*, 99, 1987, pp. 535-561. Sur Statonia: G. Gazzetti, in *La romanizzazione dell'Etruria : il territorio di*

compactes et plus indurées. Le volcanisme de Volsinies a produit en outre des roches feldspathiques et feldspathoïdes, et celles-ci sont plus fréquentes dans les environs d'Orvieto (N-E du lac). Entre autres, on a des téphrites leucitiques, accompagnées de phonolithes leucitiques ou de leucites, roches grises ou gris noirâtre, d'aspect nettement basaltique. Leur structure est très variable : elle est plus ou moins consolidée [507]. Les volcans de la région de Bolsena ont aussi fourni un tuf pépérin, dont les variétés locales les plus connues sont appelées *peperino* et *nenfro*, déjà évoqués dans *Carbunculus* [508].

La documentation archéologique montre une grande diversité de dureté des roches éruptives du pourtour du lac de Bolsena. Le *peperino* de la région de Bolsena est considéré comme une pierre médiocre, alors que le *nenfro* est traditionnellement plus solide. Ainsi, selon les régions d'extraction d'Etrurie, l'utilisation de termes comme *nenfro* ou *peperino* n'implique pas une notion de solidité dans leur sémantique. Si l'on doit localiser les carrières antiques d'Anicius et la préfecture de Statonia à l'ouest ou au nord-ouest du lac, seule une étude archéologique et géologique approfondie permettrait de le savoir : R. Bloch a signalé qu'on tirait de la carrière du Giglio, un tuf consolidé jaune et dense. À vrai dire, comme le fait remarquer P. Gros, les tufs plus ou moins lithoïdes exploités à Volsinies ne présentent aucun des caractères définis par Vitruve [509].

Pour trouver des pierres qu'on peut qualifier de dures, il faut aller plus au sud pour découvrir un pépérin plus consolidé et comparable au *lapis albanus*. Ainsi, près de Viterbe, on l'extrait à *delle Alture*, ce qui était déjà le cas dans la Rome impériale : un portique, situé en face du Forum Holitorium est construit avec cette pierre et supposé daté de la dernière décennie du premier siècle avant J.-C. Le pépérin de Viterbe est constitué d'innombrables petits cristaux de feldspaths clairs et de biotites et de pyroxènes, tous deux sombres, dans une matrice granuleuse, où le microscope révèle une partie vitreuse et des cristaux de silicates plus petits. La couleur, normalement cendreuse, ou encore gris-vert, devient jaunâtre et aussi rougeâtre en vieillissant [510].

Vulci, Milan, 1985, p. 78 sq.; *Vitruve II*, p. 105, n. 2.

[507] Rodolico 1953, pp. 358-359 ; Bertagnini, Sbrana 1986.

[508] Hus 1961, p. 444-447. Sur le *peperino* de Bolsena qui est plus tendre que le *nenfro* local et leur emploi dans les sites archéologiques de la région : Balland, Barbet, 1971, pp. 58-59. Les fiches GEOCISTEM sur les tufs LA 01 et 02 donnent une analyse géologique précise : cf. Fiches et les cartes 1 et 2.

[509] Balland, Barbet 1971, pp. 58-60 : les carrières actuelles ne manquent pas, aux environs de Valentano, Farnese, Pitigliano, c'est-à-dire sur les rives Ouest et Nord-Ouest du lac, d'où l'on continue de tirer un tuf de type pépérin; inutilisable en blocs, en raison des exigences actuelles de la construction, il est maintenant concassé sur place et utilisé en poudre, au même titre que la « pouzzolane » locale. *Vitruve II*, p. 104, n. 1.

[510] Blake 1947, pp. 35 et 38; Rodolico 1953, pp. 362-364.

- ***Les qualités théoriques des pierres de Ferento***

C'est justement au sud du lac de Bolsena que Vitruve continue sa description des pierres à bâtir de l'Etrurie méridionale. Pour se rendre compte des qualités des roches, notamment de leur résistance au feu de 2, 7, 3, il écrit en 2, 7, 4 : « On peut constater tout particulièrement cela dans les tombeaux qui ont été faits avec ces pierres, aux environs du municipe de Férento: ils présentent à la fois des statues imposantes et des figurines de facture remarquable, des fleurs et des feuilles d'acanthe finement sculptées, réalisations qui, bien qu'anciennes, ont la fraîcheur apparente d'une oeuvre du moment. C'est également avec ces pierres que sont construits les moules dont disposent les fondeurs pour le coulage du bronze, et elles sont pour eux d'une extrême utilité dans la fusion du bronze. Si ces carrières étaient proches de Rome, il conviendrait que tous les ouvrages soient exécutés avec les pierres de ce site. » [511]

L'architecte nous emmène à Férentium, cité étrusque du IV^e^ s. av. J.-C. sise au pied des Monts Ciminiens au nord de Viterbe et à l'est du lac de Bolsena ; elle est reliée à Volsinies par la *uia Ferentiensis*. Elle est devenue municipe au début du I^er^ s. *a. C.* Vitruve insiste sur la qualité des éléments décoratifs des tombeaux, sous la forme de ronde-bosse (*statuae amplae*), des frises figurées de dimensions relativement réduites (*minora sigilla*), des fleurons et des acanthes (*flores et acanthi*). Les tombeaux en pierre volcanique sont situés logiquement en dehors de la cité, le long de la *uia Ferentiensis*, suivant la tradition antique, qui veut que la présence des morts ne doive pas rendre impures les habitations des vivants [512]. Ce passage laisse à penser que Vitruve possède une connaissance personnelle du site et de ses environs et qu'il est intéressé par la résistance des tufs pépérins et des laves. A l'époque d'Auguste, on construit un théâtre à Ferento, où l'on emploie du pépérin local. Il est bâti selon un schéma planimétrique qui semble avoir été influencé par les principes vitruviens du livre V [513]. Les cippes, les chapiteaux et les colonnes des arches, qui entourent la *cavea*, et aussi le pont étrusco-romain de Funicchio sont faits de pépérin. Comme le remarque Vitruve, les pierres résistent si bien au feu, qu'elles servent de moules de fonderie pour le bronze [514]. Toutefois, l'utilisation de roches éruptives, comme moules, est inhabituelle

---

[511] Vitr. 2, 7, 4 : *Id autem maxime iudicare licet e monumentis quae sunt circa municipium Ferenti ex his facta lapidicinis. Namque habent et statuas amplas factas egregie et minora sigilla floresque et acanthos eleganter scalptos ; quae, cum sint uetusta, sic apparent recentia, uti si sint modo facta. Non minus etiam fabri aerarii de his lapidicinis in aeris flatura formis conparatis habent ex his ad aes fundendum maximas utilitates. Quae si prope urbem essent, dignum esset ut ex his officinis omnia opera perficerentur*. Trad. L. Callebat.

[512] Cf. H. Von Hesberg, *Römische Grabbauten*, Darmstadt, 1992, p. 22 sq. et p. 26 sq. ; P. Pensabene, *Il teatro romano di Ferento*, Rome, 1989, pp. 88-89, n. 22 ; *Vitruve II*, pp. 106-107, n. 1-2.

[513] P. Pensabene, *Il teatro romano...*, p. 3.

[514] Cf. G. Zimmer, *Griechische Bronzegusswerkstätten. Zur Technologieentwicklung eines antiken Kunsthandwerks*, Mayence, 1990, p. 3 et suivantes.

et c'est peut-être un usage local spécifique à l'Etrurie méridionale, dont notre architecte se fait ici l'écho.

Avec la notice de 2, 7, 4, il peut donc étendre l'aire d'exploitation des pierres volcaniques aux remarquables propriétés de résistance non seulement à l'ouest et au nord-ouest du lac de Bolsena (en y incluant les carrières d'Anicius), mais aussi au sud-est du lac avec la cité de Ferento. Il semble évident que le pépérin des tombeaux peut venir des carrières locales de Ferento et également pour le théâtre d'autres sites (Bolsena). En fait, il paraît probable que Vitruve fasse référence, pour la région d'extraction, à l'ensemble du pourtour du lac, voire même plus.

Quant à savoir si ces pierres sont tirées de *lapidicinae siliceae* « carrières de pierres dures », il existe bien des laves sous forme de basalte et de trachyte. Ainsi, Viterbe possède à l'est des gisements de pépérin, que F. Rodolico appelle une « lave » et des laves à l'est, au sud et au sud-ouest de Viterbe. Tout le reste de l'environnement de cette ville est constitué généralement de tuf volcanique, de travertin (Bullicame, Bagnaccio) et de grès (Mont Razzano). A Bagnoregio, entre Orvieto et Montefascione (est du lac de Bolsena), on extrait un basalte gris, connu commercialement sous l'appellation de *basaltina*, et traditionnellement exploité pour le pavement de routes et la sculpture [515].

Vitruve classe les carrières en trois groupes distincts *lapidicinae molles* (*circa Romae*) « tufs volcaniques tendres », *lapidicinae temperatae* « calcaires moyennement durs », *lapidicinae durae/siliceae* « pierres dures ». Cette taxinomie est établie en fonction de la cohésion croissante des pierres extraites, toutefois les « carrières de pierres dures » sont une catégorie générique qui pourrait dénoter toute roche cristalline d'une dureté 7 au minimum (granite, marbre, etc.), mais notre auteur la restreint localement au lac de Bolsena et sa région. Cette variété devrait strictement désigner les laves ou les tufs pépérins d'une certaine cohérence. En fait, notre architecte insiste plus sur la qualité des roches volcaniques régionales (résistance au feu et au temps) que sur leur induration. Dans ce texte, il s'adresse plus aux promoteurs privés, lesquels se servent des ressources locales : la liste des carrières des alentours de Rome leur est destinée. Il ne parle pas en détail des sites marbriers de Grèce, car ce matériau est réservé aux grands programmes d'urbanisme.

3.2. Usage architectural de *lapis* et de *lapideus*

Une fois extraite, la roche est utilisée sur le chantier. On entreprend alors toute la chaîne opératoire qui transforme un bloc en pierre de taille (*lapis quadratus*). Cette technique a une longue histoire dont Vitruve se fait l'écho. En effet, d'après lui, son usage en

[515] http://www.dallachiesa.it/Acrobat_file/rocce_territorio_vulsinico.pdf : la « basaltina » possède une densité de 2229 kg/m^3 et une résistance à la compression de 841 kg/cm^2.

architecture remonte au début de l'humanité, au moment où celle-ci a appris à maîtriser les outils techniques, au moyen de l'émulation individuelle et de l'imitation des animaux. Dans ce passage (2, 1, 7), il explique comment fut érigé le premier mur en pierre de l'histoire : « Enrichissant alors leur esprit et développant des projets de conception plus complexe — fruit de la diversité des arts (*ex uarietate artium*) —, les hommes entreprirent de réaliser, non des cabanes, mais des maisons sur fondations, construites avec des murs de brique ou de pierre et couvertes d'une charpente et de tuiles (*sed etiam domos fundatas et latericiis parietibus aut e lapide structas materiaque et tegula tectas perficere coeperunt*). Les observations tirées de leurs activités les amenèrent ensuite, de critères flottants et vagues, à des principes nets d'harmonie relationnelle. Quand ils eurent remarqué que la nature produisait des matériaux en quantité et qu'elle offrait d'abondantes ressources pour construire (*Posteaquam animaduerterunt profusos esse partus naturae ad materiam et abundantem copiam ad aedificationes ab ea comparatam*), ils les exploitèrent, assurant ainsi une vie de qualité, belle et séduisante, rendue meilleure encore grâce aux arts (*tractando nutrierunt et auctam per artes ornauerunt uoluptatibus elegantiam uitae*). » [516]

3.2.1. Les *lapides quadrati* « pierres de taille » (2, 8, 3 ; 4, 4, 4 ; 5, 12, 6)

Lapis peut former avec un adjectif toponymique une série paradigmatique, qui est d'un usage courant dans l'Antiquité (*lapis Gabinus*, *lapis Tibertinus*, *Chii lapides*), mais curieusement Vitruve ne s'en sert pas, car il préfère user de *lapis quadratus* « pierre de taille, pierre quadrangulaire », qui est synonyme de *saxum quadratum*. On définit en architecture la pierre de taille ou bloc équarri (*lapis quadratus*, *saxum quadratum*) comme un bloc travaillé sur toutes les faces (sauf éventuellement, la face postérieure). Les *lapides quadrati* et *saxa quadrata* qualifient les pierres taillées en blocs quadrangulaires pour les assises horizontales. On rappelle que l'ensemble de ces blocs parallélépipédiques est désigné sous le nom d'*appareil rectangulaire* ou *appareil orthogonal* (*opus quadratum*, *saxum quadratum*) (Fig. 2) [517]. La pierre de taille est mentionnée dans la liste des matériaux utilisés dans la construction romaine en 1, 5, 8. S'il sert à revêtir un *opus caementicium* (ce qui est souvent le cas dans l'architecture romaine), le *lapis quadratus* peut n'être pas travaillé, ou du moins pas « dressé », sur sa face postérieure. Héritier des Grecs, Vitruve préfère l'*opus quadratum* car c'est une structure « probe et rigoureusement ordonnée », comme le note P. Gros [518]. *Saxum quadratum* a plus d'occurrences citées (4) que *lapis quadratus* (2).

---

[516] Trad. L. Callebat. *Vitruve II*, p. 75, n. 1-3 ; Biraghi 2003.
[517] Ginouvès, Martin 1985, p. 56, pp. 98-99.
[518] *Vitruve II*, pp. 100-101, n. 3 et 4 ; Lugli, 1957, pp. 169-359 ; Adam 1995, pp. 114-123 ; Giuliani 1990, pp. 174-187.

- **Lapis quadratus** ***comme pierre de parement dans les monuments funéraires (2, 8, 3)***

En 2, 8, 3, notre architecte évoque les ravages de la *ieiunitas* pour la stabilité des murs et il avertit son lecteur des dangers que risque une maçonnerie, si l'on ne prend pas de précautions pour sa fabrication. Ainsi, écrit-il en 2, 8, 2, la porosité des moellons (de tuf poreux volcanique ou calcaire) (*per caementorum raritatem*) aura attiré et absorbé toute la réserve humide (*umida potestas*) du mortier (*e materia*), et dès que la chaux se désolidarise du sable (*calxque ab harena discedat*) et se défait, les *caementa* ne peuvent pas avoir d'adhérence avec ces éléments, de sorte que les murs finissent par s'écrouler. Au paragraphe suivant : « On peut le constater aussi d'après certains monuments funéraires (*de nonnullis monumentis*) qui, aux environs de Rome, ont été faits de marbre ou de pierres de taille (*e marmore seu lapidibus quadratis*) et, intérieurement, au milieu, pilonnés en maçonneries (*intrinsecusque medio calcata structuris*) ; le mortier étant rendu affamé par vétusté et absorbé par la porosité des moellons (*caementorumque raritate*) ils se renversent ; et, les liaisons des joints (*coagmentorum ab ruina dissolutis iuncturis*) étant désunies par la ruine, ils se disloquent. » [519]

Comme en 2, 7, 4, les *monumenta* de *Ferentium*, ceux que Vitruve observe autour de Rome sont des édifices funéraires. Mais ici, l'écroulement d'un de ces mausolées lui permet de distinguer la composition trinaire typique de la maçonnerie romaine d'*opus caementicium*. De nos jours, un promeneur peut contempler, sur les ruines des tombeaux jalonnant la via Appia, le remplissage et deviner sur celui-ci l'empreinte des blocs quadrangulaires, qui constituait le parement. C'est exactement ce que Vitruve décrit avec les syntagmes *facta sunt e marmore seu lapidibus quadratis* « faits de parements de marbre ou de pierres de taille » et *intrinsecusque medio calcata structuris* « le remplissage est un blocage damé ». D'après P. Gros, ce syntagme évoque efficacement la technique consistant, dans les ouvrages importants, à projeter strate par strate du mortier puis des moellons et à damer le tout pour assurer la cohésion du mélange [520]. Dans ce passage, *iunctura* « joint » est la ligne de contact, dans une construction, entre deux éléments contigus : il s'agit de l'espace garni de liant. En 2, 8, 4, *iunctura* désigne un joint horizontal équipé de scellements [521].

- ***Le couvrement des joints par le milieu des pierres*** **(medii lapides)** ***(4, 4, 4 ; 5, 12, 6) : une définition de l'appareil isodome***

En 4, 4, 4, Vitruve indique que l'épaisseur des murs de la cella d'un temple doit être proportionnelle à sa grandeur dans la mesure où leurs antes ont une largeur égale au

[519] Trad. L. Callebat.
[520] Cf. *Caementum* ; *Vitruve II*, p. 114, n. 2 ; Adam 1995, p. 81.
[521] Ginouvès, Martin 1985, p. 103.

diamètre des colonnes. Il écrit : « Si les parois sont montées en un appareil rectangulaire de pierre ou de marbre (*quadrato saxo aut marmore*), il est clair qu'elles doivent être faites de blocs parfaitement calibrés et égaux (*maxime modicis paribusque*), car lorsque le milieu des pierres d'une assise couvre les joints verticaux des assises adjacentes (*quod media coagmenta medii lapides continentes*), la cohésion de la construction tout entière s'en trouvera renforcée. » [522]

Vitruve donne dans cet extrait une définition d'un appareil quadrangulaire, dont le bloc possède des dimensions dépendantes de la grandeur du mur, de même que la taille du moellon (*caementum*) est liée aux proportions du temple. Les pierres sont « de grosseurs moyennes et uniformes » (*maxime modicis paribusque*). L'adjectif *modicus* « mesuré » s'applique aux mesures, et plus précisément ici au calibrage des blocs parallélépipédiques.

En 5, 12, 6, on retrouve ce concept des joints verticaux devant recouvrir la moitié du bloc quadrangulaire d'une assise adjacente : « Ensuite alors, soit conduit, en pierre de taille, un mur de revêtement à lancis le plus long possible, pour que, le mieux possible, les pierres de garni intérieur soient retenues par découpe (*Deinde tunc quadrato saxo murus ducatur iuncturis quam longissimis, uti maxime medii lapides coagmentis contineantur.*). » [523] L'uniformité des dimensions des pierres de taille caractérise l'*opus quadratum* isodome. En 4, 4, 4 et 5, 12, 6, l'appareil isodome est ainsi décrit par *media coagmenta medii lapides continentes* « les milieux des blocs est en liaison avec les joints intermédiaires, le milieu des pierres (d'une assise) couvre les joints verticaux (des assises adjacentes) ». C'est donc une autre définition architecturale d'un appareil orthogonal au moyen des joints verticaux. Mentionné aussi en 2, 8, 4-5, sous le nom d'*alternia coria* « assises alternées », l'*opus quadratum* peut correspondre à plusieurs cas.

Tout d'abord, la plus évidente des possibilités qualifie un mur isodome en parpaings ou en carreaux, puis elle peut aussi désigner une assise alternant carreaux et boutisses, particulièrement en milieu italique. Ensuite, G. Lugli définit aussi les *alternia coria* avec des assises de boutisses et des assises de carreaux ou de panneresses. Enfin, P. Gros donne l'exemple du podium du temple de Mars Ultor (Mars Vengeur) : des assises de carreaux et des assises de parpaings. La présence dans ce podium d'« assises alternées » est le signe d'un maintien d'une tradition italique, alors que des équipes d'origine hellénique ont formé les artisans régionaux pour la taille du marbre (matériau qu'ils ne connaissaient pas) et pour une meilleure qualité des techniques de fabrication [524].

---

[522] Trad. P. Gros.
[523] Trad. A. Choisy.
[524] C'est la « maniera romana » de Lugli 1957, pp. 181-183 ; Adam 1995, p. 118-123 ; Callebat, Fleury 1995, p. 70 ; *Vitruve IV*, p. 151, n. 3-4. Sur le podium de Mars Ultor : Gros 1976 a, pp. 67-69 et Lugli 1957 (vol. 2), pl. XXXI-1.

3.2.2. *Theatrum lapideum* « théâtre de pierre » (3, 3, 2)

Dans le troisième chapitre du livre III, Vitruve énumère les différentes catégories de temples à colonnes. En 3, 3, 2, après avoir parlé de l'édifice religieux pycnostyle (entrecolonnement d'un diamètre et demi de colonne), il écrit : « Est systyle, le temple dans l'entrecolonnement duquel pourra être placé l'équivalent de deux diamètres de colonne et où les plinthes des bases auront la même dimension que l'espace qui les sépare; c'est le cas du temple de la Fortune Equestre, près du théâtre de pierre, et de tous ceux qui sont ordonnés selon les mêmes principes (*Item systylos est in qua duarum columnarum crassitudo in intercolumnio poterit conlocari, et spirarum plinthides aeque magnae sint ei spatio, quod fuerit inter duas plinthides, quemadmodum est Fortunae Equestris ad theatrum lapideum reliquaeque, quae eisdem rationibus sunt compositae*.). » [525] L'exemple qu'apporte notre architecte comme temple systyle est celui de la Fortune Equestre et pour situer ce dernier, notre auteur le place à côté du *theatrum lapideum* « théâtre en pierre ». Il ne lui donne pas de nom précis et la dénomination vague de « théâtre en pierre » pose un problème d'interprétation. L'adjectif qualificatif *lapideum* souligne la nouveauté de la construction d'un théâtre permanent « en dur ». Dans la littérature archéologique, deux théâtres peuvent correspondre à ce mystérieux monument. Le premier a été élevé en 55 *a. C.*, au Champ de Mars, à l'initiative de Pompée. Le second, commencé par César, achevé sous Auguste, au plus tard en 17 *a. C.*, est le « théâtre de Marcellus », sis entre la boucle du Tibre, le forum *Holitorium* et le cirque flaminien. La question de savoir auquel des deux renvoie Vitruve reste ouverte, même si P. Gros penche, dans son introduction du livre III du traité vitruvien, pour le théâtre de Marcellus. En effet, Vitruve ne paraît jamais assimiler *marmor* « marbre » à *lapis* « pierre ». S'il avait voulu parler du théâtre de Pompée au Champ de Mars, il aurait sans doute employé *theatrum marmoreum* « théâtre de marbre », que l'on trouve par exemple dans les *Fasti Amitemi,* entre 20 et 34 *a. C.* [526]

3.2.3. Parties architecturales de pierre : *columna lapidea* « colonne de pierre », *epistylium lapideum* « architrave de pierre », *pila lapidea* « pilier en pierre »

Les lexies complexes où *lapideus* est usité désignent des éléments architecturaux en pierre. La colonne (*columna*) est un support indépendant, dont la partie majeure est monolithique ou appareillée et de plan circulaire ou ovale ou à pans (au moins au nombre de cinq), et qui présente une structure formelle définie, avec en particulier un chapiteau couronnant un fût possiblement monté sur une base. L'architrave (*epistylium*) est la partie

[525] Trad. P. Gros.
[526] Cf. H. G. Martin, *Römische Tempelkultbilder*, Rome, 1987, p. 151 et suiv. ; *Vitruve IV*, *Introduction*, pp.

horizontale qui repose sur des supports indépendants (colonnes, piliers, pilastres). La pile ou le pilier (*pila*) est un support de plan rectangulaire ou carré ou composé (maçonnerie) et la pile est un pilier de maçonnerie qui soutient des charges ou des structures [527].

- **Lapideae columnae** « *colonnes de pierres* » *et* **epistylia lapidea** « *architraves de pierre* » ***(2, 8, 9 ; 3, 3, 5) : la méfiance de Vitruve envers le matériau « pierre »***

En 2, 8, 9, notre architecte fait la promotion de l'adobe pour l'architecture de prestige aux dépens du matériau « pierre » : « On peut voir dans quelques villes, construits en briques, à la fois les ouvrages publics et les demeures privées ou même royales: et tout d'abord, à Athènes, le mur qui regarde vers le Mont Hymette et vers le Pentélique; également à Paros, où les temples de Jupiter et d'Hercule ont une *cella* de brique, bien que les architraves et les colonnes qui l'entourent dans ces temples soient en pierre (*item Pariis in aede Iouis et Herculis latericias cellas, cum circa lapidea in aede epistylia sint et columnae*); en Italie, à Arezzo, un mur ancien d'une facture remarquable ». [528] Dans ce huitième chapitre du livre II, notre architecte continue d'opposer aux constructions en *opus caementicium*, qui se développent en Italie, les techniques proprement grecques, et parmi celles-ci les plus traditionnelles. Puisque la qualité principale d'une maçonnerie est la longue durée, il s'emploie à énumérer quelques-unes des réalisations les plus anciennes en briques crues. On rappellera qu'à la fin de la République, les adobes n'étaient plus exploités qu'en milieu rural [529]. Pourtant dans le passé, de tels édifices datant des VIII^e^ et VII^e^ s. *a. C.* existaient encore dans la Grèce hellénistique. On utilisait cette technique pour des raisons de conservatisme religieux le plus souvent, dans des sanctuaires ou des autels de Grèce ; Pausanias mentionne quelques-unes de ces bâtisses dans son « guide touristique » au II^e^ s. *p. C.* : temple d'Apollon à Mégare (5, 5, 6), temple de Déméter à Lépréos, etc.

Dans ce contexte, il n'est pas vraiment étonnant que, même Paros, réputé pour ses carrières de marbre, possède des ouvrages en adobe. Même si les *cellae* des sanctuaires de Jupiter et d'Hercule sont en brique crue, les colonnes et architraves en pierre sont vraisemblablement en marbre. Comme Vitruve est un traditionaliste, il donne une liste de monuments remarquables construits avec cette matière, pour montrer sa large utilisation et sa longévité. En insistant sur une technique, l'adobe, qui a fait ses preuves, notre architecte veut prouver qu'y compris les monarques les plus fastueux du passé n'ont pas dédaigné le

LXXIX-LXXX et p. 103, n. 5 ; Callebat, Fleury 1995, p. 165.
[527] Ginouvès 1992, pp. 62-63 et 110-111.
[528] Trad. L. Callebat.
[529] Martin 1965, p. 48 et suiv. ; *Vitruve II*, pp. 123-126, n. 1-6.

matériau « terre ». On pourrait voir une critique indirecte aux équipes augustéennes qui s'orientent vers un usage systématique du marbre pour les édifices prestigieux de Rome [530].

À peu près dans le même esprit, en 3, 3, 4 et 5, notre concepteur se méfie des colonnes et des architraves en pierre pour l'ordonnance des temples diastyles et aréostyles : « L'ordonnance du temple diastyle est celle qu'on obtient lorsqu'il est possible de faire entrer dans un entrecolonnement l'équivalent de trois diamètres de colonne, comme c'est le cas au temple d'Apollon et de Diane (*Diastyli autem haec erit compositio, cum trium columnarum crassitudinem intercolumnio interponere possumus, tamquam est Apollinis et Dianae aedis*). » Il poursuit : « Cette disposition présente la difficulté que les architraves se brisent en raison de la longueur des portées (*Haec dispositio hanc habet difficultatem, quod epistylia propter intervallorum magnitudinem franguntur*). » C'est pourquoi il écrit au paragraphe suivant (3, 3, 5) : « Dans les temples aréostyles, il n'est plus possible d'utiliser des architraves de pierre ou de marbre, et l'on est contraint de mettre en place des linteaux de bois d'une seule pièce (*In araeostylis autem nec lapideis nec marmoreis epistyliis uti datur, sed inponendae de materia trabes perpetuae*) ; l'aspect même de ces temples est celui d'hommes aux jambes écartées, à la tête trop lourde (*et ipsarum aedium species sunt uaricae, barycephalae*); ils paraissent bas, aplatis, et leurs frontons sont ornés à la mode étrusque de statues de terre cuite ou de bronze doré, comme ceux du temple de Cérès au Grand Cirque, du temple de l'Hercule Pompéien ou encore du Capitole (*humiles, latae, ornanturque signis fictilibus aut aereis inauratis earum fastigia tuscanico more, uti est ad Circum Maximum Cereris et Herculis Pompeiani, item Capitolii*). » [531]

Notre auteur veut mieux mettre en valeur le rythme du temple eustyle (dont les colonnes sont correctement réparties d'un point de vue visuel) et n'hésite pas à exagérer les inconvénients qui se manifestent dans des cas extrêmes. D'après P. Gros, il est clair que la rupture d'une architrave de pierre intervient seulement si l'ordonnance générale de l'édifice diastyle est particulièrement monumentale. Beaucoup de portiques de forum, aux colonnes très espacées, présentent des épistyles aux portées moins grandes que celles des architraves en marbre des sanctuaires majeurs de l'époque augustéenne, malgré leur rythme pycnostyle. À titre d'exemple, la façade du temple de Mars Ultor possédait des entraxes d'environ 4,3 m de longueur [532]. Concernant les sanctuaires géants de Sicile ou de l'Orient grec, ces entraxes dépassaient de loin ces dimensions, tous rythmes confondus. Mais la défiance de Vitruve, encore éprouvée par les architectes romains de la fin de la République à l'égard des tufs et

[530] Gros 1976 a, p. 50.
[531] Trad. P. Gros.
[532] V. Kockel, « Beobachtungen zum Tempel des Mars Ultor und zum Forum des Augustus », *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung*, n° 90, 1983, pp. 421-448; V. Kockel et J. Ganzert, « Augustusforum und Mars-Ultor-Tempel », in *Kaiser Augustus und die verlorene Republik (Ausstellungskatalog)*, édit. M. Hofter, Mainz, 1988, pp. 149-199 : p. 168.

des travertins du Latium, peut se comprendre envers des matériaux qui n'étaient pas tous idoines à fournir des architraves d'un seul tenant [533].

Outre cette méfiance vis-à-vis des matières premières italiques, notre théoricien introduit un jugement esthétique sur l'entrecolonnement des temples aréostyles, qui sont en fait les édifices religieux étrusques ou de « style toscan », décrits en 4, 7, 1-5. Pour lui, les sanctuaires aréostyles sont *uaricae* « (comme) des jambes écartées d'homme », *barycephalae* « à la tête trop lourde » et ils paraissent *humiles* « bas, écrasés », et *latae* « aplatis ». D'après P. Gros, l'anthropomorphisme des images suggérées par ces adjectifs peut surprendre. *Humiles* signifie à la fois « bas » et « écrasés », et *latae* évoque moins la largeur de l'emprise au sol que la disproportion de la dimension horizontale par rapport à la proportion verticale. La largeur inhabituelle du temple aréostyle, plus de trois diamètres de colonnes, jugée par Vitruve excessive, est due à l'écartement inusité des colonnes de sa façade (*uaricae*). Le temple de Jupiter Capitolin est le sanctuaire d'origine étrusque le plus célèbre que cite Vitruve dans ce passage. Il dispose, d'après le plan archéologique de F. Coarelli (1994), d'un entrecolonnement d'environ 5,5 de diamètre de colonne. Il fut fondé par Tarquin l'Ancien et construit par Tarquin le Superbe, et, selon la tradition, il brûla en 83 *a. C*. Celui que Vitruve a sous les yeux date de la restauration de Q. Lutatius Catulus, en 69 *a. C*. En fait, même si les colonnes de marbre spécialement apportées de l'Olympiéion d'Athènes ont été mises en oeuvre à cette occasion, les proportions essentielles de l'ancien édifice furent préservées [534].

Pour en revenir aux *lapidea epistylia* « architraves de pierre », il faut que les pierres aient une bonne résistance à la flexion, comme le marbre. L'Italie possède d'autres roches qui ont ces propriétés, mais en Grèce, celui-ci était le matériau prestigieux par excellence et celui que les artisans hellènes connaissaient le mieux. On trouvait des monuments construits en marbre à Rome dès la seconde moitié du II^e^ siècle *a. C*., comme l'*aedes Neptuni in circo* et la tholos du *Forum Boarium*, ce célèbre temple rond. Or à la fin de la République, peu de spécialistes dans la région romaine savaient travailler cette matière dans une perspective architecturale, encore moins à une échelle « industrielle ». Pour son rêve d'une Rome marmoréenne, Auguste devait faire venir avec les marbres de Grèce, des équipes de tailleurs de pierre des mêmes régions d'extraction, capables d'ouvrer un tel matériau [535]. Ces équipes devaient ensuite former leurs collègues italiques. En fait, en milieu grec et italique, l'habitude était d'utiliser plutôt les architraves de bois. On s'en servait, car c'est alors un excellent matériau qui travaille à la flexion (poutre, charpente). Le goût pour les linteaux de bois d'une

---

[533] *Vitruvio*, *Architettura dai libri I-VII*, édit. S. Ferri, Palombi, Rome, 1960, pp. 106-107 ; *Vitruve III*, pp. 103-104, n. 2.
[534] Sur les temples étrusques : Knell 1985, p. 95 sq. et F. Melis, dans *Santuari d'Etruria,* édit. G. Colonna, Milan, 1985, p. 61 sq. ; *Vitruve III*, p. 106, n. 2. Sur le temple de Jupiter Capitolin : E. Wistrand, « Vitruv über den kapitolinischen Tempel (*De arch*. 3, 3, 5) », *Eranos*, 64, 1966, pp. 128-132 ; Gros 1976 a, p. 69 ; Coarelli 1994, pp. 30-31.
[535] Cf. Gros 1976 a, pp. 53-77.

seule pièce persistait à Rome à la fin de la République, où les temples de type toscan, et parmi eux le Capitole, conservaient des architraves de ce genre, comme le montre la description des parties hautes des « temples toscans » *aedes tuscanicae* en 4, 7, 4-5 [536]. Il fallut attendre le milieu du XIX[e] siècle pour que l'acier détrônât le bois pour les charpentes importantes [537].

- **Pilae lapideae** « ***piles de pierre*** » ***et les constructions à étages de l'Urbs (2, 8, 17)***

En 2, 8, 17, Vitruve constate, qu'à cause de l'augmentation démographique de Rome et de l'extrême densité de la population, « il est nécessaire que l'on multiplie, en nombre incalculable, les habitations. » Il poursuit : « Comme des logements à un seul rez-de-chaussée ne sauraient accueillir une telle masse d'habitants dans la ville, force a été, eu égard à cette situation, de recourir à des constructions en hauteur (*altitudinis aedificiorum*). On élève donc ces bâtiments (*altitudines*) avec des piliers en pierre (*pilis lapideis*), une maçonnerie à parement de briques (*structuris testaceis*), des murs en moellons (*parietibus caementiciis*), ils sont planchéiés en de très nombreux étages et offrent ainsi une distribution extrêmement utile en habitations. » [538]

Dans cet extrait, *pilae lapideae* « piliers, piles de pierre taille » semble définir des éléments autonomes destinés à soutenir, au rez-de-chaussée ou en sous-œuvre, les parties les plus lourdes de l'édifice. Elles peuvent aussi supporter en façade les balcons et étages en surplomb sur la rue, constituant de la sorte l'équivalent des colonnes d'un portique. Cette fonction est celle qui correspond aux *pilae* mentionnées dans d'autres livres du traité d'architecture, en particulier en 5, 1, 9 pour la basilique de Fano et en 6, 8, 1 pour les salles souterraines ou voûtées. Un exemple caractéristique de l'usage de *pilae* dans la construction privée à la fin de la République est fourni par les vestiges de la maison dite des *Chevaliers de Rhodes*, à proximité de l'exèdre septentrionale du Forum d'Auguste : les piles de travertin, qui encadrent la cour centrale et soutiennent les parties hautes de l'édifice, sont parfaitement conservées [539].

De même, à cause de leur plus grande fragilité, les angles d'une maçonnerie (angle saillant de la construction, ou angles dessinés par les ouvertures dans le mur, portes ou fenêtres) reçoivent souvent un traitement spécial, qui interrompt l'appareil. La chaîne d'angle est un appareil longeant un angle et se distinguant de l'ensemble du bâtiment par les dimensions et/ou la catégorie de matériau et/ou la forme des éléments qu'il met en jeu. *Pila*

[536] Vallois 1944, p. 412 et Vallois 1966, p. 219 et suivantes; *Vitruve III*, p. 106, n. 1.
[537] Cf. Mario Salvadori, *Comment ça tient ?*, Collection Eupalinos, éditions Parenthèses, Marseille, 2005.
[538] Trad. L. Callebat.
[539] Cf. E. Tortorici, *Argiletum. Commercio, speculazione edilizia e lotta politica dall'analisi topografica di un*

lapidea peut répondre, dans certains cas, à cette notion, même si Vitruve préfère employer *angulorum iunctura* [540]. *Pilae lapideae* est polysémique et peut désigner soit des éléments portants de chaînes d'angle soit dans des appareils hétérogènes des éléments portants verticaux (empilage de blocs), qui peuvent alors servir de piliers.

4. Conclusion

Comme pour *saxum*, dont il est le synonyme, *lapis* est un terme polysémique pour les roches (sédimentaires, volcaniques…) et les blocs équarris. Dans un discours géologique, *lapis* dénote la pierre ponce, la pierre volcanique et aussi le bloc de marbre. En bloc équarri, *lapis* est la pierre raccord en roche dure (en grès porphyroïde rouge ou en porphyre rouge) et une pierre de taille. *Lapis* est aussi le bloc de chaux vive. En lexie complexe, *lapis durus* qualifie une pierre de taille dure et est synonyme de *silex*. *Lapis quadratus* est synonyme de *saxum quadratum*. *Medii lapides* fait partie d'un syntagme verbal *media coagmenta medii lapides continentes* « couvrement des joints par le milieu des pierres » qui est une définition de l'appareil orthogonal. Comme *saxum* d'une manière générale, *lapis* désigne des roches d'indice de dureté à partir de 1 (très tendre) à 14 (froide).

Le marbre n'entre pas dans la catégorie des *lapides* « pierres » : Vitruve songe essentiellement dans le livre II aux entrepreneurs citadins et ruraux, lesquels utilisent les ressources locales pour la construction des bâtiments privés. Pour eux, le marbre est donc un matériau trop luxueux [541], car réservé aux grands plans d'urbanisme. Tout en leur prodiguant des conseils pratiques, notre architecte produit dans son traité des exemples historiques de la grande architecture religieuse ou palatiale : en 10, 2, 11-12, il narre la découverte des carrières de marbre d'Ephèse et en 10, 2, 14, *lapis* est un grand bloc de marbre transporté depuis le lieu d'extraction jusqu'au chantier grâce à une ingénieuse méthode. L'usage d'une telle roche est donc destiné aux grands entrepreneurs publics dans le discours vitruvien.

L'adjectif *lapideus* « de pierre » est usité dans deux contextes naturalistes (*pars lapidea* « partie d'un roseau pétrifié » 8, 3, 9 ; *crusta lapidea* « croûte pierreuse » 8, 3, 10), mais la majorité des occurrences se retrouvent dans des descriptions architecturales, par exemple *copiae lapideae* « matériaux de pierre ». *Theatrum lapideum* « théâtre de pierre » peut désigner le théâtre de Marcellus ou de Pompée et *opera lapidea* « temples en pierre ». En 2, 8, 9 et 3, 3, 5, *columnae lapideae* « colonnes de pierres » et *lapidea epistylia* « architraves de pierre » sont utilisés dans des contextes où Vitruve met en avant des matériaux traditionnels (brique crue, poutre de bois) au détriment de la pierre et du marbre. Dans les autres passages, il s'agit

---

quartiere di Roma di età repubblicana, Rome, 1991, pp. 66-74 ; *Vitruve II*, pp. 146-147, n. 7.
[540] Ginouvès, Martin 1985, p. 103.
[541] *Vitruve II*, *Introduction*, p. LVI.

d'évoquer les usages grecs des portiques. *Pilae lapideae* « piliers en pierre » (2, 8, 17) sont des éléments portants, qui sont localisés en chaînes d'angle ou dans des appareils hétérogènes.

Lapidicinae qualifie des « carrières », qui ne sont pas forcément de pierre : en 8, 3, 9, il s'agit de carrières de bitume. Plus logiquement, *lapidicinae* est usité en 10, 2, 11-12 et 15 pour l'extraction du marbre éphésien. En 2, 7, 1, Vitruve classe les carrières de la région romaine selon plusieurs catégories de cohérence :

— *lapidicinae molles* « carrières de tufs volcaniques tendres » (2, 7, 1) : tufs consolidés rouge-sombre à grain relativement fin de Saxa Rubra ou tufs volcaniques de Grotta Oscura ou de Monteverde, de Paglia, de l'Anio et des Monts Albains (pépérin) ; l'adjectif *molles* désigne une induration de tendre à consolidée.

— *lapidicinae temperatae* « carrières de calcaires moyennement dures » : (2, 7, 1) : travertins de Tivoli et calcaires de San Vittorino et de Soracte.

— *lapidicinae durae/siliceae* « carrières de pierres dures » (2, 7, 1) : tufs volcaniques durs, laves, silex, calcaires durs, dolomies, etc. Cette expression désignative à deux termes est développée en 2, 7, 3-5 pour les carrières d'Anicius, qui qualifient des lieux d'extraction probablement exploités à l'ouest et au nord-ouest du lac de Bolsena. Les *lapidicinae durae/siliceae* devraient strictement dénoter les laves locales ou les tufs pépérins d'une certaine cohésion, mais, Vitruve insiste davantage sur la qualité des roches volcaniques régionales (résistance au feu et au temps) que sur leur consistance.

12. Lutum - Luteus - Lutosus

1. Étymologie de *lutum*, de *luteus* et de *lutosus*

Lŭtum « boue, argile », « torchis » et « saleté » possède des dérivés comme *lutō, -ās* « construire en boue, en torchis », « salir de boue », *lutāmentum* « aire de terre pétrie », *luteus* « fait de boue », « couleur de boue », *lutēnsis* « qui vit dans la boue », *lutōsus*, *lutulentus* « boueux, fangeux », etc. [542] *Lŭtĕus* et *lutosus* sont formés de la base nominale *lŭt-* de *lŭtum*, mais le premier a le suffixe adjectival de matière *-ĕus* , tandis que le second possède le suffixe adjectival *–ōsus* qui a la valeur « pourvu de » [543]. En grec, l'équivalent de *lutum* est πήλος « boue, argile, torchis » [544].

La racine indo-européenne dont est issu *lutum* est **leu-* [545] : depuis l'indo-européen **leu-* jusqu'au latin *lutum*, dont les sens sont « boue, argile », « torchis » et « saleté », ces notions (boue, saleté) sont présentes. Le grec possède quelques termes apparentés à **leu-*: λῦμα, -ατος (n.) « balayures, ordures, limon », λύμη (f.), « mauvais traitement, dévastation », λύθρος (m.) ou -ον (n.) « souillure, sang souillé de poussière », etc. En latin, on rapproche *lŭtum* de *lŭstrum* « bauge, endroit mal famé, lupanar » et de *polluo* « mouiller pour salir, souiller ». On suppose qu'un verbe disparu en latin a eu un écho dans le verbe *polluo* et dans le nom dérivé de verbe *lutum*, puisque celui-ci contient le morphème **-to-* que l'on trouve dans les formations verbales et nominales et qui est en latin un suffixe d'adjectif verbal [546].

2. Usage et sens de *lutum*, de *luteus* et de *lutosus* avant Vitruve.

Le premier auteur qui emploie *lutum* est Plaute (*Aul*. 230 ; *Mil*. 325 ; *Most*. 1167; *Persa* 406, 414, 535; *Poen*. 158 ; *Pseud*. 984 ; *Rud*. 96-100) tandis que le dernier est Isidore de Séville (1, 29, 3 ; 16, 1, 4 ; 16, 6, 6) [547]. La polysémie de *lutum* se divise en onze acceptions (en y incluant les usages architecturaux) : « boue » (Térence, Caton, Lucilius, Catulle, Lucrèce, Horace, Sénèque, Pline l'Ancien), « torchis » (Caton, César, Tite-Live, Horace, Columelle, Pline l'Ancien, etc.), « lut pour greffon de plantes » (Caton, Columelle), « argile figuline »

---

[542] Walde, Hofmann 1982: *s. v.* lutum, p. 840 ; Ernout, Meillet, André 1985, *s. v.* lutum. p. 372.
[543] Ernout 1949, pp. 5-9, 43 : *lutosus* peut être inspiré des adjectifs grecs πηλώεις et ἰλυώδης ; cf. Leumann 1963 et Monteil 1986, p. 155.
[544] Buck 1988, p. 20.
[545] Mallory, Adams 1997, *s. v.* Dirt.
[546] Monteil 1986, p. 346 ; Frisk 1970, *s. v.* λῦμα ; Chantraine 1984, *s. v.* λῦμα.

(Tibulle, Pétrone, Martial, Apulée, Vulgate, Lactance), « argile médicinale » (Ovide, Pline l'Ancien, Marcellus Empiricus, Pelagonius), « terre, argile du corps humain » (Cicéron, Juvénal, Martial, saint Jérôme, Vulgate), « matière molle et humide, saleté » (Caton, Pline l'Ancien), « saleté, ordure, péché » (Plaute, Térence, Lucilius, Cicéron, Vulgate, saint Ambroise, saint Jérôme), « reproche, insulte » (Plaute, Cicéron, Catulle, Suétone).

On trouve *lutum* sous deux acceptions architecturales :

— « torchis, bauge » : Plaute (*Rud*. 96-97), Caton (*Agr*. 38, 3-7 ; 92 ; 129), Varron (*Men*. 526), Cicéron (*Epist*. *frg*. VI 5 W), César (*Civ*. 2, 9, 14 ; 2, 15, 2), Tite-Live (21, 11, 1), Sénèque (*Epist*. 90, 7), Pline le Naturaliste (*Nat*. 7, 26), Columelle (1, 6, 14), Lactance (*Inst*. 1, 20, 18), Végèce (*Mil*. 4, 19), etc.

— « bauge pour adobe » : Lucilius (325), Pline le Naturaliste (*Nat*. 36, 81), Edict. *Diocl*. 7, 162, Vulgate (*Exod*. 1, 14).

Pour désigner la « bauge », *lutum* peut s'accompagner d'un adjectif en *–atum*: *lutum aceratum* (Lucil. 325) ou *lutum paleatum* « boue mêlée de paille ». De même, le grec possède deux expressions désignatives à deux termes πηλός ἠχυρωμένος « boue renforcée » ou πηλός τετριχωμένος « argile pétrie de crin », qui sont l'équivalent de *argilla cum capillo subacta*. Ces deux lexies complexes sont formées, en grec, avec des unités sémantiques similaires à celle du latin [548]. On peut faire une première définition de la « bauge » en affirmant qu'il s'agit de la métonymie de l'objet pour la matière dont il est fait : *lutum* désigne un liant fait de « boue ». Dès l'origine, *lutum* possédait déjà un sens technique (torchis) avec Plaute (*Rud*. 96-100). Caton (*Agr*. 14, 3; 38, 3-4, etc.) en donnera des exemples. *Lutum* est un terme ancien et courant dont le sens de « boue » et de « torchis » était facilement compréhensible pour tous, car il est à la fois un terme *général* et *spécial*. Vitruve reprend donc une tradition spécialisée qui existait déjà et qu'il enrichit.

Luteus est usité chez Plaute (*Poen*. 826 ; *Truc*. 854) et les dernières mentions sont chez Salvien (*Gub*. 1, 42) et Nicetas (*Virg*. *laps*. 3) [549]. *Luteus* a neuf acceptions (en y incluant l'usage architectural) que l'on peut discriminer en significations concrètes et abstraites :

— « boueux, limoneux » (Horace, Martial, Avianus, Juvénal, saint Augustin, Ausone), « en argile figuline » (Ovide, Pline le Naturaliste, Martial, Prudence, saint Augustin, Avianus), « relatif à la boue ou à la pommade qu'on utilise » (Tertullien, Rufin).

— « indigne, à l'âme de boue » (Plaute, Cicéron, Arnobe), « de mauvaise qualité » (Cicéron, Fronton), « relatif à la saleté des péchés ou des mœurs » (saint Ambroise, saint Augustin,

---

[547] *T. L. L.* VII, 2, 2, col. 1900-1904, l. 54-59.

[548] Pour πηλός ἠχυρωμένος cf. Ginouvès, Martin 1985, p. 49 et LXX, *gen*. 11, 3 ; Inscr. Graec. 22. 463. 42; pour πηλός τετριχωμένος : Polyan., *Strat*. 6, 3, 1; Theophr., *Caus*. *plant*. 1, 6, 7.

[549] *T. L. L.*, VII, 2, 2, col. 1893-1895, l. 53-18.

Rufin, saint Paulin, Prudence, Nicetas), « (corps humain) façonné avec de l'argile » (saint Augustin, saint Jérôme, Prudence, Rufin), « couleur sombre » (Salvien). Pour un contexte architectural, Gellius, repris par Pline (*Nat*. 7, 194), indique que Toxius est « l'inventeur des édifices en bauge » *lutei aedificii inuentor* d'après l'observation des nids d'hirondelles. Gellius, contemporain de Vitruve, est avec ce dernier, l'un des premiers à utiliser cette signification spécialisée. Pour ce sens de « bauge », on retrouve l'utilisation de la métonymie de l'objet pour la matière dont il est fait, qui caractérise les langues techniques.

La plus ancienne mention de *lutosus* se trouve chez Ennius (*ann*. 568) et la plus récente chez saint Grégoire le Grand (*M*. *past*. 3, 30 p. 110 B) [550]. Cet adjectif a trois acceptions : « boueux, fangeux » (Ennius, Lucilius, Varron, Sénèque, Pline le Naturaliste, Columelle, Palladius, Macrobe), « couvert de terre » (Columelle, saint Jérôme), et « relatif aux eaux fangeuses » (Sénèque, saint Grégoire le Grand). *Lutosus* n'est pas attesté avec un substantif désignant une matière première ou un matériau de construction.

3. *Lutum*, *luteus* et *lutosus* chez Vitruve

Lutum « boue, fange, torchis » est usité douze fois : 2, 1, 2 / 2, 1, 3 (bis) / 2, 1, 4 (bis) / 2, 1, 5 / 2, 3, 1 / 7, 3, 11 (ter) / 10, 16, 7 (bis).

— *lutum* « boue, fange » : 10, 16, 7 (bis).
— *lutum* accompagné d'une épithète minérale en *–osus* désigne une argile ou une terre mélangée d'eau, impropre à faire de l'adobe : 2, 3, 1 (bis) [551].
— *lutum* « torchis, bauge » : 2, 1, 2 ; 2, 1, 3 (bis) ; 2, 1, 4 (bis) ; 2, 1, 5 ; 7, 3, 11 (ter).

Luteus « fait d'argile » est usité une fois : 2, 1, 3. La lexie complexe, où l'adjectif est employé, est *lutea glaeba* « motte de bauge, adobe ».

Lutosus « boueux » est utilisé une fois : 5, 9, 7.
— *ambulationes lutosae* « promenades boueuses ».

[550] *T. L. L.*, VII, 2, 2, col. 1898, l. 26-78.
[551] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* lutum, pp. 34 et 37.

3.1. *Lutum* et la géologie (2, 3, 1 ; 5, 9, 7)

3.1.1. *Lutum harenosum, calculosum, sabulonosum* (2, 3, 1) : ressources géologiques impropres pour l'adobe

Le troisième chapitre du livre II est consacré à la fabrication du torchis et de la brique crue. Il marque le début de la plus ancienne notice technique de la littérature latine dédiée à un matériau de construction.

Dans la polysémie de *lutum*, Vitruve donne une place particulière à une lexicalisation originale. Notre auteur commence ainsi : « […] les briques crues ne doivent pas être moulées de boue contenant du sable, ni du caillou, ni de sablon (*de harenoso neque calculoso luto neque sabulonoso luto*); parce que les briques qui sont moulées de ces sortes de terres alluvionnaires, d'abord sont lourdes, ensuite, lorsque dans les parois elles sont fouettées par les pluies, elles se désagrègent et tombent en ruine et les pailles ne font pas corps avec ces briques, à cause de leur peu de liant. » [552] Ce chapitre débute par une interdiction : une brique crue, constituée de terre contenant naturellement des granulats, ne résiste pas au temps et aux éléments et il faut donc éviter ce genre de matière première.

Le terme *lutum* s'accompagne en 2, 3, 1 d'un adjectif minéral :

— *lutum harenosum*: terre humide sableuse.

— *lutum calculosum*: terre humide caillouteuse.

— *lutum sabulonosum*: terre humide sablonneuse.

D'un point de vue géotechnique, si l'on doit utiliser ces terres telles quelles comme matières premières, on corrigera leur texture (la texture est l'éventail des tailles des grains et des particules élémentaires ou la granulométrie) et leur structure (la structure est la façon dont les constituants — matrice et grains — sont arrangés et dont ils ménagent des vides).

Lutum harenosum

Harenosus est un adjectif qui est peut-être transcrit sur deux adjectifs grecs : ἡμαθόεις (Homère), et ψαμμώδης (Hérodote, etc.). On le trouve d'abord chez Caton (*Agr*. 34, 2), Varron (*Men*. 415) et Salluste (*Iug*. 48, 3), où il est employé dans un contexte agricole ou géologique. Vitruve l'utilise en 2, 6, 5 dans la description des terrains meubles (cf. *glareosus*) et en 8, 6, 3 pour évoquer les difficultés d'édification dans ces mêmes terrains.

---

[552] Vit. 2, 3, 1: *Itaque primum de lateribus, qua de terra duci eos oporteat, dicam. Non enim de harenoso neque calculoso neque sabulonoso luto sunt ducendi, quod, ex his generibus cum sint ducti, primum fiunt graues, deinde, cum ab imbribus in parietibus sparguntur, dilabuntur et dissoluuntur paleaeque in his non cohaerescunt propter asperitatem.*

Pour fabriquer du *lutum* « bauge », Vitruve déconseille une « terre humide sableuse », car la proportion d'argile est inconnue et problématique : une telle terre manque de cohésion, et si elle contient du limon, elle sera sensible à l'érosion. On doit alors corriger la texture en tamisant à la maille correcte (ou en plusieurs fractions) puis en recomposant la terre ou en mélangeant avec une autre plus argileuse. Puis on lessive à l'eau pour extraire l'argile. De plus, pour amender la structure, il faut broyer par pilon ou désolidariser par eau [553]. Si l'on se base sur la courbe de Sötenich, la « terre humide sableuse » contient une partie sableuse inférieure ou égale à 2 mm.

Lutum calculosum

L'adjectif *calculosus* est transcrit sur χαλικώδης (Théophraste), ψηφιδώδης (Géoponique) ou λιθώδης. Vitruve est le premier auteur latin à l'employer : il signifie « caillouteux » en 2, 3, 1 et « qui souffre de calculs » en 8, 3, 19. Il a peut-être voulu unifier les domaines médicaux et géologiques en créant un adjectif pour un contexte savant.

Dans son exigence technique, Vitruve refuse du *lutum calculosum* pour l'adobe : les briques crues sont trop lourdes et le dégraissant végétal ne fait pas corps avec le phyllosilicate. Il faut alors corriger la texture et la structure de ce *lutum*. Pour la granulométrie, on procède par tamisage des cailloux ou épierrement manuel et l'on crible possiblement la terre des autres composants. Concernant la structure, on broie par pilon ou l'on désolidarise par eau les blocs d'argile ou les gangues [554]. D'après le graphique de Sötenich, sa partie « caillouteuse » peut avoir une taille de grain supérieure à 2 mm : elle correspond à la dimension minimum du *caementum*. Suivant les normes modernes, cela concorde avec le *gravier* (entre 2 mm et 20 mm) et avec le *caillou* (entre 20 mm et 200 mm).

Lutum sabulonosum

Avec les deux adjectifs (*sabulonosus*, *sabulosus*), on est vraisemblablement en présence de deux allomorphes d'un même suffixe chez Vitruve: *-osus* (2, 6, 5) et *–onosus* (2, 3, 1). On trouve la première occurrence de *sabulosus* chez Varron (*Rust*. 1, 9, 5) où il est dans un syntagme nominal désignant une « terre sablonneuse » *sabulosa terra*. En 2, 3, 1 et 2, 6, 5 les lexies complexes, où les deux allomorphes sont usités, ont pour référents des terrains de sables très fins ou silteux, c'est-à-dire des sols contenant des particules fines (en dessous de 0,25 mm pour les sables fins, et entre 0,06 mm et 0,002 mm, pour les silts). Pline (*Nat*. 35, 70) emploie *sabulosus* dans un contexte identique à Vitruve (2, 3, 1).

---

[553] Houben, Guillaud 1995, pp. 86-87 ; pp. 194-195.
[554] *Id*.

De même pour les deux autres adjectifs minéraux en *–osus*, Vitruve déconseille le *lutum sabulonosum* pour l'adobe : certains limons ou silts peuvent manquer de cohésion, ou être seulement plastiques ; ils sont sensibles aux intempéries notamment au gel, car ils n'ont pas de dégraissant naturel. Une simple correction de texture suffit : on tamise à la maille correcte (ou en plusieurs fractions) puis on recompose la terre ou on mélange avec une autre plus argileuse [555].

Vitruve décourage l'utilisation de telles « boues » pour la fabrication directe des briques crues ; ce précepte n'a pas toujours été suivi comme l'a montré l'archéologie en Grèce où, dans certains cas, on se servit du tout-venant pour faire de l'adobe [556]. Les adjectifs minéraux en *–osus* ont pour référent géologique :

— *lutum harenosum*: terre sableuse, qui a l'apparence d'un mortier.

— *lutum calculosum*: terre graveleuse, qui comporte des cailloux et des graviers et qui a l'aspect d'un béton.

— *lutum sabulonosum*: terre silteuse, contenant du limon. C'est une terre fine peu cohésive à l'aspect soyeux [557].

Vitruve énumère tout un spectre granulométrique des terres à bâtir : du plus gros (*calculus*) au plus fin (*sabulo*), en passant par le moyen (*harena*).

En technicien soucieux d'un produit de qualité, il précise que ces terres contenant ou non des impuretés ne sont pas utilisables telles quelles. Ainsi le syntagme verbal *de luto lateres ducere* « mouler des briques crues avec de la terre (extraite) » en 2, 3, 1 dénote, malgré l'avertissement de notre architecte, un usage courant. Puisque la fabrication d'adobes répond à un rigoureux cahier des charges (extraction du *lutum*, séchage, stockage, criblage, broyage, tamisage, correction de texture et de structure, etc.), ces *luta* nécessitent une préparation longue pour obtenir de l'argile. Si *lutum calculosum*, *lutum sabulonosum*, *lutum harenosum* ne sont pas idoines pour la brique crue, ils sont en revanche appropriés pour le pisé [558].

[555] Houben, Guillaud 1995, pp. 86-87 ; p. 113 ; pp. 194-195.
[556] Orlandos 1966 (vol. 1), pp. 56-57.
[557] Houben, Guillaud 1995, p. 31.
[558] Houben, Guillaud 1995, p. 115.

3.2. *Lutum* (2, 3, 1-2), *luteus* (2, 1, 3) et le chantier

Le torchis est une technique ancienne, comme en rend compte Vitruve en 2, 1, 1-5. La large diffusion de ce procédé s'explique par l'abondance des matériaux très répandus, comme l'argile et les dégraissants végétaux. La bauge est utilisée comme mortier et enduit ; mise en forme, elle constitue l'adobe ou la brique crue (*later crudus* ou chez Vitruve *later*) [559]. La suite du troisième chapitre du livre II présente les constituants de la brique crue et la nécessité d'un bon séchage. Dans cet extrait, Vitruve décrit les qualités et les défauts du torchis et de l'adobe : « On fabriquera les briques crues avec une terre argileuse blanche (*ex terra albida cretosa*) ou avec une terre rouge (*de rubrica*) ou même avec du sable fin (*aut etiam masculo sabulone*). La cohérence de ces matériaux assure leur résistance, ils ne sont pas lourds à mettre en oeuvre et on les travaille facilement. C'est au printemps et en automne que l'on doit fabriquer ces briques, de manière qu'elles sèchent uniformément. Celles que l'on prépare en été se révèlent en effet défectueuses pour la raison que, lorsque le soleil brûlant porte d'abord à haute température l'épiderme, à leur surface, il le fait apparaître sec, alors que l'intérieur de la brique ne l'est pas. Comme, par la suite, l'intérieur se contracte en séchant, il fait se craqueler les parties qui étaient sèches. Ainsi fissurées, les briques perdent leur résistance. Elles seront bien meilleures à l'usage, si leur fabrication remonte à deux ans : le fait est qu'elles ne peuvent pas sécher entièrement en moins de temps. En conséquence, quand on élève un mur avec des briques faites depuis peu et qui ne sont pas sèches, l'enduit qui les recouvre maintient sa fermeté et sa cohésion, mais les briques, elles, s'affaissent et ne peuvent pas rester à sa hauteur : déplacées sous l'effet de leur retrait, elles n'adhèrent plus à l'enduit et, s'en désolidarisant, ne font plus corps avec lui. La conséquence est que, dissociés de la maçonnerie, les enduits ne peuvent pas tenir par eux-mêmes, en raison de leur minceur : ils se brisent et il peut arriver que les murs mêmes s'affaissent et se dégradent. Cela est si vrai que les habitants d'Utique n'utilisent, pour la construction des murs, que des briques sèches dont la fabrication remonte à cinq ans et qui ont été reconnues comme telles par l'autorité des magistrats. » [560]

---

[559] Cf. De Chazelles 1995.

[560] Vitr. 2, 3, 1-2 : *Faciendi autem sunt ex terra albida cretosa siue de rubrica aut etiam masculo sabulone. Haec enim genera propter leuitatem habent firmitatem et non sunt in opere ponderosa et faciliter aggerantur.* **2.** *Ducendi autem sunt per uernum tempus et autumnale, ut uno tenore siccescant. Qui enim per solstitium parantur, ideo uitiosi fiunt quod, summum corium sol acriter cum praecoquit, efficit ut uideatur aridum, interior autem sit non siccus. Et cum postea siccescendo se contrahit, perrumpit ea, quae erant arida. Ita rimosi facti efficiuntur inbecilli. Maxime autem utiliores erunt, si ante biennium fuerint ducti: namque non ante possunt penitus siccescere. Itaque cum recentes et non aridi sunt structi, tectorio inducto rigideque obsolidato permanente, ipsi sidentes non possunt eandem altitudinem qua est tectorium tenere, contractioneque moti non haerent cum eo, sed ab coniunctione eius disparantur. Igitur tectoria ab structura seiuncta propter tenuitatem per se stare non possunt, sed franguntur, ipsique parietes fortuito sidentes uitiantur. Ideo etiam Vticenses laterem, si sit aridus et ante quinquennium ductus, cum arbitrio magistratus fuerit ita probatus, tunc utuntur*

Ce troisième chapitre du livre II et tous ceux qui suivent devraient contenir une mine de renseignements concrets. Or, la conception « atomiste » de Vitruve, entremêlée de néo-pythagorisme, et l'aspect théorique sont mis en avant au détriment du savoir-faire des artisans et la description inexistante du cycle de production brouille la clarté des données fournies [561].

Pour cette seule notice concernant la fabrication des briques crues, notre architecte néglige beaucoup de chaînes opératoires, car cela ne lui paraît certainement pas nécessaire. Les indications de Vitruve sont parcellaires : s'il expose les emplois de la bauge comme enduit ou mortier (2, 1, 2-5; 7, 3, 11) et comme *later* (2, 3), il n'en décrit ni la composition, ni la confection. Si l'on énumère, dans les pratiques traditionnelles, les opérations de production, on constate qu'il y en a un certain nombre. Ainsi, il faut extraire la terre de la carrière, la sécher, stocker une réserve de terre brute ou apprêtée sur l'aire de fabrication, cribler si elle contient de gros cailloux, broyer pour désagréger les concrétions d'argile, tamiser pour éliminer les éléments indésirables après la préparation générale, mélanger l'argile avec le dégraissant, etc. Pour l'eau, il faut la puiser, la mettre dans un réservoir et attendre pour brasser ensemble l'argile, l'eau et le dégraissant végétal. Au total, plus d'une dizaine d'opérations est nécessaire pour compléter le cycle de production [562]. Pourtant, Vitruve est exigeant pour une bauge ou un adobe de qualité : il suffit de lire ce qu'il écrit concernant les conséquences d'un produit mal préparé. De plus, il insiste bien sur le temps de séchage de la brique crue.

3.2.1. Cahier des charges pour le torchis et l'adobe d'après les textes anciens (Caton, Lucilius, Vitruve)

Le *lutum* « bauge » est un produit ancien, qu'on retrouve aussi en grec (Cf. *Argilla*). Le champ notionnel du torchis existe en latin comme l'attestent les syntagmes verbaux, qu'on rencontre chez Plaute (*Rud*. 96-100) *terram confodere* « extraire de la terre » et *concinnere lutum* « préparer le torchis ». Pour trouver les procédures que Vitruve ne mentionne pas, il faut examiner les auteurs spécialisés comme Caton l'Ancien ou Pline le Naturaliste et les modes opératoires décrits dans la littérature technique contemporaine. Ainsi, on obtient une synthèse claire du cycle de production et on comble les lacunes de la notice vitruvienne. Entre parenthèses sont mises les références des auteurs.

---

in parietum structuris. Trad. L. Callebat.
[561] *Vitruve II*, p. 81, n. 3.
[562] Pour le détail complet de ces opérations : Houben, Guillaud 1995, pp. 190-191 et p. 208.

- ***Définition du* lutum *« torchis »***

Caton (*agr*. 14, 3) indique comment « faire du torchis » (*unde lutum fiat*) : c'est un mélange d'« eau » *aqua*, de « paille » *palea* et de « terre » *terra*. Lucilius (325 ou 9-23; 324-5 M) apporte une recette et la lexie complexe et complète du « torchis » *lutum aceratum* : « Celui qui fait de la brique, n'a jamais autre chose que de l'argile commune constituée par un mélange de boue et de paille. » [563] Pour désigner le « torchis », *lutum* peut donc s'accompagner d'une épithète en *–atum* dont le suffixe donne des formes dénominatives et a pour signification principale est « pourvu de » : *lutum aceratum* ou *lutum paleatum* « boue mêlée de paille » (Festus p. 20; p. 187 et Nonius (445, 22) [564]. La bauge est un liant plastique qui durcit avec le temps et dont le pourcentage d'eau, au moment de la fabrication diffère selon l'usage. Pour le torchis, la pâte (eau, paille et argile) sera molle (20-30 % d'eau) ; pour le *later crudus*, la pâte sera mi-ferme ou mi-molle (15-30 % d'eau) [565].

- **Lutum *« torchis » mélange d'eau de paille et d'argile : fabrication du torchis et de l'adobe***

De nos jours, les chaînes opératoires sont détaillées dans un « cahier de charges » pour le torchis et l'adobe. Celles-ci peuvent se résumer en quelques mots : extraction, stockage et préparation (criblage, broyage, tamisage) avant le malaxage avec le dégraissant. D'après ce cahier des charges, le site d'exploitation pour l'argile est généralement sur le lieu de terrasses fluviales ou de bords de rivière, c'est-à-dire tout endroit marécageux ou boueux ; d'où l'usage de *lutum* « boue » pour désigner les aires d'extraction. La terre naturelle pour la brique crue doit être assez cohésive : c'est pourquoi elle possède une texture argileuse ou très silteuse (limoneuse). En outre, la préparation de la glèbe doit être soignée pour garantir la qualité : il faut en corriger la texture et la structure. Notre architecte déconseille donc de prendre telles quelles des terres boueuses pleines d'impuretés, aussitôt extraites, alors qu'elles exigent d'être préparées, broyées, etc.

Matériaux

Après les phases d'approvisionnement, de stockage et de préparation, les matériaux sont secs et prêts à l'emploi. Pour la fabrication, l'ouvrier a ces matériaux à sa disposition.

---

[563] Lucil. *Sat*. 325: *laterem qui ducit, habet nihil amplius numquam* / 325 *quam commune lutum a paleis cenoque aceratum*. Trad. F. Charpin.
[564] Leumann 1963, p. 227.

Terre cohésive et plastique

— *terra albida cretosa* (Vit. 2, 3, 1) « argile kaolinitique blanchâtre », *creta* « argile » (Plin. *Nat*. 35, 170).
— *rubrica* (Vit. 2, 3, 1 ; Plin. *Nat*. 35, 170): argile rouge.
— *terra quam maxime cretosa uel rubricosa* (Cato *Agr*. 128) : terre cohésive aussi argileuse que possible.
— *terra cretosa omni asperitate purgata* (Pallad. 6, 12) : argile propre de tout grumeau.

Agent démoulant

— *sabulum masculum* (Vit. 2, 3, 1): sablon ou silt sec.

Dégraissant végétal (paille, balle de blé etc.)

— *paleae* (Vitr. 2, 3, 1), *palea* (Cato, *Agr*. 14, 3) : paille (haché).

L'élément liquide

— *aqua* (Cato *agr*. 14, 3), *humidum* (Paul. Fest. p. 20 a): l'eau dont la proportion est de 15-35 %. Elle est puisée et stockée près du lieu de production.

Mélange humide: lutum fieri *(Cato* Agr. *14, 3)*

Pour le *lutum aceratum* de Lucilius (325), l'eau et l'argile sont d'abord travaillées dans un « bourbier » pour former une boue homogène (*caenum*). La paille (*palea*), qui était découpée en petits morceaux, est intégrée au *caenum* et longuement brassée.

L'eau, la paille, l'argile ou le silt et un autre produit éventuel (e. g. marc d'huile, urine, sang, caséine, huiles, graisses, etc.) vont être mélangés : *lutum de amurca facere* « faire un torchis avec de l'amurque » (Cato, *Agr.* 92; 128). On fabrique ainsi des mortiers ou des enduits spéciaux qui résisteront mieux à l'humidité ou qui sont destinés à un usage précis, comme ici pour lutter contre les charançons. Caton donne la recette d'un torchis particulier, mais cette recette reste valable pour les bauges ordinaires.

[565] Houben, Guillaud 1995, p. 33.

Préparation du « bourbier » *caenum*

— terre cohésive (*rubrica*, *creta*, *terra cretosa*).
— eau (*aqua*).
— produit éventuel: amurque (Cato *Agr*. 128: *amurcam infundere*: "verser de l'amurque").
— paille (*palearum paulum addere*: « ajouter un peu de paille », Cato, *Agr*. 92; *paleas indere*: « mettre de la paille », Cato *agr*. 128); longueur des fibres (adobe): 8-12 cm ; bauge: 30-40 cm.
— aire de pétrissage : creusée dans le sol, elle fait quelques mètres de diamètre et elle est épaisse de quelques décimètres [566].
— mélange boueux ou liquide : *caenum* (Lucil. 325).

Malaxage

— à la pelle, par foulage aux pieds, ou aux pattes (ânes, mulets, boeufs, chevaux, etc.): *subigere bene* « bien mélanger » (Cato, *Agr*. 92); *rutro concidere* « couper en morceaux à la pelle » (Cato *Agr*. 128).

Repos du bourbier

— entre une journée à quatre jours (Cato *Agr*. 128).
— *sinere macerescant bene*: « laisser bien détremper la paille et le torchis » (Cato, *Agr*. 92).

État hydrique du *lutum* pour le produit final

— terre paille: terre argileuse totalement dispersée dans l'eau.
— pisé: boue (masse terreuse liquide).
— torchis: 20-35 % d'eau; pâte molle.
— adobe: 15-30 % d'eau; pâte mi-ferme à mi-molle [567].

[566] Houben, Guillaud 1995, p. 176.
[567] Houben, Guillaud 1995, pp. 114-115.

- ***Adobe***

Matériaux et outils

Après la préparation de la bauge, voici résumés les matériaux et les outils pour faire de la brique crue :
— boue épaisse et malléable, molle (pour le démoulage « coup d'eau ») ou plastique (« coup de sable ») ;
— paille coupée (*palea*) ;
— aire de production et de séchage: sol tapissé de sciure ou sable ;
— moule en bois propre et sans fond ;
— *sabulum masculum*: agent démoulant ou dégraissant [568] ;
— réglette de bois pour étirer le surplus d'argile, d'où *de luto ducere* « étirer avec une terre » donc « mouler ». En grec, on trouve le syntagme verbal πλίνθους ἕλκειν (*plintous helkein*) (Hérod. *Hist*. 1, 179) « étirer les briques (dans le moule) », d'où « mouler les briques. » [569]

Fabrication

— *laterem ducere* (Lucil. 325)*: ducere* implique l'idée de mener à bien, conduire jusqu'à son terme d'où les syntagmes familiers *ducere murum*, « construire un mur ».
— *lateres ducere et arefacere* (Vit. 2, 3, 4) : « mouler et sécher les briques ».

Le *later crudus*, une fois démoulé, est laissé tel quel sur l'aire de travail, puis placé sur la tranche pour sécher complètement. À Doura-Europos, il a suffi d'une semaine de séchage pour pouvoir utiliser des adobes entiers (moins de temps pour les demi-briques), pour le but de reconstruire un mur écroulé de la « maison chrétienne ». Pour des briques cuites, à Appollonia (Albanie), on attend entre un à trois jours avant cuisson. Le signe visible pour discerner le moment propice à leur empilement dans un four est qu'elles deviennent presque blanches extérieurement [570].

Les briques d'Utique et leur temps de séchage

En comparant le temps de séchage entre des adobes traditionnels et les briques d'Utique, on ne peut que constater le délai inhabituellement long qui concerne ces dernières.

[568] Houben, Guillaud 1995, pp. 208-212.
[569] Ginouvès, Martin 1985, p. 53, n. 295.
[570] Leriche 2000, p. 16 ; Fenet 2000, pp. 106-107.

En 2, 3, 2, notre architecte écrit : « les habitants d'Utique n'utilisent, pour la fabrication des murs, que des briques dont la fabrication remonte à cinq ans et qui ont été reconnues comme telles par l'autorité des magistrats. » [571] P. Leriche s'étonne de cette information vitruvienne et il explique cette indication « peut-être par des conditions climatiques régionales » de la moderne Tunisie [572].

Dans la littérature latine, on trouve mention d'un *lutum punicum* « bauge punique, torchis carthaginois ». Columelle (9, 7, 4) rapporte son emploi pour la protection des ruches contre les intempéries : « Il convient, pour la même raison, que l'endroit où sont les ruches soit couvert comme des portiques, ou au moins qu'il soit ombragé avec des branchages enduits d'une bauge à la carthaginoise (*luto Punico frondibus inlimatis adumbrari*), ce qui ne les mettra pas moins à l'abri de la chaleur que du froid et de la pluie. » [573] Ce *lutum punicum* résiste à la pluie et est aussi dur qu'un mur de maçonnerie. Or, on sait que le torchis ordinaire ne résiste pas aux intempéries, à moins de se servir des briques cuites pour édifier une structure imperméable. La glèbe de Carthage contient-elle une argile particulière ou un autre ingrédient, qui résiste à l'eau ?

On trouve une variété de terre, que l'on nomme une latérite et qui semble correspondre aux propriétés du *lutum punicum*. Les latérites sont des terres très altérées, qui incluent des proportions importantes, mais très variables d'oxydes de fer et d'aluminium, ainsi que du quartz et d'autres minéraux. On les croise abondamment dans la ceinture tropicale et subtropicale, généralement juste en dessous de la surface des immenses plaines ou clairières, dans des régions à fortes précipitations. Leur caractéristique d'ameublissement naturel varie du conglomérat compact à la terre friable. La couleur est très variable : ocre, rouge, brune, violette et noire. Le matériau est facile à découper, et il durcit très vite à l'air, et devient assez résistant aux agents météorologiques [574].

Les terres latéritiques ont donc des propriétés d'induration (durcissement rapide et important). La plinthite, une variété de latérite, qu'on trouve au Burkina Faso (Ex-Haute Volta) possède une induration rapide, forte et irréversible : on extrait des blocs du sol. On pourra naturellement supposer que le *lutum punicum*, est le même matériau que les briques d'Utique et qu'il est composé d'une latérite qui a une forte induration, comme la plinthite. Les adobes d'Utique ont la particularité d'avoir été fabriqués cinq ans auparavant et aussi d'être conformes à une norme de qualité garantie par des magistrats (Vit. 2, 3, 2). La brique d'Utique, si elle est de nature latéritique, peut être un bloc découpé de plinthite et qui acquiert une résistance avec le temps.

---

[571] Trad. L. Callebat.
[572] Leriche 2000, p. 16.
[573] Traduction inspirée de Saboureux de la Bonnetterie.
[574] Houben, Guillaud 1995, pp. 48 et 171.

Telle qu'elle est résumée, la fabrication du *lutum* nécessite un certain nombre de procédures. Il est possible de reconstituer étape par étape sa fabrication, que Vitruve ne présente pas. Les chaînes opératoires concernent aussi bien le torchis ordinaire que la bauge spécialisée résistante au feu (cf. *Argilla*).

3.2.2. *Luteae glaebae* « boules de terre façonnée » (2, 1, 3)

Le deuxième chapitre du livre II raconte l'évolution des techniques constructives par une humanité primitive. En 2, 1, 3, notre architecte présente ainsi l'émulation d'invention qui eut lieu entre les premiers hommes : « D'autres hommes maçonnèrent des murs avec des blocs de boue séchée et un chaînage de bois, et ils les recouvraient de roseaux et de feuillages pour se protéger des pluies et des fortes chaleurs (*Alii luteas glaebas arefacientes struebant parietes, materia eos iugumentantes, uitandoque imbres et aestus tegebant harundinibus et fronde*). » [575]

- ***Etude du syntagme* luteas glaebas arefacere**

C'est dans le syntagme *luteas glaebas arefacere* « sécher des blocs de boue séchée » qu'est usité l'adjectif *luteus* « de boue, d'argile, de torchis ».

Glaeba

Glaeba « motte, bloc », est un terme courant et ancien, qui apparaît avec Caton. Il désigne la « motte de terre » (Cic. *deor*. 2, 82; Lucr. 6, 653, etc.) et une « masse compacte de divers matériaux » (Caes. *Gall*. 7, 25, 2 : « boules de poix pour incendier » ; Plin. *Nat*. 17, 42 : « blocs de phosphates » ; 31, 73 : « blocs de sels » ; 35, 31 : « blocs d'ocre » ; 35, 194 : « blocs d'argile », etc.).

Chez Vitruve, *glaeba* est en 7, 2, 1 un « bloc de chaux vive », en 7, 6, 1, un « gros bloc de marbre » ; c'est aussi un « bloc de cinabre » (7, 8, 1 ; 7, 9, 1 ; 7, 9, 4) et un « bloc d'ocre jaune » (7, 11, 2). En 2, 3, 1, il s'agit de la lexie complexe *glaeba lutea* « motte de torchis » [576].

[575] Trad. L. Callebat.
[576] Callebat, Fleury 1995, p. 40.

Arefacere

Le verbe *arefacio* « sécher, dessécher » est attesté dès Caton. Il est usité dans des contextes techniques. Le Naturaliste (Plin. *Nat*. 31, 82) s'en sert dans *in furno arefieri* « faire sécher au four ». Chez Vitruve, ce verbe est utilisé trois fois. Outre 2, 1, 3, on le trouve en :
— 2, 3, 4 : *lateres sunt ducti et arefacti* « les briques (crues), qui ont été moulées et séchées » ;
— 7, 10, 4 : *faex uini arefacta et cocta in fornace* « lie de vin desséchée et cuite dans un four » pour faire du noir [577].

Le syntagme *luteae glaebae* « boules de terre » a un équivalent en grec, mais il est attesté seulement chez Jean Chrysostome βῶλος πήλινη [578]. Vitruve se sert du syntagme *luteas glaebas arefacientes* pour dépeindre une technique archaïque de brique crue : les boules de terre façonnée [579].

- ***Les boules de terre façonnée : des briques crues primitives***

Cette méthode est un adobe primitif. Ce sont des mottes de gros diamètre permettant d'élever des murs épais. Le façonnage d'une glèbe se fait à la main. Une boule possède une texture limoneuse à argileuse et a un pourcentage en eau de 15 à 25 %. La pâte est ferme. Elle dispose de bourrelets débordants, qui la font s'emboîter dans une assise supérieure ou chevaucher une assise inférieure.

Un mur constitué de ces mottes a plusieurs assises. Lors de l'érection, chacune doit sécher avant que la suivante puisse être dressée : cette spécificité rappelle assurément le syntagme verbal *luteas glaebas arefacere*. Les parois ainsi édifiées sont peu porteuses : des surépaisseurs sont prévues pour soutenir la charge des lourdes toitures de rondins et de paille recouvertes d'argile pétrie. On retrouve cette particularité dans le syntagme *materia eos iugumentantes* « relier un mur avec un chaînage de bois ».

Les fermes lobis du Nord Ghana et les maisons-forteresses des Sambas du Nord Bénin illustrent cette technique. De plus, en Afrique noire, on trouve une architecture en terre façonnée au Sahel et dans les régions équatoriales, malgré la violence de la saison humide.

Les avantages ce procédé dans l'édification sont les suivants :
— un façonnage direct de la terre plastique à la main, confirmant l'historicité du récit de Vitruve ;

---

[577] Callebat, Fleury 1995, p. 54.
[578] J. Chrysost. *In epistulam ad Romanos* (homiliae 1-32), Vol 60, pg 537 ; *De perfecta caritate* [Sp.], Vol 56, pg 286.

— un grand registre de formes architecturales ;
— une mobilisation de main-d'œuvre réduite ;
— une économie des constructions ;
— un emploi d'outils élémentaires.

Malgré cela, il n'y a souvent pas de dégraissant dans l'argile ou le limon : le séchage et le contrôle des fissurations de retrait posent problème. Enfin, la motte de terre possède de faibles performances mécaniques.

3.2.3. Les premiers *luta* « préhistoriques » d'après Vitruve (2, 1, 2-5).

Dans le deuxième chapitre du livre II, Vitruve, peut-être en reprenant des éléments du philosophe présocratique Anaxagore de Clasimènes et de Cicéron, fait l'éloge du génie inventif de l'homme, qui sait se servir de son intelligence et de ses mains, plus précisément des articulations digitales pour se séparer de l'animalité (Cf. Cic. *Off*. 2, 12-15; *Nat*. *deor*. 2, 150-152).

Ainsi en 2, 1, 2-5, parmi les procédés permettant de se fabriquer des abris, le torchis est copié sur l'imitation des nids d'hirondelles. Selon Vitruve, les hommes purent se faire des refuges avec de la boue et des branchages (*de luto et uirgulis facere loca quae subirent*). Puis ils améliorèrent leurs maîtrises : ils dressèrent des pieux fourchus, y entrelacèrent des branchages et recouvrirent de torchis ces parois (*luto parietes texerunt*). D'autres construisirent des murs en adobe (*luteas glaebas*) avec des chaînages de bois. Pour amender la qualité des couvertures, ils fabriquèrent des toits à deux pans et ils appliquèrent de la bauge (*luto inducto*) sur ces versants. L'architecte rapporte qu'à son époque, en Colchide, les habitants réalisent des logis, dont les trous, dus au bois mal dégrossi, sont bouchés par des copeaux et du torchis (*interualla schidiis et luto obstruunt*). Ils font des toitures à quatre pentes qu'ils recouvrent de feuillages et de bauge (*medio metas quas fronde et luto tegentes*). Dans des pays assez différents, Vitruve trouve des méthodes similaires : à Marseille, on a de vieilles maisons avec un toit en torchis (*terra subacta cum palleis*) et à Athènes, sur l'Aréopage, il y a une toiture faite de ce même matériau (*luto tectum*).

Ce passage est remarquable à plus d'un titre. D'abord, c'est le seul texte antique qui propose une réflexion sur les origines de l'architecture, « réflexion organiquement liée à un schéma de l'évolution de l'humanité. » [580] C'est la nature de l'homme d'inventer des dispositifs, qui lui permettront de vivre mieux. Par l'imitation des animaux et en comparant ses idées avec ses semblables, il développe son intelligence. Ensuite, Vitruve décrit les

[579] Houben, Guillaud 1995, pp. 115, 174-175.
[580] *Vitruve II*, *Introduction*, pp. XXXI-XXXIV.

prototypes archéologiques de ce qu'ont pu être les habitations en torchis. Ainsi, les huttes présentées dans le paragraphe trois, particulièrement celles dont l'ossature est faite de pieux enfoncés dans le sol, correspondent remarquablement à ce que font suggérer les « fonds de cabane » du VIII[e] s. av. J.-C. retrouvés à Rome dans l'angle nord-ouest du Palatin lors des fouilles de 1948-49. La description des bâtiments de Marseille indique qu'ils sont faits d'un toit en *terra cum paleis subacta* « terre pétrie avec de la paille » qui s'applique au torchis et qui est synonyme de *lutum paleatum*. À Martigues, un établissement en chaume ou en terre a été découvert [581]. L'architecte veut montrer que le *lutum* est l'un des matériaux les plus utilisés dans les premières constructions humaines : les emplois de ce matériau chez les populations barbares et dans les lieux civilisés (Rome et Athènes) sont encore d'actualité à son époque. P. Gros dans son commentaire écrit : « ce n'est pas un hasard si sept occurrences de ce mot (sur douze pour l'ensemble du traité) sont contenues dans le livre II, six d'entre elles se concentrant du reste dans ce seul chapitre sur les *initia architecturae*. » [582]

Syntagmes de *lutum* dans Vitr. 2, 1, 2-5

Dans ce passage, on peut inventorier les lexies complexes où se trouve *lutum*. D'abord, les syntagmes verbaux où *lutum* est un ablatif de matière ou de moyen.
- *de luto et uirgulis facere loca*: « faire des refuges en torchis et branchage » (2, 1, 2) ;
- *luto parietes tegere*: « couvrir des murs de torchis » (2, 1, 3) et *metas fronde et luto tegentes* « couvrir de feuillages et de torchis des toits à quatre pentes » (2, 1, 4) ;
- *interualla schidiis et luto obstruere*: « boucher des espaces au moyen de copeaux et de torchis » (2, 1, 4) ;
- *luto tectum*: « toit fait en torchis » (2, 1, 5).

On retrouve la préposition *de* suivie d'un ablatif de matière en tant que complément du verbe de sens général *facere* « faire » chez Caton (*Agr*. 92). Toutefois, Vitruve emploie *lutum* sans préposition avec un ablatif instrumental et aussi de matière pour des verbes désignant une action technique précise *tegere* « couvrir, appliquer » et *obstruere* « boucher ». *Obstruere luto* « boucher avec du torchis » est synonyme de *luto oblinere* « boucher avec du torchis », que l'on a chez Caton (*Agr*. 38, 4). Quant à *luto tectum*, Vitruve fait l'ellipse d'un verbe comme *factum est* ou *tectum est*, puisqu'il a l'habitude des raccourcis lexicaux [583].

La préposition *de*, qui souligne la matière dont est composé un objet, est caractéristique d'une langue technique attestée par Caton. L'ablatif instrumental se révèle

[581] J. Chausserie-Laprée, *Le quartier de l'île à Martigues, 6 années de recherches archéologiques*, Martigues, 1984, pp. 56 et suivantes ; *Vitruve II*, p. 71, n. 3.
[582] *Vitruve II*, p. 73, n. 4.

d'un usage plus classique. Enfin le syntagme verbal *lutum inducere* « appliquer de la bauge » se différencie grammaticalement des autres, car *lutum* est un complément d'objet direct, mais *inducere* dans ce contexte est synonyme de *tegere*. *Tegere* a le sens de « couvrir » en général comme en 10, 1, 5 pour désigner le vêtement, et en 4, 2, 1 pour la couverture des toits. Le complément de moyen permet de préciser le contexte : ainsi en 10, 13, 5-6, *tegere turres coriis crudis* signifie « couvrir les tours de cuirs verts » [584]. La diversité des syntagmes où *lutum* est usité reflète la multitude des techniques du torchis.

3.2.4. Le *lutum* « torchis » contemporain de Vitruve (7, 3, 11)

En 7, 3, 11, Vitruve expose les inconvénients à poser des enduits de chaux et de sable sur les colombages : « En effet, les montants et les traverses de bois, lorsqu'on les recouvre de torchis (*luto cum linuntur*), prennent nécessairement l'humidité et, en séchant, ils se rétractent et provoquent des fissures dans les enduits. » Il propose la solution suivante : « Lorsque le mur tout entier aura été barbouillé de torchis (*Cum paries totus luto inquinatus fuerit*), on fixera sur cette ossature, avec des clous à tête plate, des cannes en file continue ; puis on étendra une seconde couche de torchis (*deinde iterum luto inducto*), et, si les cannes précédentes ont été fixées au moyen de roseaux horizontaux, une seconde série sera fixée au moyen de roseaux verticaux ; puis on étendra le mortier de sable et celui de marbre et l'ensemble de l'enduit (*harenatum et marmor et omne tectorium inducatur*), ainsi qu'il a été dit plus haut. De la sorte, la double file continue des cannes fixées aux murs par les roseaux qui les croisent ne permettra que se produisent ni lézardes, ni aucune fissure. » [585]

Pour la construction en colombages, les murs sont faits de poutres et d'un remplissage d'argile ou en *opus incertum* [586]. Une structure portante, le plus souvent en bois (colombage) est remplie de torchis, lequel garnit un lattis de baguettes de bois entrelacées ou clouées, et/ou un support de vannerie ou de paille tressée. Sous l'appellation archéologique d'*opus craticium*, la technique du colombage, parce qu'elle emploie des matières courantes et peu chères, a suscité les foudres de Vitruve (2, 8, 20), qui déplorait les risques d'incendie et les problèmes de conservation des enduits. De plus, les murs faits avec ce procédé sont assez épais, et mesurent de 10 à 15 cm.

Pourtant, l'habitat de torchis, bien conçu, abrité des remontées capillaires et des intempéries, des rongeurs ou des termites, peut être d'une durabilité étonnante, sans compter sa bonne résistance aux séismes. Le patrimoine bâti rural des pays européens

---

[583] Cf. Callebat 1982, p. 717.
[584] Cf. 10, 14, 3: couvrir de cuirs doublés d'algues ou de paille trempée dans du vinaigre.
[585] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[586] Adam 1995, p. 61 et pp. 132-135.

témoigne de constructions âgées de plus de cent ans : une partie du Château de Versailles est construite en torchis [587].

Syntagmes de *lutum* dans Vitr. 7, 3, 11

Vitruve emploie pour l'enduit de torchis trois syntagmes verbaux:

- *arrectaria et transuerariis luto linere*: « enduire de torchis les montants et les traverses ».
- *parietem luto inquinare*: « souiller un mur de torchis ».
- *lutum inducere*: « appliquer du torchis ».

On retrouve avec *linere* et *inquinare* le substantif *lutum* usité comme ablatif instrumental, alors que *inducere* se sert de *lutum* comme complément d'objet direct. *Linere* signifie « enduire, couvrir, oindre » et son composé *oblinere* a un sens spécialisé chez Vitruve pour « colmater, boucher » en 8, 6, 9 [588]. Le syntagme *luto inquinare* est assez étrange, puisqu'il s'agit littéralement de « souiller de torchis un mur ». *Inquinare* semble ici avoir un sens technique et est synonyme de *linere* et d'*inducere* « étendre ». Il veut dire au sens propre « recouvrir d'immondices, souiller » [589]. Le sens figuré d'*inquinare* peut s'expliquer avec ce passage de Plaute (*Mil*. 325) :
« A d'autres, Palestrion ; tu me prends pour ton jouet (*Abi, ludis me, Palaestrio*). - En ce cas, je dois avoir les mains sales. - Pourquoi ça ? - Parce que je joue avec une ordure (**Pa**. *Tum mihi sunt manus ínquinatae*. **Sc**. *Quidum*? **Pa**. *Quia ludo luto*). » [590] Les « mains sales » *manus inquinatae* et la « boue » *lutum* sont dans le même vers. Vitruve, dans le deuxième chapitre du livre II, rappelle que la main est le premier instrument de l'homme et il est évident que ces premiers artisans, qui utilisèrent la bauge, se sont servis de leurs mains, comme truelle, avec pour conséquence logique de se salir. En outre, lors de la fabrication du torchis, dans certaines régions, on substitue à l'eau de l'urine de cheval pour en améliorer la durabilité [591]. Ainsi, l'usage de la main et de l'urine peut expliquer ce sens figuré de « souiller » un mur de bauge par une métonymie de l'effet pour la cause. De plus, alors que la commutation de *lutum* avec *calx* ou *harenatum* est possible pour *linere* et *inducere* (*calce linere*; *harenatum inducere*), il semble difficile d'associer *calx*, *harenatum* ou *testa* avec *inquinare*: **calce inquinare*. Cela est d'autant plus improbable que la chaux était le matériau qu'on utilisait à Pompéi

[587] Houben, Guillaud 1995, pp. 186-187.
[588] En revanche, *inlinere* a le sens d'« enduire » avec de la chaux en 8, 6, 8 des tuyaux de poterie.
[589] Cf. Mignot 1969, p. 31; ce sens se trouve chez Cic. *Pis*. 72, Sen. *Epist*. 107, 2, Flor. *Epitom*. 1, 34. De même, *linere* possède aussi le sens de « souiller » (Ov. *Fast*. 3, 760; Mart. 9, 22, 13; sens figuré: Hor. *Epist*. 2, 1, 237.
[590] Trad. A. Ernout.
[591] Houben, Guillaud 1995, p. 187.

pour effacer les graffitis. *Luto inquinare* dans ce texte de Vitruve est donc une trace d'un jargon technique d'artisan.

4. Conclusion

Avec *lutum*, Vitruve dépeint l'une des plus anciennes techniques de construction très largement pratiquée en Europe, dans l'Orient antique, et en Grèce, où elle est attestée depuis l'époque néolithique. Dans ce pays, l'adobe était utilisé aussi bien pour édifier les bâtiments publics politiques ou religieux ou encore pour les fortifications.

Dans son traité, notre architecte définit le *lutum* à la fois comme une terre naturelle, qui contient des impuretés, et donc impropre à faire de l'adobe ou de la bauge, et aussi comme une matière première à savoir la terre argileuse ou latéritique humide. En 2, 3, 1, *lutum*, accompagné d'un adjectif minéral en *–osus* désigne une argile ou une terre mélangée d'eau, inappropriée à faire de l'adobe. Vitruve décrit implicitement avec *lutum calculosum*, *lutum sabulonosum*, *lutum harenosum*, les terres alluvionnaires des marécages ou des fleuves. Celles-ci sont imbibées d'eau et méritent bien l'appellation de *lutum* « boue ».

Pour utiliser le *lutum* en architecture, il faut alors procéder à un long travail d'extraction, de séchage, de stockage, de criblage, de séparation de chacun des éléments (argile, sable, eau) pour les recombiner afin d'en faire un *lutum* « torchis » ou « pisé », une boue artificielle qui durcira avec le temps. Pour notre architecte, la technique de la bauge est dénommée par le seul substantif *lutum*, alors que dans la langue « spécialisée », elle est appelée *lutum paleatum* (cf. Colum. 12, 46, 4) ou *lutum aceratum*. La distinction entre une terre et le *lutum*, un matériau sec et un autre détrempé d'eau, n'est pas explicitement faite par Vitruve. En effet, le *lutum*, dénotant à la fois la matière première et le torchis qui est le produit fini, est un mot très courant dans la langue latine : Vitruve aurait pu inventer ou trouver un autre lexème pour désigner la bauge, mais il reprend une tradition technique existante qu'on retrouve déjà chez Caton. La « fiche technique » du troisième chapitre du livre II concernant les briques crues est confuse, de telle sorte qu'il est difficile de faire la distinction entre ce qui est la « boue », la « terre-matière première » ou le « torchis ». Il faut une description précise des opérations d'extraction, de nettoyage, et de fabrication de l'adobe pour lier le trinôme *lutum* « boue »/terre/*lutum* « bauge », au retrait et à l'ajout d'eau. L'usage métonymique pour désigner un terme de métier est semble-t-il une caractéristique des langues techniques.

Toutefois, malgré les lacunes relevées, Vitruve écrit une notice spécialisée qui est plus professionnelle que les recettes collectées par Caton. Cela se voit dans le champ notionnel du torchis et de l'adobe. Il réunit en *lutum* toute la chaîne opératoire de ces matériaux depuis l'extraction jusqu'au produit fini. Il se sert d'une série lexicalisée par l'association d'un substantif (connotation courante) et d'adjectifs en *-osus* (connotation savante), à la fois

compréhensible pour le plus grand nombre et pour l'homme de l'art. De cette façon, les sèmes fondamentaux de *lutum* « terre » et « eau » acquièrent des adjectifs minéraux en *-osus* des sèmes afférents contextuels, « géologiques ».

Pourtant, Vitruve a une exigence « moderne » pour le torchis : il revendique un matériau pur afin que les proportions soient parfaites et que le liant durcissant avec le temps ait des mérites durables. Il a ces mêmes impératifs pour les mortiers de chaux : il exige que le granulat soit propre, lui qui a vécu à l'époque césarienne et augustéenne, alors qu'aux mêmes époques, ils étaient encore terreux (cendre volcanique) et friables. En général, on peut considérer que l'obligation qualitative vitruvienne est une réaction aux pratiques édilitaires courantes, qui amènent à se servir du tout venant pour des raisons de coût et de rapidité. En période d'urgence, si l'adobe devait être fabriqué, pour élever en hâte des remparts autour d'une ville, par exemple, on ajoutait à l'argile toutes sortes de menus objets : ainsi, ce fut le cas dans le rempart du Démétrias (Pagasai), où l'on y trouva des monnaies, des poids, des débris de vases et de grands segments de figurines en terre cuite [592].

Pour l'adjectif *luteus* « d'argile, en torchis », usité seulement en 2, 1, 3, on note l'utilisation de la métonymie de l'objet pour la matière dont il est fait. *Luteus*, adjectif formé sur la base nominale de *lutum*, a les mêmes significations que ce dernier, même si, diachroniquement, les sens figurés sont attestés avant les sens propres. L'adjectif *luteus* est épithète dans *lutea glaeba* « motte de bauge, boule de terre façonnée ». Cette expression désignative à deux termes correspond à des méthodes primitives de brique crue en Afrique. On considère la description du premier chapitre du livre II, où se situe *lutea glaeba,* comme un « essai d'ethnologie comparée », fondé sur l'observation des techniques mises en œuvre à l'époque de Vitruve par des peuples qui n'étaient pas en contact avec la civilisation grecque et qui avaient donc conservé des architectures « archaïques », c'est-à-dire sans utiliser la pierre [593].

[592] Orlandos 1966, pp. 56-57.
[593] *Vitruve II*, p. 68, n. 1 ; cf. Romano 1987, p. 115 sq.

13. Marmor – marmoreus – marmorarius

1. Etymologie de *marmor*, de *marmoreus* et de *marmorarius*

Marmor, *-oris*, n. « marbre, objet de marbre » et tout objet autre que la dureté ou la blancheur du marbre, en particulier la surface blanche d'écume de mer (poésie). *Marmor* apparaît avec Ennius et il est emprunté au grec μάρμορος. Il est devenu neutre parce que les noms de matériaux et de métaux sont neutres en latin [594]. Les dérivés sont *marmoreus* « de marbre, en marbre », *marmorosus* « de marbre, qui est de la nature du marbre », *marmoro*, *as*, *-are* « revêtir, incruster de marbre », *marmoratio* « action de faire en marbre », *marmusculum* « petit marbre ». *Marmorarius* est adjectif « de marbre » et substantif « marbrier » ; il est usité d'abord par Vitruve. *Marmorarius* est peut-être formé sur *lapidarius*, adjectif qu'on retrouve chez Plaute. *Tectorium marmoratum* ou *marmoratum* (*-i*, -n) « enduit fait de poudre de marbre ».

2. Usage et sens de *marmor* et de *marmoreus* avant Vitruve

La première mention de *marmor* se trouve chez Ennius (*Ann*. 384) et la dernière chez Isidore de Séville (*Orig*. 16, 5, 1-2) [595]. *Marmor* a sept acceptions : « toute pierre qui prend de l'éclat quand elle est polie (marbre, porphyre, etc.) » (Varron, Cicéron, Horace, Ovide, Pline le Naturaliste, Sénèque, Suétone, Lampride, textes juridiques, Isidore de Séville), « marbre de sculpture » (Varron, Cicéron, Virgile, Ovide, Martial), « poudre de marbre pour abonnir le vin » (Pline le Naturaliste, Columelle) ; métonymiquement : « objet de marbre, mobilier de marbre » (Cicéron, juristes, Pline le Naturaliste), « statue en marbre » (Ovide, Pline l'Ancien, Martial, Prudence), « tombeau » (Horace, Ovide, Properce, Martial, Sénèque) ; métaphoriquement : « mer » (Ennius, Cicéron, Lucrèce, Virgile, Avienus).
De nombreuses occurrences de *marmor* sont usitées dans un contexte architectural :
— carrières et extractions de marbre : Ov. *Ars* 3, 125 ; Manil. 2, 779 ; Plin. *Nat*. 3, 30 ; 12, 2 ; 36, 2 ; 36, 125 ; Iavol. *Dig*. 23, 5, 18, pr. ; Ulp. *Dig*. 24, 3, 7, 13, etc.
— négociant en marbre : Scaev. *Dig*. 20, 4, 21, 1 ; *C. I. L.* XI, 3199 ; III, 25, etc.
— édifices de marbre (temples, basiliques, atrium) : Verg. *Aen*. 4, 457 ; 6, 69 ; *Georg*. 3, 13 ; Liv. 41, 20, 6 ; Ov. *Ars* 1, 70 ; 1, 81 ; *Met*. 14, 260 ; *Pont*. 1, 8, 35 ; 3, 3, 25 ; 4, 8, 32 ; Prop. 2, 31, 9 ; Tac. *Dial*. 20, 7 ; *C. I. L.* XI, 64, 81, 1 ; Cod. *Iust*. 8, 11, 21, pr. ;

[594] Ernout, Meillet 1985, *s. v.* marmor, p. 388.

— plaque de marbre, revêtement de marbre : Sen. *Epist*. 86, 6 ; 115, 9 ; Plin. *Nat*. 36, 47-48 ; Plin. *Epist*. 5, 6, 22 ; 9, 39, 3 ; Macr. *Sat*. 7, 16, 24 ; *C. I. L.* XIII, 1708 ; etc.
— parois de marbre : Sen. *Epist*. 114, 9 ; Plin. *Nat*. 12, 9 ; 33, 122 ; 35, 2 ; 35, 26 ; Plin. *Epist*. 5, 6, 38 ; Stat. *Silv*. 1, 3, 36 ; 2, 2, 88 ; Suet. *Aug*. 72, 1 ; Amm. 29, 2, 28 ; Prud. *Perist*. 3, 191 ;
— pavements de marbre : Ov. *Medic*. 8 ; *Met*. 8, 702 ; Fest. p. 242 ; Sen. *Epist*. 16, 8 ; Petron. 135, 8, v. 2 ; Mart. 12, 60, 2 ; Iuv. 6, 430 ; *C. I. L.* III, 7107 ; VI, 30985 ; Cod. *Iust*. 1, 8, 1 ;
— poudre de marbre (*marmor commitum*) : Cet. Fav. 22.

Marmoreus est usité pour la première occurrence par Varron (*Rust*. 3, 2, 8) et pour la dernière fois par Sidoine Apollinaire (*Carm*. 5, 5, 11) [596]. *Marmoreus* a six acceptions : « fait de marbre » (Varrron, Cicéron, Ovide, Pline le Naturaliste, Martial, Juvénal, Suétone, Ausone), « contenant du marbre » (Lucain, Pline l'Ancien, Sénèque, les juristes) ; métaphoriquement : « blanc comme le marbre » (Lucilius, Virgile, Ovide, Pétrone), « plan comme le marbre » (Lucrèce, Virgile), « dur, plan, brillant comme le marbre pour la neige, le brouillard... » (Ovide, Ausone, Sidoine Apollinaire), « dur comme la pierre » (Ovide).

Comme *marmor*, *marmoreus* est employé dans des contextes architecturaux :
— temple de marbre (*marmoreum theatrum*) : Ov. *Ars* 2, 7, 3 ; Sil. 8, 230 ;
— portique de marbre (*marmoreum porticum*) : *C. I. L.* XIV 2295 ;
— villa de marbre (*marmorea uilla*) : Iuv. 4, 112 ;
— murs revêtus de marbre (*marmorei parietes*) : Plin. *Nat*. 36, 50 ;
— pavements de marbre (*pauimenta marmorea*) : Cic. *Leg*. 2, 2 ;
— colonnes en marbre (*columnae marmoreae*) : Cic. *Dom*. 62.

Marmorarius est usité par Vitruve et la dernière occurrence se trouve chez Firmicius Maternus (*Math*. 8, 19, 11 ; 8, 24, 8). Comme adjectif, *marmorarius* possède deux acceptions : « de marbre » (Pline l'Ancien, Irénée), « (négociant) en marbre » (*C. I. L.* X, 1549). Comme substantif, il désigne un artisan et un spécialiste du marbre (Valère-Maxime, Sénèque, Cassiodore, Tertullien, Code de Théodose, Firmius Maternus).

[595] *T. L. L.*, VIII, col. 407-411, l. 32-82.
[596] *T. L. L.* VIII, col. 412-413, l. 48-76.

3. *Marmor*, *marmoreus* et *marmorarius* chez Vitruve

Marmor « marbre » est usité vingt et une fois : 1, 2, 8 / 2, 8, 3 / 2, 8, 10 / 4, 3, 1 / 4, 4, 4 / 5, 5, 7 / 5, 6, 7 / 7, 1, 4 / 7, 3, 3 (bis) / 7, 3, 6 (bis) / 7, 3, 7 / 7, 3, 8 / 7, 3, 9 / 7, 3, 11 / 7, 5, 8 / 7, 6, 1 / 7, 10, 2 / 10, 2, 15 (bis) [597].

— *marmor* « poudre de marbre » : 7, 3, 3 / 7, 1, 4 / 7, 3, 6 / 7, 3, 9 / 7, 3, 11 / 7, 10, 2 ;

— *Proconnensium marmor* « marbre du Proconnèse » : 2, 8, 10 ;

— *marmor excretum* « poudre tamisée de marbre » : 7, 3, 3 ;

— *marmor graneum* « grain de marbre, marbre à gros grains » : 7, 3, 6 ;

— *minutum marmor* « marbre broyé » : 7, 3, 8.

Marmoreus « de marbre » est employé dix-sept fois : 1, 1, 5 / 1, 6, 4 (bis) / 1, 6, 6 / 2, 8, 16 / 3, 3, 5 / 4, 1, 10 / 4, 2, 2-3 / 4, 4, 1 / 5, 1, 1 / 5, 3, 3 / 7, *pr.*, 16-17 / 7, 5, 1 / 7, 6, 1 / 7, 9, 3.

— *statuae marmoreae* « statues de marbre » : 1, 1, 5 ;

— *turris marmorea* « tour des vents en marbre à Athènes » : 1, 6, 4 ;

— *marmoreum amussium* « plaque de marbre » : 1, 6, 6 ;

— *saxum marmoreum* « pierre de marbre » : 2, 8, 16 ;

— *marmorea epistylia* « architraves de marbre » : 3, 3, 5 / 5, 1, 1 ;

— *ars marmorea* « travail du marbre » : 4, 1, 10 ;

— *marmoreae aedificationes* « constructions (temples) en marbre » : 4, 2, 2 ;

— *opera marmorea* « constructions (temples) en marbre » : 4, 2, 3 / 7, *pr.*, 16 ;

— *plutei marmorei* « chancels, balustrades de marbre » : 4, 4, 1 ;

— *marmoreae copiae* « matériaux de marbre » : 5, 3, 3 ;

— *templum marmoreum* « temple (de Diane) en marbre » : 7, *pr.*, 17 ;

— *crustae marmoreae* « plaques de marbre, revêtement de marbre » : 7, 5, 1 ;

— *caementa marmorea* « éclats de marbre » : 7, 6, 1 ;

— *signa marmorea nuda* « statues nues en marbre » : 7, 9, 3.

Marmorarius « marbrier » : 7, 6, 1 [598].

3.1. *Marmor* et sa géologie (2, 8, 10; 7, 6, 1; 10, 2, 12 et 15)

En 1, 2, 8, notre auteur cite la matière *marmor* parmi d'autres matériaux de construction : « il n'y a pas en tous lieux (*non omnibus locis*) abondance (*copia est*) de sable de

[597] Callebat, Fleury 1995, p. 34.
[598] Callebat, Fleury 1995, p. 59.

carrière (*harenae fossiciae*), de moellons (*nec caementorum*), de sapin, de planches de sapin (*abietis nec sappinorum*) ni de marbre (*nec marmoris*), mais un matériau dans un lieu, un autre ailleurs et leur transport est difficile ou coûteux (*sed aliud alio loco nascitur, quorum comportationes difficiles sunt et sumptuosae*) ». [599] Cette citation s'applique à merveille au marbre qui est le matériau grec de prestige par excellence. Il constitue la pierre préférée des architectes pour les grands édifices partout où les conditions locales ou les possibilités financières l'ont permis [600]. Évoquant les grands programmes grecs d'urbanisme, Vitruve énumère des marbres blancs ou bleutés qui furent utilisés d'abord par les bâtisseurs d'Asie Mineure : Ephèse, Proconnèse, Paros, Thasos et Héraclée latmide. On précisera que ce n'est qu'au IV[e] siècle *a. C.*, qu'on commence à recourir aux marbres de couleur dans l'architecture grecque.

3.1.1. *Farina parata* « poudre native de marbre » (7, 6, 1)

En 7, 6, 1, Vitruve écrit un petit paragraphe sur l'utilisation de calcite broyée dans les enduits. Il décrit les diverses apparences que prend la poudre de marbre. Parmi celles-ci, il y a une forme meuble de calcite : « En d'autres régions, par exemple entre Magnésie et Ephèse, il y a des endroits où l'on extrait une poudre toute prête, qu'il n'est besoin ni de broyer ni de passer au crible : elle est aussi fine que celle qu'on a pilée et tamisée à la main (*Aliis locis, ut inter Magnesiae et Ephesi fines, sunt loca unde foditur <farina> parata, quam nec molere nec cernere opus est, sed sic est subtilis quemadmodum si qua est manu contusa et subcreta.*). » [601] A cause de la proximité de la ville grecque d'Ephèse, la cité de Magnésie mentionnée dans le texte est celle de Magnésie du Méandre, sise au nord d'Ephèse. L'Asie Mineure est riche en marbre et la région d'Ephèse dispose de carrières de Belevi au nord de l'agglomération [602]. On peut supposer que cette poudre de calcite soit un marbre altéré [603] ou plus simplement mal induré. Ainsi, le marbre de l'île de Naxos est blanc, a de très gros cristaux et il s'effrite aux intempéries. De même, le calcaire cristallisé blanc gris de Délos possède une cristallisation grossière et il est peu homogène. Enfin, une variété de marbre de Samos, dans le massif de Kerki, est blanche, à veines noires et fissures, et elle se désagrège [604]. Ces types de calcaires métamorphiques peuvent donc fournir une poudre de calcite que l'on trouve à l'état naturel et qui est directement utilisable pour faire des enduits de marbre (*marmoratum*) (cf. 7, 3, 3; 7, 3, 6; 7, 3, 8-9; 7, 3, 11; 7, 10, 2).

---

[599] Trad. P. Fleury.
[600] Cf. Martin 1965, pp. 135-144.
[601] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[602] Monna, Pensabene, 1977, pp. 127-137 ; Waelkens 1992, pp. 22-29.
[603] *Vitruve VII*, pp. 151-152, n. 6.

3.1.2. Calcaires sparitiques consolidés (2, 8, 10 ; 7, 6, 1 ; 10, 2, 15)

Après cette poudre de calcite, la description vitruvienne des « marbres » énumère les formes consolidées de cristaux de carbonate de calcium.

▪ ***Blocs de calcite à « grains translucides comme le sel » (7, 6, 1)***

Toujours dans le même extrait (7, 6, 1), notre architecte parle d'une autre source de calcite broyée pour les enduits : « Il n'y a pas une seule sorte de marbre, la même dans toutes les régions qui le produisent : en certains endroits, il se présente sous forme de blocs qui ont des grains translucides comme ceux du sel ; pilés ou broyés, ils se prêtent à l'utilisation dans les travaux de revêtement (*Marmor non eodem genere omnibus regionibus procreatur, sed quibusdam locis glaebae ut salis micas perlucidas habentes nascuntur, quae contusae et molitae praestant operibus utilitatem*). » [605] Si *gleba* peut être synonyme de *lapis* ou de *moles* « bloc de pierre trop grand pour être transporté par un homme », le terme peut aussi désigner des tailles plus petites, comme des mottes de terre, ou des agrégats de chaux (cf. *Argilla*, *Calx*) [606]. Vitruve ne précise pas l'origine de ce marbre ou de ce bloc de calcite, qui, par ses gros cristaux translucides, se différencient d'autres marbres veinés ou à granulation très fine. Le marbre de Naxos, plus généralement celui des Cyclades, certains d'Asie Mineure, et celui encore de Carrare, brillant (cf. Plin. *Nat*. 36, 14), correspondent à la description vitruvienne.

Pourtant pour A. Decri, la peinture vitruvienne évoque l'idée que ce matériau peut être toujours du carbonate de calcium, plus précisément de la calcite sparitique. Ainsi, ce que décrit Vitruve, ne concorde pas avec une étendue de roche, constituée en banc, comme des gisements de marbre, mais plutôt à de la calcite qui se dépose chimiquement et se cristallise en grains visibles dans les anfractuosités des roches [607]. Il se forme alors de la sparite qui est un cristal de carbonate de calcium dont la taille dépasse 63 μm (0,063 mm). A. Decri écrit que la poudre de marbre est plus rare dans les enduits de Pompéi, que la calcite broyée.

---

[604] Martin 1965, pp. 137-138.
[605] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[606] Ginouvès, Martin 1985, p. 56.
[607] Decri 2003.

- ***La découverte des carrières de marbre blanc d'Ephèse pour l'Artemision (10, 2, 12 et 15)***

En 10, 2, 11-12, Vitruve décrit les ingénieux procédés des architectes Chersiphron et Métagénès, pour transporter les colonnes et les monolithes en marbre destinés à la construction du temple d'Artémis, une des sept merveilles du monde, édifiée vers 560 *a. C.* En 10, 2, 15, pour distraire le lecteur, peut-être lassé d'une longue énumération des machines tractoires, Vitruve écrit une petite digression sur la manière dont les carrières de marbre d'Ephèse furent découvertes par hasard : « Je ferai une très courte digression pour rapporter, à propos de ces carrières, la manière dont elles furent découvertes. Il y avait un berger, Pixodare (*Pixodarus fuerat pastor*), qui vivait dans cette région. Or, tandis que le peuple d'Ephèse projetait de construire en marbre le temple de Diane et qu'il prenait une décision pour faire venir le marbre de Paros, de Proconnèse, d'Héraclée ou de Thasos (*Cum autem ciues Ephesiorum cogitarent fanum Dianae ex marmore facere decernerentque a Paro, Proconnenso, Heraclea, Thaso uti marmor peteretur*), Pixodare avait conduit ses moutons et faisait paître son troupeau en cet endroit et là, alors que deux béliers (*duo arietes*) qui se chargeaient étaient passés à côté l'un de l'autre, l'un d'eux, emporté par l'élan, alla heurter de ses cornes une roche dont se détacha un fragment d'une blancheur éblouissante (*et impetu facto unus cornibus percussit saxum ex quo crusta candidissimo colore fuerat deiecta*). Alors, Pixodare laissa, dit-on, ses moutons dans les montagnes et, comme l'on s'occupait précisément de la question du marbre, il courut porter ce fragment à Ephèse. On lui décerna sur-le-champ des honneurs et on changea son nom, remplaçant le nom de Pixodare par celui d'Evangelus (« le bon messager »). De nos jours, un magistrat se rend tous les mois à cet endroit pour y faire un sacrifice ; s'il ne le fait pas, il est passible d'une peine. » [608]

Le récit pittoresque de cette découverte apporte au chapitre une caution historique et une rupture distrayante dans une description technique rébarbative. Il anoblit aussi une notice didactique [609]. Un tumulus en face de la carrière près de Belevi, qui, à partir du VI^e^ *a. C.*, pendant tout un millénaire semble avoir été le centre d'un culte héroïque, peut de toute évidence être identifié comme le tombeau de Pixodare [610].

Les carrières se situent à Belevi à 12 km au nord-est d'Ephèse. Vitruve (10, 2, 12) écrit à propos de la distance séparant les carrières du temple : « Il eût été impossible de réussir [pour Métagénès à transporter les architraves de marbre], si tout d'abord la distance n'avait

---

[608] Trad. L. Callebat.
[609] *Vitruve X*, p. 112, n. 1.
[610] S. Kasper, « Der Tumulus von Belevi. Grabungsbericht », *Jahreshefte des Osterreichischen Archäologischen Instituts*, 51, 1976-1977, pp. 127-180 et E. Akurgal (ed.), *The Proceedings of the Xth International Congress of Classical Archaeology, Ankara-Izmir 23-30/IX, 1973*, volume 1, Ankara, 1978, pp. 387-398.

pas été faible — il n'y a pas plus de huit mille pas depuis les carrières jusqu'au temple (*non enim plus sunt ab lapidicinis ad fanum milia passuum octo*) — d'autre part, le terrain n'est pas accidenté, mais constamment plat. » [611] Les huit mille pas (11,84 km) correspondent approximativement aux 12 km des carrières de Belevi. Celles-ci occupent une vaste aire de 48 km^2 (8 x 6 km) délimitée à l'est par le lac de Belevi et à l'ouest par Tyrrha, aujourd'hui Tire. Les parties nord et ouest sont circonscrites actuellement par le canal du fleuve Kücük Menderes (Méandre). C'est probablement par ce cours d'eau qu'on pouvait transporter le marbre vers la mer ou aux environs d'Ephèse. L'extraction se faisait souvent à ciel ouvert. Dans certains points d'exploitation, si la roche a été formée dans un milieu réducteur (anaérobie), elle peut contenir des composés organiques et sulfureux, et elle émet, au moment de l'extraction, une odeur bitumineuse ou fétide, caractéristique qui appartient aussi au marbre de Proconnèse, mais en moins fort. C'est pourquoi, pour le cas où la pierre aurait ces impuretés, on peut confondre le marbre de Belevi avec celui de Proconnèse. Le marbre de Belevi est divisé en plusieurs variétés :

— du blanc au gris avec des cristaux moyens ou grands,
— du blanc tendant vers le gris à cristaux moyens et aussi grands,
— blanc avec des veines grises à grands cristaux,
— grisâtre clair ou sombre, souvent avec des striations plus obscures, à grands cristaux.

La carrière de Belevi offre déjà avec ses parois de plus de dix mètres de hauteur un aspect monumental qui est plutôt rare à l'époque archaïque. En outre, les traces laissées sur les parois par les outils des carriers témoignent d'une grande maîtrise d'extraction : une fois les blocs dégagés sur trois côtés par le creusement de fosses avec un pic léger, on appliquait plusieurs techniques qui devaient mieux contrôler l'éclatement au moyen de coins en métal et créer une surface de rupture plus régulière. C'est ainsi qu'avant d'engager les coins de métal sur un côté, on pratiquait parfois à la pointe, au pied des trois autres faces dégagées au préalable, une série très dense de cavités qui semblaient causer des fissures à travers le bloc entier. À certains endroits de la carrière, cette méthode suffisait même pour décoller des blocs de dimensions plus réduites et rendait superflu l'usage de coins. On retrouve aussi une autre technique qui devait assurer une rupture plus régulière : au lieu de tailler les trous des coins directement dans la surface extérieure, on les engageait dans des sillons assez fins de faible profondeur [612].

Outre Belevi, il y a autour d'Ephèse d'autres carrières de marbre, qui étaient déjà exploitées dans l'Antiquité : Beylerköy au nord-ouest de la cité, les *lapidicinae* autour de Panayir Dag, d'Otusbir, de Kurt Kaya et la zone portuaire. L'aire de Pamucak fournit une

[611] Trad. L. Callebat.
[612] L'extraction de la pierre en Grèce : Martin 1965, pp. 146-152 ; Monna, Pensabene 1977, pp. 132-134 ; Penzabene 1992, p. 24.

brèche dure avec des agrégats de marbre [613]. On peut ajouter à cette liste les carrières déjà utilisées dans l'Antiquité, comme Göllüce au n-o d'Ephèse, Ayaklikiri au n-e, et Kusini Tepe à l'Est [614].

- ***Les marbres blancs initialement destinés au temple de Diane à Ephèse (2, 8, 10; 10, 2, 15): Paros, Proconnèse, Héraclée, Thasos***

Si Pixodare n'avait pas découvert fortuitement, avec l'aide de ses deux béliers, les carrières de marbre blanc de très bonne qualité, les magistrats d'Ephèse auraient dû en importer d'autres régions d'Asie Mineure et des îles voisines : « le peuple d'Ephèse projetait de construire en marbre le temple de Diane et il prenait une décision pour faire venir le marbre de Paros, de Proconnèse, d'Héraclée ou de Thasos (*Cum autem ciues Ephesiorum cogitarent fanum Dianae ex marmore facere decernerentque a Paro*, *Proconnenso*, *Heraclea*, *Thaso uti marmor peteretur*) ». [615] Parmi cette liste, on trouve des îles : Paros (Cyclades), Proconnèse (Propontide) et Thasos (Thrace). L'Héraclée est identifiée à *Heraclea ad Latmum*, située au sud-est de Milet, non loin de Mylase, région où Strabon (14, 2, 23) place des carrières de marbre blanc.

L'île de Paros fournit un marbre pur et translucide, mais difficile à travailler en raison de sa fragilité. Plus précisément, il est blanc mat, à grain fin, homogène et souple au ciseau. Il s'en dégage une odeur sulfureuse sous les coups d'un objet métallique. À Paros, on le trouve dans le temple ; à Athènes (VI^e^ siècle *a. C.*), c'est le matériau des métopes et des simas de l'Hékatompédon. À Delphes (490/480 *a. C.*), le Trésor des Athéniens a les murs, les colonnes et l'entablement constitués de ce marbre. À Olympie, le mur extérieur du Philippeion est fait de cette roche [616].

L'île de Proconnèse, aujourd'hui Marmara, fournit un marbre blanc ou bleuté, avec des veines grises ou noirâtres. On le trouve à Ephèse, dans le nouveau temple d'Artémis (IV^e^ s. *a. C.*). Vitruve signale en 2, 10, 8 qu'il fut utilisé pour décorer le palais de Mausole, à Halicarnasse : « À Halicarnasse également, la demeure du très puissant roi Mausole, bien que tout entière ornée par le marbre de Proconnèse (*Item Halicarnasso potentissimi regis Mausoli domus*, *cum Proconnensio marmore omnia haberet ornata*), a des murs en brique qui témoignent jusqu'à notre époque d'une remarquable solidité et dont les enduits sont si lisses qu'ils paraissent avoir la transparence du verre. » [617] Les marbres recouvraient-ils les murs de briques, ou constituaient-ils des éléments architectoniques tels que les chapiteaux ou les frises, conçus en blocs d'un seul tenant ? Pline (*Nat.* 36, 47) parle de *crustae* (plaques de

[613] Herz, Waelkens, 1988 ; Velters 1990.
[614] Cf. Waelkens, De Paepe 1988.
[615] Trad. L. Callebat.
[616] Martin 1965, pp. p. 137-138.

revêtement) et cite précisément comme l'exemple le plus ancien de leur emploi la demeure de Mausole : *Antiquissima, quod equidem inueniam, Halicarnasi domus Mausoli Proconnesio marmore exculta est latericiis parietibus* « l'emploi le plus ancien, à ma connaissance, est celui des murs de brique de la demeure de Mausole à Halicarnasse recouverts de marbre de Proconnèse » [618]. Mais il est possible que les deux auteurs traitent de secteurs différents de cette vaste demeure. Le marbre de Proconnèse fut surtout exporté dans l'empire romain à partir de Dioclétien vers l'Asie Mineure, la Syrie, la Bithynie, la Thrace, la Mésie, la Dalmatie, la Sicile, Rome, etc. [619]

L'île montagneuse de Thasos, dans la partie septentrionale de la mer Egée, dispose d'un marbre blanc parfois avec des reflets bleus. On le trouve dans les temples de l'Acropole, les fondations du V^e^ siècle *a. C.*, et l'Héracleion (490/460 *a. C.*). Il fut très utilisé dès la période romaine au point que la pointe sud-est de l'île est en partie entamée et est donc moins grande qu'à l'époque antique [620]. Sénèque (*Ad Lucil.* 86, 6) écrit sur la vogue de ce marbre à son époque : « On se considère comme pauvre et crasseux (…) si le marbre de Thasos, autrefois une curiosité rare dans quelque sanctuaire, ne revêt nos piscines où nous étendons nos corps (*nisi Thasius lapis, quondam rarum in aliquo spectaculum templo, piscines nostras circumdedit*) » [621]

L'Héraklée du golfe latmide (Kapiteren), aujourd'hui située sur le côté N.-O. du lac de Bafa, dispose de deux carrières de marbre blanc sises au S.-E. de la cité. Milet est proche d'Héraklée et le marbre peut venir des îles ou du Mycale. Il est blanc à cristaux ou bleuté à grain fin et il est résistant. On le trouve dans l'autel de Monodendri et les temples et les portiques d'époque hellénistique [622].

La prédilection pour une architecture mégalithique, qui caractérise les cités grecques d'Asie Mineure et qui était nourrie par la richesse de villes et influencée par l'art monumental des empires orientaux, provoqua une activité frénétique dans les régions où le marbre affleurait à la surface. Au plus tard au VI^e^ siècle *a. C.*, on avait déjà ouvert certaines parties des carrières du Proconnèse, d'Ephèse, de Milet, d'Héraklée, de même que quelques autres dans la région d'Eskisehir, et d'Isak, en Phrygie (Anatolie centrale). Comme on le constate du récit vitruvien, certaines carrières ayant accès au transport maritime, comme Héraklée, alors située sur le golfe latmide — actuellement devenu le lac de Bafa à cause des

---

[617] Trad. L. Callebat.
[618] Trad. R. Bloch.
[619] Martin 1965, p. 142 ; Penzabene 1985-1993, p. 345 ; *Vitruve II*, p. 128, n. 4.
[620] Martin 1965, pp. 141-142 ; M. Brunet, « Les carrières de marbre de Thasos », *Dossiers d'Archéologie*, n°173, 1992, pp. 40-45 ; http://fr.wikipedia.org/wiki/Aliki ; Y. Grandjean et F. Salviat, *Guide de Thasos, Sites et monuments* 3, École française d'Athènes, deuxième édition, Athènes, 2000.
[621] Trad. François Préchac et Henri Noblot.
[622] Martin 1965, p. 143.

alluvions charriées par le Méandre —, ou celles du Proconnèse qui surplombent la mer propontide (Marmara), exportèrent dès le début leur production.

Pour notre architecte, les marbres blancs constituent le matériau prestigieux de l'architecture grecque. Ceux destinés initialement à l'Artémision d'Ephèse viennent d'îles (Paros, Thasos, Proconnèse) et du continent (Ephèse, Mylase). Outre cette énumération, Vitruve ne parle pas des autres carrières grecques de marbre, rendues accessibles depuis l'achèvement de la conquête de la Grèce en 146 *a. C.* :

- gris bleu de l'île de Chio,
- cipolin, veiné blanc vert d'Eubée,
- marbre blanc intense de l'île de Lesbos,
- blanc du Mont Pentélique, près d'Athènes,
- marbre de « Porta Santa » d'Iassos : veiné polychrome, rouge bleu, violet, noir, blanc.

A la même date, la destruction de Carthage permet l'accès au marbre jaune de Simitthus (Chemtou) en Tunisie. En 130 *a. C.*, l'acquisition du royaume de Pergame ouvre la voie à l'exploitation du marbre phrygien. Enfin, la conquête de l'Égypte en 31 *a. C.* rend possible à l'état romain l'usage des carrières des Pharaons : porphyre rouge, basalte, serpentine verte, granite d'Assouan, albâtre [623]. Quant au marbre de Carrare, son utilisation intensive débute à l'époque de César, s'affirme dès le début du règne d'Auguste et deviendra systématique sous Tibère.

Des architectes grecs, comme Hermodoros, viennent s'installer à Rome au II^e^ s. *a. C.*, tandis que les matériaux arrivent des régions grecques avec des équipes de tailleurs de pierre et de sculpteurs, comme le montre la tholos du *Forum Boarium*, dont les chapiteaux en marbre du Pentélique, sont taillés sur le chantier [624].

3.2. *Marmor, marmoreus :* usage du marbre dans les grands sanctuaires de Rome (3, 3, 5 ; 7, *pr.*, 17)

Le marbre est le symbole d'une certaine autorité architecturale : notre architecte (5, 8, 7) ne mentionne-t-il pas que les portiques des places grecques en disposent ? Son usage dans l'architecture romaine apporte à des édifices publics et privés un prestige indéniable. D'ailleurs, il se fait l'écho en 2, 8, 3 des tombeaux revêtus soit de pierre de taille soit de bloc quadrangulaire en marbre. Mais surtout, ce sont les sanctuaires religieux qui bénéficient de cette noble matière dans la Rome du II^e^ s. *a. C.*

[623] Penzabene 1985-1993, p. 334 ; Adam 1995, p. 24.
[624] Gros 1976 a, p. 74 ; Adam1995 , pp. 114-115.

3.2.1. Le temple d'Honos et de Virtus de Cossutius bâti non en marbre, mais en matériaux ordinaires (7, *pr.*, 17) : le prestige (*autoritas*) conféré par le marbre

En effet, Vitruve mentionne en 3, 2, 5, un des premiers temples construits en marbre de l'époque républicaine, le sanctuaire de Jupiter Stator : « Périptère sera le temple qui comptera six colonnes sur ses faces extérieures et postérieures et onze avec les colonnes d'angle sur ses longs côtés. Que les colonnes soient disposées de telle sorte que l'espace qui sur le pourtour de l'édifice sépare les murs de la limite interne de la colonnade ait la largeur d'un entrecolonnement, et que cet espace constitue un déambulatoire autour de la cella, comme c'est le cas au portique de Metellus pour le temple de Jupiter Stator dû à Hermodoros et, aux Monuments de Marius, pour celui d'Honos et de Virtus construit par Mucius sans colonnade postérieure (*quemadmodum est sine postico in porticu Metelli Iouis Statoris Hermodori et Mariana Honoris et Virtutis a Mucio facta*). » [625]

Avant la période impériale, les importations, en Occident, de marbres orientaux destinés à la construction, étaient rares. Les exemples les plus connus concernent le Temple Rond du Forum Boarium, probablement le temple de Jupiter Stator sur le Circus Flaminius, et le sanctuaire du Capitole, pour lequel, à l'époque de Sylla, on utilisa des colonnes et des chapiteaux en marbre pentélique appartenant à l'Olympeion d'Athènes. Pour notre architecte, le temple de Jupiter Stator est le modèle du temple en marbre, car il est le plus ancien. Construit en 143 *a. C.*, ce sanctuaire ionique est édifié par Q. Metellus Macedonicus, avec du marbre du Pentélique. L'architecte est Hermodoros de Salamine. La Tholos corinthienne du Forum Boarium (Temple d'*Hercules Victor* ou *Invictus ad Portam Trigeminam*) est érigée sur ordre de M. Octavius Hersennus entre 110 et 100 *a. C.* encore une fois en marbre pentélique (Fig. 18). On peut parler pour ces deux sanctuaires de transport d'édifices de marbre grec [626].

Le temple de Jupiter Stator devait ainsi apparaître aux yeux de Vitruve comme l'un des rares ouvrages de Rome relevant du style ionique, car il avait comme architecte le célèbre Hermodoros que Vitruve considérait comme un de ses maîtres spirituels. Hermodoros se devait d'élever à Rome, sans doute à l'aide d'une équipe gréco-orientale de marbriers un sanctuaire impeccable, qui était appelé à constituer le centre monumental et religieux de l'aire circonscrite par les portiques. De son côté, Metellus Macedonicus apportait, comme maître d'œuvre, à l'architecte tout le soutien financier en important les marbres du Pentélique et en même temps faisait venir des mêmes régions les groupes grecs de marbriers qui savaient le tailler. Ainsi, pour notre théoricien ce sanctuaire est un modèle du genre.

---

[625] Trad. P. Gros.
[626] Penzabene 1992.

À l'inverse, le temple d'Honos et de Virtus, mentionné en 3, 2, 5 réapparaît sous la plume de Vitruve en 7, *pr*., 17 : « Cossutius cependant n'est pas le seul dont nous ayons à regretter l'absence d'écrits sur cette matière : c'est le cas aussi pour C. Mucius qui, fort de ses vastes connaissances, réalisa pour le temple d'*Honos* et *Virtus*, voué par Marius, les proportions, conformes aux règles d'un art parfait, de la cella, des colonnes et des architraves. Si ce temple eût été de marbre, unissant ainsi à la finesse de son exécution le prestige que confèrent la magnificence et le coût de la construction, il serait cité parmi les premiers et les plus grands chefs-d'œuvre. (*Id uero si marmoreum fuisset*, *ut haberet*, *quemadmodum ab arte subtilitatem*, *sic ab magnificentia et impensis auctoritatem*, *in primis et summis operibus nominaretur*). » [627] On sent le regret de Vitruve pour ce temple qui, par ses proportions et la qualité de l'exécution, est certes un modèle du genre, mais n'est pas en marbre. L'architecte C. Mucius n'a pas pu se procurer le marbre probablement parce que le commanditaire, le général Marius, ne voulait pas de ce matériau typiquement grec. Il fit édifier ce sanctuaire après 101 *a*. *C*. avec le butin de la victoire contre les Cimbres et les Teutons. L'importance de cette victoire sauva Rome de la destruction. Mais Marius était hostile à ce qui venait de Grèce : le choix des deux divinités spécifiquement italiques est caractéristique de ce refus. En outre pour ce temple, on voit mal Marius accepter d'utiliser le marbre, matériau de prestige certes, mais grec. Ce général romain sorti du rang, revendique son inculture des lettres grecques et un soldat tel que lui n'a pas à s'en préoccuper : « Je n'ai pas non plus étudié les lettres grecques ; je ne me souciais guère d'une étude qui n'avait pas su inspirer à ses maîtres l'amour de la vertu (*Neque litteras Graecas didici*; *parum placebat eas discere*, *quippe quae ad uirtutem doctoribus nihil profuerant*). Ce que j'ai appris, et qui est bien plus utile à la République, c'est à frapper l'ennemi, à monter la garde, à ne rien craindre, sauf le déshonneur, à endurer aussi bien le chaud et le froid, à coucher à la dure, à supporter en même temps la faim et la fatigue. » [628]

Pour Vitruve, le prestige ne pouvait être conféré au temple d'*Honos* et *Virtus* par la seule qualité de l'exécution (*subtilitas ab arte*). Il manque à ce sanctuaire exemplaire, certes par son plan et construit par un architecte estimé de Vitruve, trois autres facteurs afin d'acquérir un prestige : d'abord les proportions monumentales, le luxe du matériau marbre (*magnificentia*) et enfin, du même coup, l'importance des sommes dépensées (*impensis*) pour la construction [629].

---

[627] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[628] Sall. *Jug*. 81, 32-33. Trad. A. Ernout.
[629] L. Richardson Jr, « *Honos* et *Virtus* and the Sacra Via », *American Journal of Archaeology*, 82, 1978, pp. 240-246 ; Gros 1976 b, p. 408 ; Gros 1989, p. 127.

3.2.2. Les architraves de marbre (*epistylia marmorea*) dans les temples aréostyles (3, 3, 5)

La méfiance de Vitruve envers les linteaux de pierre pour les temples a déjà été évoquée : « Dans les temples aréostyles, il n'est plus possible d'utiliser des architraves de pierre ou de marbre, et l'on est contraint de mettre en place des linteaux de bois d'une seule pièce (*In araeostylis autem nec lapideis nec marmoreis epistyliis uti datur, sed inponendae de materia trabes perpetuae*) ». [630] Avec les architraves et les frises des grands sanctuaires, se posait le problème, affronté pour la première fois à Rome des linteaux de pierre à longue portée. Les longueurs des entraxes, en raison des proportions importantes des ordres obligèrent les architectes et les tailleurs de pierres à établir des records pour la région romaine : 3,65 m au temple d'Apollon *in circo*, 4,35 m à celui de Mars Ultor, 3,8 m aux Dioscures, 4,33 m au sanctuaire de la Concorde. Comparés à ceux des édifices religieux géants de Sicile et de l'Orient grec (Dydime), ces chiffres paraissent modestes, mais les ouvriers peu experts au travail de grands blocs monolithiques firent ce qu'ils le purent. C'est pourquoi malgré son héritage grec revendiqué, Vitruve, tout héritier d'Hermodoros qu'il soit, réagit en italique et peut-être d'une manière quelque peu ignorante, lorsqu'il déconseille l'emploi du rythme diastyle (travée de trois diamètres de colonnes) sous prétexte que les épistyles de pierre courent le risque de se rompre (3, 3, 4). Si l'on se servait en milieu grec des architraves de bois quand les travées dépassaient six diamètres, le marbre révèle encore toutes ses possibilités de matériau résistant à la flexion, car la taille de certaines pièces de charpente en marbre surpassant cette limite pouvait être franchie par des architectes audacieux, tels ceux qui à Délos construisirent la fontaine Minoé [631].

Il est certain que la région de Rome n'était pas favorisée à la fois par la faible induration des tufs peu consolidés et par leur mauvaise résistance à la compression. Ces caractéristiques physiques avaient entretenu une défiance à l'égard des architraves de marbre, que l'introduction du travertin, à la fin du II^e^ s. *a. C.*, n'avait pas complètement estompé. Les architectes et les tailleurs de pierre avaient alors adopté des solutions originales, destinées à éviter tout risque, réel ou illusoire, de rupture. Un exemple caractéristique est sans doute celui du temple ionique du Forum Boarium, où l'on observe, au-dessus des parties libres de la colonnade, une frise faite de blocs assemblés au moyen de joints obliques, qui les assimilent à des claveaux. Le principe est le même que celle des portes monumentales du Tabularium : il s'agit d'appliquer au schéma colonne/entablement des méthodes qui ont déjà été éprouvées dans l'architecture voûtée [632].

---

[630] Trad. P. Gros.
[631] Vallois 1944, tome 1, p. 412, et 2, p. 219 sq. ; Gros 1976 a, pp. 74-75. On trouve une même audace au Stoïdon de l'Edifice Nord, à Délos.

3.3. *Marmorarius* : les tailleurs de marbre dans les équipes de chantier (7, 6, 1)

Vitruve (7, 6, 1) fait une brève allusion aux *marmorarii* « marbriers » qui découpent le marbre : « Dans les lieux qui en sont dépourvus, ce sont les éclats de marbre, ou, comme l'on dit, les recoupes, que les marbriers abattent en travaillant, qui sont pilées et broyées ; et cette poudre de marbre une fois tamisée, on s'en sert dans les travaux de revêtement (*Quibus autem locis eae copiae non sunt, caementa marmorea, siue assulae dicuntur, quae marmorarii ex operibus deiciunt, contunduntur et moluntur, et subcretum, in operibus utuntur*). » [633] Notre architecte ne précise pas ce que faisaient les marbriers. On sait qu'à côté des *lapidarii,* les tailleurs de pierre, les *marmorarii* débitent le marbre, le polissent, s'occupent, entre autres, de la taille et de la mise en place des placages de marbre muraux [634]. Mais ils pouvaient tailler ce matériau pour en faire des éléments architecturaux, comme les architraves (*epistylia marmorea*). De toute manière, à l'époque tardo-républicaine, peu d'artisans ou de tailleurs de pierre de la région romaine pouvaient travailler le marbre. En effet, l'usage de ce matériau pour les grands sanctuaires, impliquait inévitablement l'adoption des méthodes grecques tant au niveau des décors architecturaux qu'à celui des plans. Lorsqu'il décrit la corniche ionique ou le chapiteau corinthien, dans l'esprit de notre architecte, ceux-ci sont constitués de cette matière, et l'insistance avec laquelle Vitruve souligne les difficultés immanquablement rencontrées, selon lui, par les bâtisseurs qui voudraient l'utiliser dans les édifices de type italo-étrusque (3, 3, 5) exprime l'idée d'une incompatibilité radicale entre ces structures et l'emploi du marbre [635].

Puisqu'Hermodoros est appelé à bâtir à Rome un temple grec, son commanditaire et lui-même se chargent de faire venir le marbre et les marbriers qui doivent le sculpter. Le transport d'équipes de tailleurs de pierre accompagnant un architecte est attesté dans le monde grec par le monument votif d'Olympie et pour la restauration du colosse des Rhodiens à Delphes [636]. A Rome, les plus anciens ateliers attiques dont on puisse retrouver trace sont ceux qui travaillèrent aux chapiteaux du temple rond du Forum Boarium, achevé vers les années 100 *a. C.* [637] De plus, lorsqu'on formait le dessein de conserver le plan ancestral (étrusque) du temple de Jupiter Capitolin, on envisageait sans hésiter, pour son ornementation, des solutions grecques, sans rapport avec son ordonnance aréostyle.

---

[632] Gros 1976 a, pp. 74-75.
[633] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[634] G. Lafaye, *s. v. marmorarius*, in *Dictionnaire des antiquités grecques et romaines*, édit. C. Daremberg, E. Saglio, E. Pottier, volume III, 2, pp. 1605-1606 ; *Vitruve VII*, p. 150-151, n. 2 ; *Vitruvio 2*, p. 1092, n. 170.
[635] Gros 1976 a, p. 50.
[636] Cf. W. Hoepfner, « Zum Ptolemaierbauten, Das Ptolemaierweihgeschenk in Olympia und ein Bauvorhaben in Alexandria », *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Athenische Abteilung*, Beiheft 1, Berlin 1971, p. 50 et suivantes.
[637] Cf. F. Rakob, W.-D. Heilmeyer, *Der Rundtempel am Tiber in Rom*, Sonderschriften 2 des Deutschen

Apparemment, malgré la construction du temple de Jupiter Stator et de la tholos du Forum Boarium (seconde moitié du II^e siècle av. J.-C.), et malgré la présence de tailleurs de pierres grecs, il semble bien que les *lapidarii* et les *marmorarii* d'origine grecque ou orientale ne firent à Rome que des séjours trop courts pour y former la main-d'œuvre locale. Ainsi, les temples périptères de marbre construits à cette époque (temple de S. Salvatore in Campo, temple rond du Forum Boarium) présentent, dans certains détails des parties inférieures de leur ordre, des anomalies qui attestent que des équipes, recrutées sur place, ont travaillé là sur un matériau qu'ils ne connaissaient pas [638]. On explique ainsi des compromis au niveau des techniques architecturales qui ne peuvent pas se comprendre autrement.

3.4. La poudre de marbre et son emploi

Le marbre en poudre (*marmor*, *marmor excretum* « poudre de marbre tamisé » : 7, 3, 3 ; *marmor graneum* « grain de marbre » : 7, 3, 6 ; *minutum marmor* « marbre broyé » : 7, 3, 8) est le matériau de finition pour les enduits essentiellement. En 7, 1, 4, il est utilisé avec la chaux et du sablon comme chape de protection pour des pavements, laquelle est destinée à isoler le sol terminé et à empêcher qu'il ne soit sali par des giclées d'enduit ou de peinture, ou qu'il ne soit rayé par les outils, les auges à mortier, et les pieds des tréteaux d'échafaudages, pendant l'application des revêtements [639].

3.4.1. La poudre de marbre dans les enduits : synthèse des passages vitruviens (7, 3, 3 ; 7, 3, 6 et 9 ; 7, 6, 1)

Le texte le plus caractéristique sur l'utilisation de la poudre de marbre dans les enduits est l'extrait 7, 3, 6 : « Lorsque, en plus du gobetis, on aura façonné au moins trois couches de mortier de sable, alors il faut dresser des cueillies au mortier de marbre concassé, en prenant soin de le composer de telle façon que, lorsqu'on le malaxe, il ne colle pas à la pelle, mais que le fer sorte propre de l'auge. Quand on en aura étendu une couche épaisse et qu'elle commencera à sécher, on en appliquera une deuxième d'épaisseur moyenne ; lorsque celle-ci aura été dressée et bien talochée, on en étendra une autre plus fine. » [640] L'enduit de marbre constitue le plus souvent la ou les dernières couches des enduits muraux, si l'on ne peignait pas sur la paroi [641]. Mais l'utilisation de marbre broyé ou de cristaux issus de veines

---

Archäologischen Instituts Rom, Mainz, 1973.
[638] Gros 1976 a, pp. 64-65.
[639] Mora 1967, p. 74 ; Barbet, Allag 1972, pp. 972-973.
[640] Vitr. 7, 3, 6: *Cum ab harena praeter trullissationem non minus tribus coriis fuerit deformatum, tunc e marmore graneo directiones sunt subigendae, dum ita materies temperetur, uti, cum subigatur, non haereat ad rutrum, sed purum ferrum e mortario liberetur. Grandi inducto et inarescente alterum corium mediocre dirigatur; id cum subactum fuerit et bene fricatum, subtilius inducatur*. Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[641] Blanc 1983, pp. 863-864.

de calcite était quand même 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 (et c'est ce qu'écrit Vitruve (7, 3, 7) pour la finition d'une couche d'enduit de chaux : « l'enduit aura de surcroît acquis par le lissage la blancheur éclatante et durable du marbre (*marmorisque candore firmo leuigata*) »).

Mode opératoire de l'enduit de marbre

Matériaux et outils :
— *calx macerata* : chaux éteinte, 7, 3, 10 ;
— *glaebae* : blocs de calcite, 7, 6, 1 ;
— *marmor graneum* : poudre de marbre grenu, 7, 3, 6 ;
— *rutrum* : truelle ou pelle, 7, 3, 6 ;
— *mortarium* : auge à mortier, 7, 3 6 ;
— *liaculum* : taloche, 7, 3, 9

Le terme *rutrum* « pelle », est rangé par Caton (*Agr.* 10, 3 et 11, 4; 37, 2; 128) au nombre des outils du fermier. Il qualifie par dérivation la « pelle à mortier, truelle » [642].

Fabrication

— *glaebas contundere et molere* « broyer et moudre des blocs de calcite », 7, 6, 1 ;
— *excernere marmorem* « tamiser du marbre en poudre », 7, 3, 3 ;
— *materiem temperare/subigere* « mélanger, corroyer le liant » 7, 3, 6 ;

Vitruve ne précise pas les proportions du liant: elles sont habituellement de 2 à 3 volumes de poudre de marbre pour 1 de chaux [643].

Vérification de la qualité du liant

— *dum ita materies temperetur, uti, cum subigatur, non haereat ad rutrum, sed purum ferrum e mortario liberetur* « pourvu que le liant de marbre soit travaillé dans un état tel que, quand on le corroie, il n'adhère pas à la truelle, mais que le fer se dégage propre du bassin de corroyage » 7, 3, 6 ;

[642] Serbat 1975, pp. 316-317; Ginouvès, Martin 1985, p. 125 ; *Vitruve VII*, pp. 112, n. 2.
[643] Mora, Philippot 1977, pp. 237-238 ; *Vitruve VII*, p. 112, n. 2.

Applications des couches

— première couche : *corium grande inducere* « appliquer une couche épaisse (de marbre) ;
— deuxième couche : (*corium*) *mediocre dirigere* « dresser une autre couche de moyenne grosseur », *id bene subigere et bene fricare* « bien la travailler et bien la polir »
— troisième couche : *subtilius* (*corium*) *inducere* « appliquer une troisième couche plus fine ».

On sait que certaines observations archéologiques montrent que les couches de mortier en marbre ou en sable n'étaient pas toujours ni de plus en plus fines par leur granulométrie, ni de moins en moins épaisses [644]. Malheureusement, Vitruve ne donne pas l'épaisseur des couches, ce qui aurait permis de calculer la quantité massique de marbre et de volume de chaux d'après la courbe de Sötenich.

Talochage

— *liaculorum subactionibus fundata soliditas* « solidité acquise par la pression des taloches, 7, 3, 9. On sait qu'un bon talochage permet de comprimer l'enduit et de lui donner compacité et solidité [645].

Telles sont les chaînes opératoires qu'on peut dégager des notices vitruviennes. De récents travaux archéométriques permettent d'apporter des éléments de réponse sur la granulométrie de la « poudre de marbre ».

3.4.2. La granulométrie de la calcite dans les enduits

Les analyses procédées par l'archéomètre S. Augusti montrent la présence de calcite dans les enduits pompéiens et celle-ci n'est pas forcément issue du marbre. Ainsi, il note que la calcite de la couche supérieure au-dessus d'un enduit est constituée de cristaux de grandeur variable, de la fraction du millimètre à 1, 2, 3 mm, et que de temps en temps, ils sont accompagnés de très nombreux petits cristaux, sous la forme de lamelles transparentes, scintillantes. Ce sont ceux que Vitruve appelle en 7, 6, 1, « grains translucides comme des cristaux de sel », parce que ces cristaux possèdent, observation très juste, un aspect micacé. Tous ces cristaux proviennent du broyage (*contusae et molitae*, Vitr. 7, 6, 1) de calcaires compacts contenant des veines de calcite, calcaires, qui se trouvent dans la péninsule de Sorrente, dans le Casertano, dans la zone Gaeta-Formia, dans les environs de Rome, etc. [646] Les enduits de chaux et de calcite qu'il a analysés ont une épaisseur généralement comprise

[644] Barbet, Allag 1972, pp. 969-972 ; Adam 1995, p. 236 ; *Vitruve VII*, p. 112, n. 1.
[645] Mora 1967, p. 65 ; *Vitruve VII*, p. 113, n. 3.

entre 3 et 4 mm, et même jusqu'à un maximum de 12 — 13 mm. Quand il y a deux couches de chaux et de sable, l'épiderme de chaux et de calcite présente une épaisseur plus réduite, qui ne dépasse pas 5 mm et qui est incluse entre 2 et 5 mm.

E. Mariani a analysé un enduit de finition sur une maçonnerie romaine sous le siège du Credito Agrario Bresciano, rue de Trieste, à Brescia. L'enduit est épais de 2 à 3 mm et l'agrégat de calcite fait entre 0,1 et 1,6 mm. Mais, à l'exception de ces seules données, l'auteur ne fournit pas d'analyses plus poussées telles qu'une analyse granulométrique : aucun pourcentage en poids des granulats par rapport à l'épaisseur de la couche n'est indiqué. L'indication maximale de la taille de 1,6 mm ne semble pas représentative des données de l'échantillon [647]. Or, c'est un fait avéré que les maçons romains graduaient leurs matériaux et mesuraient les dimensions des composants de l'enduit afin d'en optimiser les qualités mécaniques. Toutefois, sur la base des chiffres donnés par Mariani, on constate que la taille du grain de calcite correspond à un cinquième de l'épaisseur de l'enduit : ainsi, pour une couche de 3 mm, l'agrégat aura une mesure maximale moyenne de 0,6 mm. Ce rapport peut se retrouver dans les enduits pompéiens étudiés par S. Augusti : l'épaisseur de la couche de 13 mm donne un grain de calcite de 2,6 mm en moyenne, soit des cristaux entre 2 et 3 mm. On a repéré du marbre broyé, par exemple dans des échantillons de Vichten (Grand-Duché de Luxembourg), de Ribemont-sur-Ancre (Somme), ou de Vaison la Romaine (Vaucluse). Ce marbre se présente granulométriquement comme un sable fin.

D'un point de vue pratique, les travaux de K. Häfner, 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 résultat expérimental satisfaisant. On peut ainsi constater que l'on doit s'assurer de l'utilisation d'un granulat, ici de la calcite sparitique, à la fois anguleux et d'une grande variété granulométrique (entre 63 μm et 2 mm de diamètre) afin de permettre, lors du lissage de l'enduit, une bonne orientation des éléments [648]. Pourtant, dans la reconstitution d'une fresque murale qu'a dirigée A. Barbet, on a utilisé de la calcite très fine correspondant à un limon ou à un silt, c'est-à-dire en taille à la micrite (< 63 μm) pour un résultat décevant [649].

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

---

[646] Augusti, 1950, pp. 334-335.
[647] E. Mariani, « Contributo preliminare sugli affreschi ritrovati in via Trieste, sotto la sede del Credito Agrario Bresciano », in *La città ritrovata - carta archeologica di Brescia*, Modena, 1996 : cité par Bugini, Folli 1997, p. 128. L'auteur n'indique pas le pourcentage en poids des agrégats : le nombre de 1,6 mm peut en représenter une infime partie. C'est pourquoi l'indication déductive de 0,6 mm est plus représentative en poids que celle de 1,6 mm.
[648] Häfner 1997.

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, et il ne s'agit pas d'une nouvelle mode, d'un nouvel intérêt régional pour telle ou telle matière première [650].

3.5. Imitation des plaques de marbre (*crustae marmoreae*) dans la peinture murale (7, 5, 1)

En 7, 5, 1, Vitruve écrit ce que l'on considère comme un petit abrégé de l'histoire de la peinture romaine : « Pour les autres pièces, à savoir celles qu'on utilise au printemps, en automne, en été, et aussi pour les atriums et les péristyles, les anciens ont défini des principes de décoration picturale précis, inspirés de choses précises. La peinture, en effet, donne l'image de ce qui est, ou de ce qui peut être, par exemple des hommes, des édifices, des navires, ou de toutes choses présentant des corps définis et précis, dont on tire des copies ressemblantes. En vertu de quoi les anciens qui furent les initiateurs de la peinture murale imitèrent d'abord les bigarrures et la disposition des placages de marbre, puis les différentes combinaisons des corniches, des moulures, des lignes de refend (*Ex eo antiqui qui initia expolitionibus instituerunt, imitati sunt primum crustarum marmorearum uarietates et collocationes, deinde coronarum, siliculorum, cuneorum inter sese uarias distributiones*). » [651] Notre architecte parle ici des *crustae marmoreae* « placages de marbre », ou *opus sectile*, qui est une manière économique pour décorer des murs au moyen de cette pierre, technique d'origine probablement carienne. Ce type de décoration est en vogue dans l'architecture religieuse augustéenne puis profane [652]. On peut raisonnablement accepter les propos de Cornélius Népos, rapportés par Pline (*Nat*. 36, 48) selon lesquels le célèbre Mamurra, l'ami débauché de César et son *praefectus fabrum* dans les Gaules, recouvrit de *crustae marmoreae* les murs de toute sa maison située sur Caelius [653].

Vitruve évoque en 7, 5, 3 le « style candélabre » un motif pictural représentant « des candélabres qui soutiennent les images de petits temples » *item candelabra aedicularum sustinentia figuras*. Cette indication permet de situer le style de peinture dont parle notre architecte comme correspondant au II^e^ style pompéien. Plus précisément au moment où le célèbre « style candélabre » II^e^ style fait transition avec le III^e^ style [654].

---

[649] Barbet, Coutelas 2002, p. 29.
[650] Coutelas 2003, pp. 426-427.
[651] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[652] Plin. *Nat*. 36, 47 ; Gros 1976 a, pp. 73-74 ; Martin 1982 ; Ginouvès, Martin 1985, pp. 143 ; Adam 1995, pp. 247-248.
[653] Guidobaldi 1992.
[654] Sur la peinture romaine : Barbet 1985. Sur les styles pompéiens : A. Maiuri, *La peinture romaine*,

Les stucs peints calquant les placages de marbre appartiennent au répertoire du Ie style apparu à Pompéi au début du IIe s. *a. C.*, et tirent leur origine de la décoration des bâtiments publics grecs de la fin du Ve *a. C.* [655] Les artistes, qui imitent la variété des marbres colorés, peuvent aussi bien s'inspirer de marbres réels que donner libre cours à leur imagination et créer des bigarrures fantaisistes : H. Eristov a établi un corpus de faux marbres peints et a identifié, entre autres, des formes rouges et violettes correspondant à du marbre du type de Téos et des mouchetis vert clair, de type porphyre vert de Laconie. Mais l'étude est complexe et il est très difficile de faire une correspondance certaine entre une catégorie de roche et un exemple de peinture, car l'artiste peut peindre et inventer selon sa fantaisie [656].

Toutefois, on peut situer plus précisément l'apparition des stucs peints copiant l'*opus sectile*. En effet, la fin de la guerre des Gaules (58-51 *a. C.*) est la période durant laquelle Mamurra s'était considérablement enrichi. Cela rend dès lors plus cohérente la présence, dans certains édifices de régions romanisées, de peintures murales imitant le placage de marbre : il s'agit en général de reproductions d'albâtre égyptien et de jaune antique de Numidie. Ces phases de décoration peuvent être datées surtout de la première moitié du Ie siècle avant notre ère. Une telle décoration peut être considérée comme d'origine hellénistique et donc importée d'une région dans laquelle les revêtements de ce type étaient déjà en usage depuis longtemps [657].

4. Conclusion

Isidore de Séville (*Orig*. 16, 5, 1) écrit : « On appelle les marbres, les pierres extraites auxquelles les veines nuancées et les taches donnent de la valeur (*Nam marmora dicuntur eximii lapides, qui maculis et coloribus commendantur*) ». Telle est la définition du terme *marmor* chez Isidore de Séville, laquelle est reprise de Pline (*Nat*. 36, 49), qui en a pourtant une autre : *cetera maculis aut coloribus commendantur* « ce qui donne du prix aux autres marbres, ce sont leurs veines ou leurs couleurs ». [658] L'explication du Naturaliste est plus générale (*maculis aut coloribus*) car elle peut désigner toutes les pierres extraites de couleur ou non qui ont un beau poli, alors qu'Isidore pervertit l'acception en remplaçant le *aut* « ou » plinien par *et* « et » plus restrictif : son acception qualifie uniquement les pierres colorées et veinées. Les marbres, dont parle Vitruve dans son corpus, sont le plus souvent blancs ou blanchâtres : la

---

Genève 1953 ; H. G. Beyen in *Enciclopedia dell'arte antique classica e orientle*, Rome, 1958-1966, *s. v.* Pompeiani stili ; M. Borda, *La pittura romana*, Milan 1958 ; R. Ling, *Roman painting*, Cambridge, 1991.
[655] Laidlaw 1985, pp. 39-46; Rouveret 1989, pp. 165-173.
[656] Eristov 1976 et 1979; Laidlaw 1985, p. 33 ; *Vitruve VII*, pp. 128-129, n. 5.
[657] Guidobaldi 1992, p. 74.
[658] Trad. R. Bloch.

poudre de calcite utilisée pour les enduits est difficilement imaginable d'une autre couleur et les marbres des îles égéennes et d'Asie Mineure sont de cette teinte. Toutefois, l'évocation des *crustae marmoreae* « plaques de marbre » est une exception à cette gamme monochromatique : l'albâtre égyptien (jaune) et le marbre jaune de Numidie sont employés à l'époque où Vitruve réfléchit à son traité d'architecture (première moitié du I^er^ s. *a. C.*). Concernant les marbres des temples romains édifiés au cours du II^e^ s. avant notre ère, le pentélique blanc fut utilisé pour la tholos du Forum Boarium, pour le sanctuaire de Jupiter Stator et le temple sous S. Salvatore in Campo. Les marbres de couleur furent surtout employés dans l'*opus sectile* de la série des monuments augustéens (forum d'Auguste, temple de la Concorde, temple de Mars Ultor, etc.) : ces constructions témoignent de l'usage fréquent de revêtement mural à divisions simples au I^er^ s. *a. C.*

Quelle que soit la couleur du marbre utilisé dans les temples, Vitruve accorde la plus grande importance au prestige apporté par cette roche grecque pour les édifices religieux. Ainsi, le sanctuaire de Jupiter Stator, le plus ancien en marbre à Rome, est pour notre architecte un modèle en soi, par la finesse d'exécution (*ab arte subtilitatem*), par le coût dépensé (*impensis*) pour l'édifier et enfin par l'usage du marbre pentélique, matériau attique par excellence. L'architecte du temple est grec (Hermodoros), les matières sont grecques (marbre pentélique), et les plans le sont également : on peut métaphoriquement parler de transport d'un édifice entier en marbre depuis la Grèce qui doit illuminer par sa présence la capitale romaine. Le recours ostentatoire à ce matériau n'est rien d'autre pour les généraux romains victorieux, que le signe même de leur conquête sur la Grèce. On peut comprendre le regret qu'éprouve Vitruve lorsqu'il parle du sanctuaire d'Honos et Virtus commandé par un général victorieux qui revendique son mépris pour la culture grecque, modèle de civilisation pour notre architecte, dont Rome s'est rendue maîtresse.

Le marbre n'est pas une triviale pierre de construction (*saxum*, *lapis*) : il s'agit du plus précieux de tous les matériaux et il est réservé aux plus nobles édifices. Le marbre aurait demandé un traitement spécifique, non prévu dans le plan du *De architectura*, parce que sans doute trop lié au problème moral de l'usage ostentatoire et excessif de la richesse (*luxuria*). S'il évoque rapidement quelques monuments funéraires dont l'*opus caementicium* revêtu d'un grand appareil marmoréen (2, 8, 3), Vitruve ne s'y arrête pas, car son propos est de montrer la relative fragilité de la *structura caementicia* quand elle est mal dosée ; de même, le marbre du Proconnèse du palais de Mausole est mentionné uniquement pour suggérer que le recours à la brique crue pour le gros œuvre n'est pas, en l'occurrence, un signe de pauvreté [659]. Également, il fait une simple allusion au *marmorarius* « marbrier » pour parler des chutes de marbre pour la poudre de calcite. En 10, 2, 15, son objectif est de décrire les carrières de marbre d'Asie Mineure, qui ont une importance dans l'histoire de l'architecte

[659] *Vitruve II*, *Introduction*, pp. LVI-LVII.

avec la construction de l'Artémision, une des sept merveilles du Monde. Comme il a pris d'autre part le parti de traiter de préférence des carrières des environs immédiats de Rome, du Latium ou de l'Etrurie méridionale, il ne peut envisager celles de Carrare, bien qu'elles soient déjà utilisées dans la grande architecture urbaine depuis les années 60-50 av. J.-C.

Marmor dénote majoritairement chez Vitruve du marbre, mais aussi d'autres pierres comme les albâtres employés pour les *crustae marmoreae*. Pour la poudre de calcite, Vitruve indique plusieurs sources, des cristaux issus de veines de calcite, les marbres blancs et de la calcite naturelle en poudre. Pour être utilisable en enduit, la calcite sparitique doit être anguleuse et d'une grande variété granulométrique (entre 63 μm et 2 mm de diamètre) : elle entre alors dans la catégorie de taille de l'*harena*. Il est surprenant de constater que la « poudre de calcite » représente près de la moitié des occurrences de *marmor* en lexème. De même, *marmor* accompagné d'une épithète désignant la sparite meuble constitue les trois quarts des unités lexicales complexes.

14. Materia - materies

1. Étymologie de *materia* et de *materies*

Māteriēs (*-ei*, f.) et *māteria* (*-ae*, f.) « bois, mortier, matière, matière, cause, sujet, origine » sont tous deux des termes de la langue rustique, qui signifient « substance dont est faite la *mater* », c'est-à-dire le tronc de l'arbre considéré en tant que producteur de rejetons. Ils sont dérivés de *māter* « mère » comme *pauperiēs* de *pauper*. Par extension, ils désignent la partie dure de l'arbre, en opposition à l'écorce ou aux feuilles (cf. Colum. 4, 21, 2 et 5, 11, 4). Comme cette partie de l'arbre fournit le bois de charpente, *materiēs* en est arrivé ainsi à prendre, dans la langue des charpentiers, le sens de « bois » et spécialement de « bois de construction », par opposition à *lignum*. C'est à ce sens que se rapportent les dérivés : *māteriārius* « relatif à la charpente » ; *māteriō, -ās*, « munir d'une charpente » ; *māterior* « se procurer du bois » ; *māteriātus ; māteriatiō*, etc. [660] *Materies* et *materia* sont donc un doublet comme *luxuriē-s*/*luxuriă* : à partir d'une alternance ancienne **-yeH₁/-yH₁*, qui devait affecter un même mot au cours de sa flexion, se sont créés, par généralisation de chacun des deux thèmes, des doublets *–yē*/*-yă* [661].

2. Usage et sens de *materia* et de *materies* avant Vitruve

Materies et *materia* sont des lexèmes qu'on trouve d'abord chez Plaute (*Epid*. 37; *Mil*. 1203; *Most*. 124; *Poen*. 915) ; leurs dernières occurrences sont chez Isidore de Séville (*Orig*. 19, 19, 4) [662]. Ils ont plusieurs acceptions que l'on peut résumer :

— Bois : « Bois, arbre » (Caton, Varron, Cicéron, César, Pline l'Ancien, Palladius), « bois » (Caton, Varron, Cicéron, César, Pline le Naturaliste, les juristes, Isidore de Séville), « bois d'œuvre » (Caton, Varron, Cicéron, Palladius, juristes), « bois de construction » (Caton, Lucrèce, Cicéron, Tite-Live, Columelle, Tacite, Ammien Marcellin), « arbres coupés, bois, pour l'usage militaire » (César, Salluste, Tite-Live, Tacite), « bois pour vaisseau » (Cicéron, César, Virgile, Tite-Live), « bois d'usages divers » (Plaute, Caton, Varron) ;

— Matière, matériau pour un usage artisanal : « matière » (Plaute, Varron, Cicéron, Tite-Live, Pline le Naturaliste, Columelle, Martial, Tertullien, juristes), « matière de statues » (Tite-Live, Tacite, Quintilien) ;

---

[660] Ernout, Meillet, André, 1985, *s. v.* materies, materia, p. 390.
[661] Monteil 1986, pp. 67, 206 et 215.
[662] *T. L. L.*, VIII, col. 448, l. 15-84, col. 465, l. 46.

— Matière en physique et philosophie : « matière élémentaire, composant de la matière, atome » (Lucrèce, Cicéron), « matière vivante, matière du corps, humeur » (Lucrèce, Celse), « matière dans la philosophie grecque et chrétienne » (Cicéron, Sénèque, Tertullien, saint Augustin, Irénée) ;
— Sujet, thème traité, matière : « sujet dans les discours rhétoriques » (Cicéron, Tacite, Quintilien), « thème dans les discours rhétoriques » (Cicéron, Tite-Live, saint Augustin), « sujet dans une conversation, dans un discours » (Cicéron, Tite-Live, saint Augustin), « thème dans les livres et les lettres » (Cicéron, Tacite, Pline le Jeune, Quintilien, Lactance), « matière dans les poèmes » (Horace, Sénèque), « question dans n'importe quel art » (Cicéron, Pétrone) ;
— Choses, matières, sujets suscitant l'action ou la passion (Plaute, Cicéron, Tite-Live, Sénèque, Suétone) ;
— Choses qui font source, qui nourrissent : « source de flamme ou de feu » (Cicéron, Tite-Live, Sénèque, Pline l'Ancien), « aliment » (Celse), « cause, origine, source » (Caton, Cicéron, Salluste, Horace, Tite-Live, Ovide, Suétone, Tertullien, Palladius), « fondation, base, ressource, support, principe » (Tite-Live, Ovide, juristes, Lactance), « faculté, possibilité, lieu, occasion, prétexte, point, question » (Cicéron, Tite-Live, Pline le Jeune, Sénèque, Tacite).

Des occurrences de *materia*/*materies* sont usitées dans un contexte architectural :
— « matériau de construction », *materia* : Liv. 31, 39, 8 ; Val. Max. 7, 6, 5 ; Frontin. *Aq*. 123 ; Lex *Met*. *Vispac*. Frg. Bruns Font. [7] 30 ; Gaius *Dig*. 30, 65, 2 ; 41, 1, 7, 10-12 ; Ulp. *Dig*. 11, 8, 1, 8 ; 14, 1, 1, 12 ; Paul. *Dig*. 8, 2, 20, 4 ; 45, 1, 83, 5 ; Marcian. *Dig*. 48, 6, 3, 3 ; Spart. *Hadr*. 18, 2 ; Pallad. 1, 13, 1 ; Amm. 17, 10, 9 ; Cod. *Iust*. 3, 32, 2, 1 ; 10, 48, 12, 3 ; 15, 1, 36 ; Mar. Victor *Aleth*. 3, 240 ; *materies* : Rufin. *Basil*. *hom*. 5, 12, p. 1774 [D] ; Cod. *Iust*. 11, 16, 18 ;
— « mortier, ciment, liant », *materia* : Plin. *Nat*. 36, 175 ; 36, 188 ; Pallad. 6, 11, 2.

3. *Materia/materies* chez Vitruve

Materies/*materia* « bois, matière, matériau, tuf volcanique possédant des conduits de dégazage, mortier, liant » est usité 73 fois. 1, 1, 1 / 1, 3, 2 / 1, 5, 3, / 1, 5, 8 / 1, 7, 2 / 2, 0, 5 / 2, 1, 3 / 2, 1, 4 / 2, 1, 5 / 2, 1, 7 / 2, 1, 7 / 2, 1, 8 / 2, 1, 9 / 2, 4, 1 / 2, 5, 1 / 2, 5, 1 / 2, 6, 5 / 2, 6, 6 (ter) / 2, 8, 2 (ter) /2, 8, 3 / 2, 8, 6 (bis) / 2, 8, 7 (bis) / 2, 8, 20 / 2, 9, 1 / 2, 9, 3 (bis) / 2, 9, 4 / 2, 9, 10 / 2, 9, 12 / 2, 9, 13 / 2, 9, 15 (bis) / 2, 9, 16 (ter) / 2, 9, 17 / 2, 10, 2 / 3, 0, 4 / 3, 3, 5 / 4, 0, 1 / 4, 7, 5 / 5, 6, 7 / 5, 10, 3 / 5, 12, 3 / 6, 8, 3 / 7, 1, 2 / 7, 1, 6 / 7, 1, 7 / 7, 2, 2 / 7, 3, 1 / 7, 3, 2 / 7, 3, 6 / 7, 3, 9 / 7, 3, 10 / 7, 4, 5 / 8, 3, 12 / 10, 1, 1 / 10, 2, 11 (bis) / 10, 6, 4 / 10, 8, 1 / 10, 13, 2 / 10, 14, 3 / 10, 15, 2 / 10, 15, 4 (bis) / 10, 15, 6 [663].

— *materia* « matériau » : 1, 1, 1 /1, 3, 2 /1, 5, 8/ 1, 7, 2/ 2, *pr*., 5/ 2, 1, 8 / 2, 1, 9 / 2, 8, 20 / 3, *pr*., 4 / 4, *pr*. ,1.
— *materies* « bois » : 2, 9, 1 / 2, 9, 2 / 2, 9, 10 / 2, 9, 13 /2, 9, 15 / 2, 9, 16 /2, 9, 16 / 2, 9, 17 / 5, 10, 3/ 6, 8, 3/ 7, 1, 2/ 7, 2, 2, / 10, 15, 4.
— *materia* « tuf volcanique possédant des conduits de dégazage » : 2, 6, 5 / 2, 6, 6 (ter). *Materia excocta* « tuf volcanique peu consolidé possédant des conduits de dégazage et fournissant du sable volcanique » : 2, 6, 6.
— *materia* « mortier » : 2, 5, 1 / 2, 5 , 1 / 2, 8, 2 / 2, 8 ,2 / 2, 8, 2/ 2, 8, 3/ 2, 8, 6 / 2, 8, 6/ 2, 8, 7 / 2, 8, 7/ 5, 12, 3 /7, 1, 7 / 7, 3, 9 / 7, 3, 10.
— *materies* « mortier » : 2, 4, 1 / 7, 1, 6 / 7, 3, 2 /7, 3, 6 / 7, 4, 5.

Nous n'étudierons pas les sens de *materia* « bois » et « matériau » qui n'entrent pas dans le cadre de notre analyse.

3.1. *Materia* et sa nature géologique (2, 6, 5-6)

Le lexème *materia* « tuf volcanique possédant des conduits de dégazage » et *materia excocta* « matière pouzzolanique issue d'un tuf peu consolidé ayant subi le feu volcanique » ont déjà été étudiés dans *Carbunculus*.

3.2. La *materia* « mortier, liant » et les règles de fabrication du mortier terrestre (2, 4, 1; 2, 5, 1)

En 2, 5, 1, Vitruve expose la *ratio mixtionis temperaturae* (2, 5, 1) « la règle de proportion du mélange », qui est en langage technique moderne, le ratio granulats/chaux éteinte [664] : « Quand la chaux sera éteinte, on gâchera le mortier en y versant trois parts de sable pour une de chaux, s'il s'agit de sable [volcanique] fossile; mais si le sable est de rivière ou de mer, on mélangera deux parts de sable à une de chaux. Les proportions du mélange seront ainsi exactement dosées. Si, comme troisième part, on ajoute au sable de rivière ou de mer des tuileaux broyés et tamisés, on obtiendra par ce dosage un mortier de meilleur usage. » [665]

---

[663] Callebat, Fleury 1995, pp. 19-20, 34, 38.
[664] *Ratio* se retrouve, si l'on se limite au seul livre II, vingt-deux fois. Si la majorité des occurrences ont le sens de « manière, principe », deux d'entre elles ont le sens de « rapport, proportion » : 2, 1, 7 pour les proportions architecturales et 2, 5, 1 pour le *ratio* sable/chaux.
[665] Trad. L. Callebat.

3.2.1. L'ordre de corroyage du liant (*materiam miscere* 2, 5, 1) et les types des *materiarum* selon leur usage chez Vitruve

L'exposé des proportions en 2, 5, 1 constitue assurément une notice technique : l'usage du subjonctif présent passif d'ordre (*materia misceatur*) et du pronom indéfini rend le maçon absent de la description. Les deux verbes désignant le fait de mélanger (*infundere* « verser », *coicere* « jeter en tas ») peuvent commuter dans ce contexte de 2, 5, 1. Le corroyage ou gâchage (Fig. 1) s'exprime par le syntagme verbal *materiam miscere* « gâcher, corroyer le mortier » (Vit. 2, 5, 1). Chaque auteur appelle le mortier d'un nom différent. Pour Caton (*Agr*. 18, 7), il s'agit de *calx harenatus* ; Vitruve l'appelle *materia* « matière première, mélange » ; le Naturaliste (*Nat*. 35, 176) le nomme *intrita* « soupe, mélange, mortier ».

Sur le lieu de mélange (aire de terre battue ou autre) ou dans le *mortarium*, l'*harena* est disposée en cratère (1 à 3 m de diamètre) au milieu duquel on dépose la chaux éteinte. L'ordre syntaxique en 2, 5, 1 indique ce mode opératoire où l'agrégat est posé sur l'aire avant d'y mêler la chaux : pour le sable volcanique, on verse sur le sol (*infundatur*) trois parts d'*harenae* (*tres partes*), puis une part de chaux (*una calcis*). On retrouve cet axe syntaxique (*harena* + *calx*) en 5, 12, 2 (*uti in mortario duo ad unum respondeant)*, mais en 7, 1, 5 notre architecte inverse les termes : deux volumes de chaux correspondent à cinq de granulats (*calcisque duae partes ad quinque mortarii mixtionibus praestent responsum*). Enfin, Vitruve exprime ses proportions avec le lexème *pars* « part, volume », et non en quantité massique.

En 2, 5, 1, notre architecte énumère trois liants qui caractérisent l'architecture romaine : celui pour les murs, celui pour les enduits, et l'*opus signinum* (Fig. 33).

***Materia* pour les murs**

— *tres (partes) harenae et una calcis infundatur* « verser trois parts de sable volcanique et une part de chaux (hydraulique, maigre) » : mortier pour les murs porteurs, les voûtes concrètes et fondations. Ratio du mortier : 3/1.

***Materia* pour enduit**

— *duo (partes) harenae (fluuiaticae aut marinae), una calcis coiciatur* « jeter en tas deux parts de sable de rivière ou de mer, et une part de chaux (aérienne) » : mortier pour enduit et joint. Ratio du mortier : 2/1.

Opus signinum

— *Etiam in fluuiatica aut marina si qui testam tunsam et succretam ex tertia parte adiecerit* « Si dans le sable de rivière ou de mer, quelqu'un avait ajouté de la *testa*, broyée et tamisée, à raison d'un tiers » : liant d'*opus signinum*.

Le broyage (*tundere*) au pilon (*uectis*) et le tamisage fixe (*succernere*) permettent d'obtenir une *testa* normalisée, correspondant à la dimension d'un sable. Le passage au crible est aussi employé pour les enduits de poudre de marbre (Vitr. 7, 6, 1). La méthode consistant à ajouter de la *testa* à la chaux apporte l'équivalent d'une pouzzolane et permet à la chaux de durcir sous l'eau et par là de la rendre étanche : on obtient de l'*opus signinum*. L'ajout de cette pouzzolane artificielle à n'importe quelle chaux (hydraulique, maigre, aérienne) rend le liant obtenu utilisable pour les murs, les voûtes, les jointoiements et les enduits.
Ratio du mortier : 2 parts de sable ordinaire + 1 de *testa* / 1 de chaux.

3.2.2. La « règle de proportions du mortier » *ratio mixtionis temperaturae* (2, 5, 1) : cahier des charges et *compendium* des textes vitruviens et des connaissances modernes

La notice de 2, 5, 1 donne trois proportions pour les mortiers les plus utilisés. Il est donc aisé d'en dégager une recette type et une *lex operis* « règle d'œuvre, cahier des charges » et de les confronter avec les connaissances techniques et archéologiques.

- ***Prolégomènes sur les chaînes opératoires que mentionne à peine Vitruve***

Broyage et tamisage des agrégats

Avant de corroyer le mortier, il vaut mieux broyer et tamiser les agrégats. Par une correction de la texture de l'*harena* et de la *testa*, on obtient ainsi du « sable » et « gravier » homogènes qu'on peut mêler à la chaux dans l'auge à mortier ou l'aire de mélange. Comme le montre le graphique de Sötenich, le *caementum*, l'*harena* et la *testa* ont une granulométrie précise pour un usage de mortier ou de béton.

Pour broyer, on recourt à des pilons, que Vitruve mentionne par *uectis* (7, 1, 3 / 7, 3, 10 / 8, 6, 14), et par *pilum ferreum* « pilon de fer » (7, 9, 1) [666]. Enfin, on passe au crible le matériau broyé : la préparation de ces mélanges, comme un mortier ou un enduit, comporte un matériau meuble (ou plusieurs) et de l'eau, et suppose, au minimum, l'utilisation de la pelle et aussi du tamis. Celui-ci est l'instrument permettant d'obtenir un matériau d'un grain déterminé, les éléments trop gros étant arrêtés par un grillage [667]. En 2, 5, 1, Vitruve se sert non du substantif latin *cribrum*, *cribellum* « tamis, crible », mais d'un verbe de la même famille *succernere* « tamiser, cribler ». De nos jours, au travers d'un tamis fixe (en position oblique ou suspendue), l'ouvrier jette à la pelle l'agrégat broyé. Ainsi, on récupère l'agrégat tamisé d'un côté, tandis que le matériau non criblé est rejeté [668]. Par ce procédé, on a une granulométrie précise de sable, laquelle permet alors l'emploi d'unité volumique au moyen de récipients (amphore, seau, etc.). Le tamis peut être fait d'osier, car tout comme la couture ou le tissage, la vannerie est un art ancien [669]. Dans les mortiers de l'époque augustéenne, la granulométrie varie peu et cela permet de supposer que le tamisage des agrégats était entré dans l'usage [670]. Auguste crée la curatèle des édifices publics pour des moyens de contrôle efficaces. On constate une normalisation de la provenance des matériaux entrant dans un *opus caementicium* : à Rome, les terrains voisins de Trois Fontaines (au sud de Rome) fournissent l'essentiel de la pouzzolane et des *harenae fossiciae*, tandis que les carrières de Saxa Rubra sur la voie flaminienne procurent aux maçons la grande masse des *caementa* dont, écrit P. Gros « le module est réduit par rapport à celui des périodes antérieures ». Il est possible, comme le suggère G. Lugli, que des équipes grecques aient formé les ouvriers italiques : les premières devaient apporter de Grèce des méthodes de travail inhabituelles pour les seconds. Cependant, on ne saurait conclure à la présence effective d'ouvriers grecs sur les chantiers urbains : ce sont plutôt des techniciens et des artisans spécialisés hellènes qui devaient former au fur et à mesure les ouvriers locaux dont ils avaient besoin. Ceux-ci après leur apprentissage aux procédés grecs ont vraisemblablement pu devenir à leur tour des artisans confirmés et ainsi diffuser le savoir acquis [671].

---

[666] Callebat, Fleury 1995 pp. 50-1 et 57-58.
[667] Ginouvès, Martin 1985, p. 125. Sur le terme *cribellum*, *cribrum*, cf. *T. L. L.* IV, col. 1189, l. 8-16 et col. 1189-1190, l. 49-23.
[668] Houben, Guillaud 1995, pp. 86-87, 113, 194-195, 218 et 220.
[669] Forbes 1964, pp. 175-195 ; p. 185, planche 24 pour un tamis romain en vannerie.
[670] Blake 1947, p. 314: il faut attendre apparemment le début du deuxième siècle de notre ère pour que des tamisages plus fins soient employés.
[671] Gros 1976 a, p. 68 ; Lugli, 1957, p. 407.

Test de Vicat: comment discriminer les sables

D. Moore pense que les ingénieurs romains avaient des procédures pour préparer le mortier [672]. Comme pour l'extinction de la chaux, il est nécessaire de faire des tests pour éprouver les mélanges : comment distinguer un sable ordinaire (*harena fluuiatica*) d'un sable volcanique (*harena fossicia*) ? L'essai le plus simple est celui de Vicat qui permet de les discriminer. Ainsi, on plonge le mortier chaux/sable pouzzolanique dans l'eau : il prend déjà après un jour ; il devient plus dur le troisième et le devient davantage que la brique au bout de 12 mois.

Soins à apporter au mélange

D. Moore résume les conditions pour faire un bon béton/mortier [673]. D'abord, une chaux (hydraulique, maigre, grasse) de bonne qualité ; ensuite, il faut un certain pourcentage d'eau dans le mélange : s'il y a trop de liquide, on ne peut pas damer le liant. Pour J.-P. Adam, on « mouille » moins des fondations et du remplissage qu'un enduit ou un joint, car les premiers sont plus ventilés [674] ; les fondations et le remplissage durcissent aussi grâce aux ajouts pouzzolaniques alors qu'un enduit ou un joint de chaux grasse, en contact avec l'air, prennent avec le gaz carbonique. D. Moore rappelle encore que les proportions de chaux et de sable doivent être respectées, que la masse hydratée doit être compactée et qu'enfin, dans un coffrage, on doit couvrir le béton ou faire en sorte que l'eau du blocage ne s'évapore pas.

En fonction des essais de différenciation, entre les *harenae* (sables pouzzolaniques et les autres) et les chaux (hydrauliques, maigres, aériennes), et de leurs qualités respectives, le maçon consciencieux choisit donc les matériaux, *calx* et agrégats (*harenae*, *testa*), et les mélange pour en faire un mortier qui aura les propriétés attendues.

- ***Les textes vitruviens (2, 5 1 ; 5, 12, 2 ; 7, 1, 5 ; 7, 2, 1 ; 8, 6, 14) et catoniens* (Agr. *15, 1 ; 18, 7)***

Matériel et lieu à disposition

— *ascia*: rabot (Vit. 7, 2, 1) à mélanger la chaux et le sable. Cette houe à très long manche (3,5 m) possède une lame, qui fait avec le manche un angle aigu, et cela permet au maçon d'écraser les grumeaux de chaux et de mêler les agrégats à l'hydroxyde de calcium.

[672] Moore 1995,p. 193.
[673] Moore 1995, p. 198.
[674] Adam 1995, p. 78.

— *calx macerata* (7, 2, 1)/*extincta* (2, 5 1): chaux (aérienne, hydraulique, maigre) éteinte, pâte de chaux contenant 50 % d'eau.
— *mortarium* : auge ou bassin à mélanger (5, 12, 2/7, 1, 5).
— *aqua*: eau entre 15 à 20 % (ou plus) du mortier [675].
— *uectis/pilum* : pilon (Vitr. 8, 6, 14/Cato *Agr*. 18, 7). Les granulats trop gros pour être mélangés dans l'auge à mortier peuvent être broyés au pilon, pour obtenir une *harena* homogène [676].
— crible et tamis fixe (*cribrum*) qui permettent d'utiliser un agrégat de granulométrie courante [677]. Par le tamisage, on élimine les matériaux trop gros pour être mélangés dans le *mortarium*, mais qui seront ajoutés comme gros agrégats (*caementum*) au béton.
— agrégats (2, 5, 1):
harena fossicia « sable volcanique à propriétés pouzzolaniques » [678];
harena fluviatica « sable de rivière »;
harena marina « sable de mer »;
testa tunsa et succreta « argile kaolinitique cuite broyée et sassée ».
— amphore, dont on a cassé la moitié supérieure, ou seau métallique pour le transport et le dosage [679]. La mesure des proportions se fait avec des volumes de contenance : l'amphore ou le seau sont des moyens de les calculer.
— lieu de préparation et de stockage : aire de terre battue (peut-être *area* : « emplacement pour bâtir » (Cic. *Rep*. 2, 31), « aire à battre le blé » (Cato, *Agr*. 129; Cic. *Verr*. 3, 20; Hor. *Sat*. 1, 1, 45)) et pièce, couloir, ou tout autre endroit abrité [680].

Les unités de volume pour le dosage du mortier chez Caton (**Agr.** *15, 1*)

Vitruve se sert d'une vague unité de volume (*pars*) pour ses proportions de sable et de chaux. On doit lire Caton (*Agr*. 15, 1), afin de trouver des indications sur la quantité de chaux et d'agrégats au moyen d'une unité de mesure pour une longueur donnée: « Le propriétaire (*dominus*) fera les fondations (*fundamenta faciat*) et pour le travail fournira, pour chaque pied de longueur, un *modius* de chaux, deux *modii* de sable (*et ad opus praebat calcis in p. singulos longitudinem* (*opus est*) *modium unum, harenae modios duos*). » [681]

---

[675] Adam 1995, p. 78. Peut-être aussi de 15 à 30 % comme pour du torchis, cf. Houben, Guillaud 1995, p. 33.
[676] Houben, Guillaud 1995, pp. 218 et 220.
[677] Les termes latins entre parenthèses ne sont pas dans les extraits vitruviens étudiés.
[678] Sur les éléments chimiques qu'apporte le sable volcanique à la chaux: Davidovits, Davidovits 1999a et b.
[679] Adam 1995, p. 78.
[680] Adam 1995, p. 78.
[681] Trad. R. Goujard.

Pour un pied de long (0,295 m), on aura un *modius* (8,754 l) de chaux pour deux *modii* de sable volcanique. Caton utilise le *modius*, unité de mesure pour les solides chez les Romains [682]. Il ne précise pas la profondeur des fondations; il faut alors prendre l'unité de volume du pied, à savoir le « pied cube » ou « quadrantal » ou « amphore » (*pes quadratus*). Le *modius* équivaut au tiers du quadrantal : ainsi, le rapport chaux/sable (1/2) est de trois *modii* et ce volume équivaut à un quadrantal.

On peut donc supposer que pour un pied cube de fondation (25,672375 l), on a trois *modii* de matériaux: un de chaux et deux de sable volcanique, l'eau étant déjà contenue dans la chaux éteinte [683]. Le quadrantal se divise en *congius* « conge » (3,21 l) [684] : un quadrantal vaut 8 conges, et le conge vaut 6 *sextarii*. Si l'on exprime en conge le ratio chaux/sable volcanique (1/3) de Vitruve (2, 5, 1), on obtient, pour un quadrantal, faire deux fois ce ratio (2 x 1 conge/3 conges).

D'une manière générale, Caton et Vitruve mesurent les proportions de mortier en volume : les artisans utilisent donc des unités de volume (*modius*, conge, *sextarius*), ou des récipients, comme cette amphore de 22, 71 l., qu'on a retrouvée à Pompéi et qui contenait de la chaux [685].

- ***Métrologie des granulats et de la chaux d'après le graphique de Sötenich (2, 5, 1)***

Le graphique de Sötenich est utilisé pour déterminer la quantité massique de granulats dans les trois mortiers énumérés par Vitruve (2, 5, 1) [686]. La courbe établit que l'*harena* vituvienne est inférieure à 2 mm. Ainsi, le pourcentage massique de granulat tamisé (*harena fluuiatica*, *harena fossicia*, *testa*) donne pour un volume :

— 33,33 % inférieur à 0,25 mm: 0,5 kg;
— 66,66 % entre 0,25 et 2 mm: 1 kg.

On prend une densité moyenne de 1,5 pour le granulat tamisé — le sable tamisé a une densité de 1,45 à 1,6 — que l'on multiplie par le pourcentage massique pour obtenir la masse exprimée en kg. On fait l'opération inverse pour le volume : 0,333 l (0,5 kg) et 0,666 l (1 kg).

---

[682] Cf. A. Baudrillart, *s. v.* Modius in *Dictionnaire des antiquités grecques et latines*, édit. Ch. Daremberg et E. Saglio, volume 3, Paris, Hachette, 1918, p. 1957-1958.
[683] On fabriquait des récipients de 3 ou de 10 *modii*: cf. Plaut. *Men*. 15 et Colum. 12, 50, 8.
[684] A. Sorlin-Dorigny, *s. v.* Quadrantal in *Dictionnaire des antiquités grecques et latines*, édit. Ch. Daremberg et E. Saglio, volume 4, Paris, Hachette, 1918, p. 796.
[685] Signalé par Moore 1995, p. 202 ; Adam 1995, p. 78 et note 115, p. 108 indique qu'on a retrouvé plusieurs amphores contenant de la chaux à Pompéi : « maison du beau soffite » V, 3, 4 et en VII, 3, 17.
[686] Cf. *Caementum* et *testa* pour l'utilisation du graphique et la méthode de calcul.

Pour la chaux, à partir de la proportion d'eau habituellement utilisée par les maçons pour éteindre la chaux vive (2 volumes d'eau pour éteindre 1 volume de chaux vive), on admet que la pâte de chaux éteinte contient 50 % d'eau libre ; le tout correspond à un poids volumique de 1300 kg/m^3 [687].

On peut donc déterminer pour chacune des trois *materiae* :
— *materia* pour les murs : *tres (partes) harenae et una calcis infundatur* « verser trois parts de sable volcanique et une part de chaux (hydraulique, maigre) » : ratio du mortier : 3 l (4,5 kg)/1 l de chaux (1,3 kg) ;
— *materia* pour enduit : *duo (partes) harenae (fluuiaticae aut marinae), una calcis coiciatur* « jeter en tas deux parts de sable de rivière ou de mer, et une part de chaux (aérienne) » ; ratio du mortier : 2 l (3 kg)/1 l (1,3 kg) ;
— *signinum* : *etiam in fluuiatica aut marina si qui testam tunsam et succretam ex tertia parte adiecerit* « si dans le sable de rivière ou de mer, quelqu'un avait ajouté de l'argile kaolinitique calcinée, broyée et tamisée, à raison d'un tiers » ; ratio du liant: 2 l de sable ordinaire (3kg) + 1 de *testa* (1,5 kg) / 1 l (1,3 kg) de chaux.

Voici reconstituées les données qualitatives et quantitatives des composants d'un liant. Dans l'analyse chimique d'un mortier, en connaissant les données (densité de la chaux éteinte, densité d'un agrégat et proportion en volume chaux éteinte / agrégat), on pourra calculer la quantité d'eau contenue. M. Frizot a analysé l'échantillon de mortier de *testa* n°P20b : celui-ci a une densité de 1057 kg/m^3, et le ratio chaux éteinte/agrégat est 1/2. À partir d'un calcul simple, on obtient la densité de cet échantillon (3114 kg/m^3) et la proportion finale d'eau dans le mortier (20,8 %) [688]. Les pourcentages d'eau généraux pour des mortiers donnés par J. P. Adam (15-20 %) sont donc corrects.

3.2.3. Préparation de la pâte de chaux (7, 2, 1)

L'étape suivante mentionnée par la littérature archéologique est 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 a brisé la partie haute et étroite. M. Frizot a eu la possibilité d'analyser le contenu d'une de ces amphores en provenance du Monument de Vaugrenier [689], lui permettant de mettre en évidence la grande pureté de la pierre à chaux exploitée pour ce chantier. Mais il y a une étape intermédiaire de la chaîne opératoire avant

[687] Chaux 650 kg/m3 + eau libre 650 kg/m3 ; Moore 1995, p. 202 ; Frizot 1975, p. 303.
[688] Frizot 1975, p. 303 ; le calcul est le suivant : 2 x 1057 + 1300 = 3114 kg/m^3. A partir de là, la proportion d'eau est, dans le mortier, de (650/3114) 0,2087 l.
[689] Frizot 1975, p. 207.

le transport de la chaux éteinte et le gâchage, sur laquelle on n'insiste pas assez souvent, et qui n'est pas souvent mentionnée par les archéologues : il s'agit d'un premier corroyage de la chaux que Vitruve situe dans le bassin d'extinction (*lacus*).

Éteinte d'après le procédé le plus courant, « extinction ordinaire » ou « à grande eau », la chaux doit reposer quelques jours (jusqu'à vingt jours) et la pâte devient blanche, onctueuse et souple, déjà dotée de propriétés liantes, mais son séjour doit être prolongé afin que les processus de cristallisation arrivent à maturation. Il a déjà été fait mention de l'utilisation avantageuse d'un instrument métallique pour corroyer la chaux éteinte (cf. *Calculus*).

Cette opération de corroyage dans le bassin d'extinction est indispensable à la fois pour garantir une bonne extinction, mais aussi une bonne teneur en eau. Vitruve, conscient de cette opération essentielle, si l'on veut une chaux éteinte de qualité, insiste bien sur le mode opératoire en 7, 2, 2 : « Mais quand on aura observé la règle du trempage et fait avec beaucoup de soin ce travail préparatoire aux opérations de revêtement, on prendra un rabot et, de même que l'on dole le bois, de même on corroiera avec le rabot la chaux détrempée dans son bassin (*sumatur ascia et, quemadmodum materia dolatur, sic calx in lacu macerata ascietur*). Si le rabot rencontre des nodules, c'est que la chaux ne sera pas à point (*Si ad eam offenderint calculi, non erit temperata*); si le fer sort sec et propre, cela indiquera qu'elle est amorphe et desséchée (*cumque siccum et purum ferrum educetur, indicabit eam euanidam et siticulosam*) ; mais si elle est pâteuse et bien détrempée, elle adhérera à cet outil de fer comme de la glu et prouvera qu'à tous égards elle est à point (*cum uero pinguis fuerit et recte macerata, circa id ferramentum uti glutinum haerens omni ratione probabit se esse temperatam*). » [690]

L'usage du rabot permet au chaufournier ou au maçon d'écraser les grumeaux de chaux. La chaux est *temperata* lorsque le degré de viscosité à l'intérieur de la pâte montre que l'eau est bien liée avec l'oxyde de calcium : il n'y a plus de grumeaux. La préparation, telle que la présente Vitruve, est celle que l'on fait pour les enduits, et elle représente la meilleure manière d'apprêter la chaux et de garantir un bon taux d'eau libre dans la pâte.

3.2.4. Le gâchage de la *materia* d'après les données archéologiques

En toute logique, la proportion d'eau de gâchage, qui s'établit en fonction du climat donc du taux d'évaporation, et de l'usage, se retrouve dans la proportion d'eau finale au moment de la prise. Un liant destiné à des fondations ou à un remplissage possède un pourcentage d'eau moins important qu'un mortier de jointoiement ou d'enduit. Le mélange avec l'agrégat se fait à proximité de la construction en cours, sur une aire de terre battue, où l'on disposera le sable en forme de cratère (de 1 à 3 m de diamètre). Au milieu de celui-ci, on

[690] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

dépose le tas de chaux grasse transporté depuis la fosse d'extinction. J. P. Adam écrit qu'on a retrouvé l'empreinte d'un seau métallique dans la maison de la chapelle iliaque à Pompéi (I, 4, 4), où fut découvert là aussi, au milieu du sable volcanique, le tas de chaux abandonné soudainement sans avoir été corroyé, lors de l'éruption de 79 *p. C.* Toujours à Pompéi, la chaux grasse peut être aussi entassée dans un couloir, une pièce, bref tout endroit abrité (maison du Moraliste, maison de la chaux, villa des Mystères). Pour faire son mortier, le maçon ajoute au fur et à mesure l'eau et mélange longuement le liant et les agrégats à l'aide du rabot (*ascia*) ; cela permet au maçon d'écraser les grumeaux de chaux et de mêler les granulats à l'hydroxyde de calcium.

Pour D. Moore, le meilleur contrôle de la qualité de la chaux passe par la maîtrise du pourcentage d'eau tout au long de la chaîne opératoire jusqu'au gâchage. Pour lui, ce pourcentage résulte d'une addition de l'eau d'extinction, de l'eau du transport dans le seau ou l'amphore et de celle, enfin, du gâchage. Cette dernière opération nécessite aussi peu d'eau que possible, mais juste en quantité suffisante pour un bon brassage [691].

L'exposé de la règle des proportions du mélange (*ratio mixtionis temperaturae*), qui est le résultat d'un long empirisme, figure les cas généraux qu'on rencontre dans le bâtiment:
— ajout d'*harena fossicia* à la chaux (3/1): murs porteurs, voûte concrète, *structura caementicia*.
— ajout d'*harena* « ordinaire » à la chaux (2/1): enduits, revêtements.
— ajout de *testa* à la chaux (2+1/1): enduits étanches (*opus signinum*).

Les ratios simples agrégats/chaux donnent une échelle mathématique à la *temperatura*, laquelle est la combinaison entre les matières naturelles et artificielles. Pour Vitruve, la *ratio mixtionis temperaturae* est la condition de l'existence du mortier. Caton (*Agr.* 15, 1) est le seul écrivain à nous donner un ratio chaux/sable volcanique, exprimé en une unité de volume, le *modius*. Or, comme le dit M. Frizot, cela complique la tâche des archéomètres, car l'analyse chimique d'un mortier ne donne que des pourcentages en poids. Il faut donc tenir compte de la « masse volumique » ou de la « densité », exprimée en kg/m^3, du matériau (agrégat), difficile à déterminer et assez fluctuant. De plus, la marge d'appréciation la plus large est celle de la chaux éteinte, c'est-à-dire de la proportion chaux/eau libre, mais qu'on admet en moyenne à 50 % d'eau et donc à 1300 kg/m^3 [692]. L'analyse chimique d'un mortier (de *testa*, d'*harena fossicia*, etc.) fournit la densité de l'agrégat et les proportions en volume chaux éteinte/agrégat ; en revanche, le pourcentage d'eau dans la chaux se fait par estimation, au dire de M. Frizot, qui n'avait pas, en 1977, accès à des moyens plus sophistiqués que l'analyse chimique. En faisant la synthèse des ratios des auteurs anciens et ceux des échantillons archéologiques, M. Frizot retrouve les proportions

[691] Adam 1995, pp. 78-79 ; Moore 1995, p. 202.
[692] Frizot 1975, p. 303.

moyennes (chaux/agrégat) de 1/2 à 1/3 des textes anciens, mais celles-ci n'ont pas la régularité qu'on espère dans les échantillons analysés où les ratios peuvent être inférieurs ou supérieurs à cette marge de 1/2 à 1/3 (cf. *Introduction*).

En plus des proportions de la chaux et des agrégats, le contrôle du pourcentage d'eau dans la chaux est indispensable pour garantir une bonne *materia*. Vitruve met l'accent sur les ratios agrégats/chaux et décrit la manière dont on doit éteindre et corroyer la chaux dans le bassin d'extinction. Ces deux opérations se font au même endroit d'après Vitruve (7, 2, 2), mais celui-ci n'insiste pas suffisamment sur le gâchage de la *materia*. Pour D. Moore, l'ajout de la quantité d'eau nécessaire à la chaux se fait essentiellement au moment de l'extinction et non pas lors du gâchage. Bien évidemment, l'exigence qualitative peut ne pas être présente à toutes les étapes de la chaîne opératoire, car beaucoup de facteurs peuvent rentrer en jeu : la qualité du calcaire (magnésique, silico-alumineux) et de la cuisson, la conscience professionnelle du maçon ou du chaufournier, etc. Toujours est-il que la *materia* est un matériau composite : un mélange de dur (*harena*, *testa*) et de mou (*calx macerata*).

M. E. Blake constate une évolution dans le ratio granulat/chaux depuis Caton jusqu'à Pline. Le rapport de 2/1, avec de l'arène pouzzolanique ou un sable sédimentaire, donne de nos jours un liant non hydraulique qu'on utilisait traditionnellement dans un mur de pierre taillée, un blocage, une maçonnerie de briques ou dans une matrice d'un béton de faible cohérence. Dans les opérations de construction, cet usage était assez rare à Rome et dans les environs, car on avait à sa disposition du mortier hydraulique à base de pouzzolane. Le ratio de 2/1 est utilisé par Caton, lequel ne fait pas de distinction entre la pouzzolane et le sable ordinaire. S'il a obtenu cette information dans ses jeunes années, dans la ferme de son père près de Réate, il pensait sûrement à du sable de rivière. Vitruve, un siècle après, donne cette proportion pour le sable de rivière et de mer. Si ce ratio de 2/1 était la proportion courante, l'expérience a montré qu'en ajoutant une part supplémentaire de *testa*, on obtenait du *signinum* (3/1). Au siècle suivant, Pline (*Nat*. 36, 175) indique un ratio de 3/1 avec du sable ordinaire [693].

3.3. *Materia* et les enduits

Dans le troisième chapitre du livre VII, Vitruve décrit la manière romaine de poser les enduits : il insiste sur la pose du liant sur les murs. En effet, le talochage et le battage donnent à l'enduit sa finition et le lent durcissement du carbonate de calcium sous l'effet du gaz carbonique, permet au *tector* de poser un décor stuqué ou peint. Les notices vitruviennes sur le corroyage et le gâchage des enduits sont éparses dans le troisième chapitre du livre

[693] *Monografia dellà città di roma et della campagna romana*, volume 1, Rome, 1881, pl. 4, cité par Blake 1947, p. 316.

VII : on les trouve en 7, 3, 6 et 10. Les autres passages concernent l'application des *tectoria* sur les murs.

3.3.1. Préparation de la *materia*: synthèse sur les enduits à la grecque et l'enduit de marbre (7, 3, 6 et 10)

Vitruve (7, 3, 10) indique la manière dont les *tectores* grecs mélangent leurs ingrédients : « une fois que l'auge a été mise en place et que la chaux et le sable y ont été versés (*sed etiam mortario conlocato, calce et harena ibi confusa*), les Grecs font appel à une équipe d'ouvriers qui battent le mortier avec des pilons de bois (*decuria hominum inducta ligneis uectibus pisant materiam*); et, quand il a été ainsi travaillé tant et plus, alors ils l'emploient (*et ita ad certamen subacta tunc utuntur*). » En 7, 3, 6, pour la fabrication des enduits de marbre, il conseille : « Lorsque, en plus du gobetis, on aura façonné au moins trois couches de mortier de sable, alors il faut dresser des cueillies au mortier de marbre concassé, en prenant soin de le composer de telle façon que, lorsqu'on le malaxe, il ne colle pas à la pelle, mais que le fer sorte propre de l'auge (*dum ita materies temperetur, uti, cum subigatur, non haereat ad rutrum, sed purum ferrum e mortario liberetur*). » [694]

- ***Choix des matériaux pour les enduits***

La chaux pour enduit est en principe une chaux aérienne. Vitruve (2, 5, 1) explique qu'il faut prendre une « pierre poreuse », *saxum fistulosum*, qui peut être du tuf calcaire poreux, du travertin, du calcaire tendre. Pour l'agrégat (2, 4, 3), il faut prendre du sable « neutre », comme de *l'harena fluuiatica* ou du *marmor excretum* « poudre de marbre tamisé » (7, 3, 3), du *minutum marmor* « marbre broyé » (7, 3, 8) ou encore de la *testa* pour avoir un enduit imperméable. D'après notre architecte, on ne se servira pas d'*harena fossicia* « sable volcanique », parce que l'importante granulométrie de ce sable empêche la chaux mêlée à de la paille de sécher sans fissures en raison de la violence de la prise.

- ***Matériaux et outils communs pour les enduits grecs et la poudre de marbre***

— *calx macerata* « chaux éteinte » (7, 2, 1): chaux grasse qui a été éteinte et corroyée de manière convenable ;
— *harena* (*fluuiatica, marina*) « sable (de rivière ou de mer) », qui agira comme un dégraissant et ne réagira pas au contact de la chaux (2, 5, 1 ; 7, 3, 10) ;
— *marmor graneum* « poudre de marbre » tamisée en dessous de 2 mm (7, 3, 6) ;
— *mortarium* « auge à mortier » (7, 3, 10);

[694] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

— *lignei uectes* « pilons de bois » (7, 3, 10) ;
— *rutrum* (7, 3, 6) « pelle pour étendre l'enduit ».

- ***Gâchage de l'enduit grec***

— *mortarium conlocare* « placer l'auge à mortier »;
— *calcem et harenam ibi confundere* « verser ensemble la chaux grasse et le sable »;
— *decuriam hominum inducere* « mettre au travail une équipe de manœuvres » ; la *decuria* est une équipe de manoeuvres disponibles sur le chantier ;
— *ligneis uectibus pinsare materiam* « battre le liant avec des pilons de bois »;
— *ad certamen* (*materiem*) *subagere et uti* « pétrir le liant avec émulation et l'utiliser »; l'équipe des manoeuvres "lutte" avec la pâte (*ad certamen subacta materia*). Le lexème *certamen* signifiant "combat, lutte", évoque métaphoriquement la lutte des manœuvres contre la pâte, qui exige un énorme travail musculaire.

Cet extrait est intéressant, car il donne une autre manière de travailler les enduits, illustrée par les *tectores* grecs. Si les ouvriers romains apportent leur soin à la pose et à la finition des enduits, comme l'indique Vitruve, leurs collègues grecs insistent plus sur le mélange chaux et *harena*. Leur expérience des enduits et des stucs datait du VII[e] siècle *a. C.* [695] En 7, 3, 10, notre architecte ne précise pas les proportions entre la chaux et le dégraissant (sable et marbre), pour faire l'enduit, puisqu'il les a déjà données en 2, 5, 1: 2 à 3 volumes de sable pour un volume de chaux.

Ce terme, *tector*, qui désigne le stucateur, c'est-à-dire le maçon spécialisé dans la pose des enduits, est apparenté à *tectorium*, « le revêtement d'enduit » et représente ici la catégorie des peintres-plâtriers. *Tector* apparaît quatre fois chez Vitruve et uniquement au livre VII: en 10, 2, en 10, 3, et en 14, 1. Ce lexème signifie aussi le fabricant de couleurs et le peintre. N. Blanc, après l'examen des sources antiques, reconnaît au *tector* des compétences assez larges, et conclut que les ouvriers d'un atelier devaient savoir tout faire [696]. Cette absence de spécialisation s'applique au *tector* de Vitruve : c'était un généraliste qui connaissait les techniques pour bien passer une couleur de fond, faire un enduit, ou modeler un décor en relief.

D'après Vitruve, les Grecs ont donc deux équipes : les stucateurs, ouvriers spécialisés, et les manoeuvres. La *decuria* est le groupe de manoeuvres disponibles sur un chantier pour les travaux n'exigeant pas de qualification particulière (transport des matériaux, battage des mélanges, etc.). Elle peut être constituée d'esclaves et appartenir à l'entrepreneur. Tout l'effort physique dans le gâchage de la *materia* est fait par la *decuria*. Le verbe *subigere* a aussi

[695] Cf. Furlan, Bisseger 1975.

le sens de « pétrir », notamment de « pétrir le pain » (cf. *Argilla*). Ce terme de métier de la boulangerie permet d'imaginer le travail musculaire des ouvriers, dans leur « lutte » contre la pâte. Vitruve ajoute *utuntur* (*materie*) « ils utilisent le liant »: l'affixe verbal *-ntur* peut référer aux *tectores* « stucateurs » ou aux *homines* « manœuvres ».

- ***Le gâchage de l'enduit de marbre (7, 3, 6)***

La *materies* de l'enduit de marbre est gâchée de manière moins spectaculaire que les stucateurs grecs. Néanmoins, le gâchage de cet enduit est caractéristique de la façon dont Vitruve conseille de corroyer la *materies* en général : « on le compose de telle façon que (*dum ita materies temperetur*) lorsqu'on le malaxe, il ne colle pas à la pelle, mais que le fer sorte propre de l'auge (*uti, cum subigatur, non haereat ad rutrum, sed purum ferrum e mortario liberetur*). » [697] À l'inverse du corroyage de la chaux en 7, 2, 2, où l'hydroxyde de calcium doit adhérer au fer du rabot (*ferramentum uti glutinum haerens*), notre architecte donne un signe pour montrer que le degré de viscosité de la *materies* est au point et cette fois le liant ne colle pas au métal de la pelle (*rutrum*).

3.3.2. Le problème du nombre de couches (7, 3, 6)

Vitruve (7, 3, 6) écrit ainsi sur le nombre de couches dont on revêt un mur : « Ainsi lorsque les murs auront été renforcés par trois couches de mortier de sable et autant de mortier de marbre (*Ita cum tribus coriis harenae et item marmoris solidati parietes fuerint*), ils ne pourront ni se fissurer, ni subir aucun autre dommage. » [698] Cet extrait est célèbre, car notre architecte recommande sept couches successives de trois qualités différentes pour réussir de bons enduits : trois d'enduit de sable, et trois autres de poudre de marbre. D'après les déductions faites à partir de ce passage et de tous les autres, on a supposé que les opérations de pose des revêtements en latin technique se nommeraient comme suit: une première couche grossière appelée *trullissatio*/gobetage, trois strates de mortiers de sable qui sont les *directiones* (couches de crépi en chaux et sable), ensuite trois *politiones* (couches de mortiers de marbre).

A. Choisy avait proposé un tel schéma [699]. Les formules ternaires (en 7, 3, 3, et en 7, 4, 1) inciteraient à croire facilement que les trois phases successives de la pose des enduits se nomment *trullissatio*, *directiones* et *politiones*. Le sens de *trullissatio* est clair, pour la première phase, et *directiones* est compris comme dénotant des couches réglées des phases 2 et 3. *Politiones* désigne certes les couches de la phase 3, mais ce lexème peut qualifier plus

[696] Blanc 1983, pp. 861-866.
[697] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[698] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[699] Choisy 1909 (vol. 1), p. 42.

précisément l'ultime « épiderme » de finition soigneusement polie qui reçoit le décor peint (7, 4, 4), et aussi, par extension, les peintures (7, 9, 4) ou les enduits (7, 4, 1) [700]. Il y a donc interpénétration sur le plan lexical de *directio* et *politio*: il est difficile de faire une distinction nette entre ces deux termes, qui devraient dénoter un revêtement intermédiaire réglé et un autre, qu'on lisse en vue de recevoir un décor. Il est même possible de supposer que l'enduit réglé soit une *directio* et que ce même enduit recevant un décor, soit lissé pour s'appeler *politio*. Cela peut s'expliquer, car Vitruve conseille théoriquement sept couches, mais suivant les usages, le stucateur ou le peintre décidaient du contenu, de l'épaisseur et du nombre de couches d'enduit. De plus, *politio* et *directio* ne tiennent pas compte de la nature des matériaux, qui constituent les revêtements.

En revanche dans de riches demeures, le nombre de couches peut aller jusqu'à six: ainsi dans la Maison de Livie sur le Palatin, et dans la Villa de la Farnésine à Rome [701]. Les recommandations de Vitruve, peu suivies dans la pratique courante, trouvent donc dans les édifices luxueux leur application théorique, mais il est vrai que la composition identique des trois couches de chaque enduit en rend souvent la détermination difficile pour l'archéologue [702]. On a trois couches de moins en moins épaisses et un dégraissant (sable ou poudre de marbre), de plus en plus fin. Cette constatation se retrouve généralement, mais il peut arriver que la dernière strate, sous-jacente à la peinture, contienne de gros éléments (cailloux, grains de marbre), et que son épaisseur soit alors plus importante que celle qu'on attendrait [703].

Pour expliquer ce décalage entre Vitruve et l'archéologie, il faut rappeler qu'il a tous les matériaux dont il a besoin, pour faire les murs, les enduits et les peintures. Au contraire, dans les exemples archéologiques habituels, on a affaire à des travaux ordinaires, qui nécessitent des matières premières courantes, donc peu chères. Tout cela nous ramène au concept mentionné en 1, 5, 8: dans le cadre d'un contrat de construction normal, l'architecte a à sa disposition un budget et il doit s'en satisfaire. Avec des matériaux usuels, l'épaisseur des enduits pour la peinture sera fonction de la grosseur ou de la finesse des produits. Mais, dans le cas théorique du livre VII, Vitruve imagine qu'il a un *dominus* généreux et qu'il dispose de tous les matériaux, quelque chers qu'ils soient, pour appliquer ses modèles de décoration. C'est pourquoi nous pouvons conclure que notre architecte exige de ses *tectores* un travail de qualité.

Avec 7, 3, 6, Vitruve écrit le résumé concernant les enduits, à base de poudre de marbre ou de sable. Ceux-ci sont au nombre de six ou sept, ce qui correspond à la quantité

---

[700] *Vitruve VII*, *Introduction*, pp. XXVI-XXVII et pp. 108-109, n. 2 et 3.
[701] Barbet, Allag 1972, pp. 963-967
[702] L. Vlad Borelli, « Il distacco di due pitture della Domus Transitoria con qualche notizia sulla tecnica di Fabullus », *Bollettino dell' Istituto centrale del restauro*, 1957, n° 29-30, p. 37 ; *Vitruve VII*, p. 113, n. 4.
[703] Barbet, Allag 1972, pp. 970-971. Cf. Adam 1995, pp. 237-238.

de couches posées dans les demeures de luxe, comme dans la Maison de Livie sur le Palatin, et dans la Villa de la Farnésine à Rome. Vitruve ne donne pas dans les travaux ordinaires ou bâclés, car c'est un professionnel exigeant.

3.3.3. *Materies ex calce et harena mixta*: l'enduit imperméable de l'extrados des berceaux (7, 3, 2)

Vitruve (7, 3, 2) décrit l'application d'un enduit imperméable sur ces berceaux, lesquels sont des voûtes de bois suspendues au plafond. Pour plus de sécurité, ces dernières sont faites en cyprès, en buis, en genévrier, en olivier, en rouvre ; ces bois résistent à l'humidité et au gauchissement : « Les chevrons mis en place, on y attachera, avec de la corde en sparte d'Espagne, des roseaux grecs écrasés, selon le profil voulu. Puis aussitôt, sur le dessus du berceau, on étendra un mortier de chaux et de sable (*materies ex calce et harena mixta*), pour retenir les gouttes d'eau qui pourraient tomber du solivage ou de la toiture. » [704]

Le mortier que l'on pose sur l'extrados du berceau doit résister au ruissellement de l'eau, surtout s'il est situé sous le toit. Vitruve, en 2, 8, 18, a évoqué le cas de tuiles arrachées par le vent et les possibles dégradations dues aux eaux de pluie sur les murs: le gobetage de l'extrados est une garantie supplémentaire en cas d'accident. Il donne ici au liant le nom de *materies*, qu'il avait déjà mentionné en 2, 5, 2, au mélange de la chaux et de l'*harena*. Quant à la nature de celle-ci, Vitruve n'en dit rien. Si l'*harena* doit fournir les vertus hydrauliques à la chaux, il pourrait s'agir de la poudre de *testa*, que Vitruve conseille en 2, 5, 2. Dans ce cas, celle-ci peut être considérée granulométriquement comme une *harena*, mais artificielle, puisqu'elle est faite d'argile kaolinitique cuite, broyée et sassée. L'*harena fossicia*, à cause de sa nature pouzzolanique, pourrait aussi convenir. Mais il se peut aussi que la chaux soit hydraulique. On aurait alors une *harena* calcaire ou siliceuse, qui ne serait qu'un « dégraissant ».

4. Conclusion

Materia/*materies* est un terme technique de charpentier : c'est-à-dire le tronc de l'arbre considéré en tant que producteur de rejetons (grumes, planches). Par extension, *materia* est le tuf volcanique peu induré qui fournit l'*harena fossicia* : ce pyroclaste est donc producteur de sable pour un liant (cf. *Carbunculus*). *Materia* désignerait par un raccourci métonymique le sable contenu dans le liant, puis le liant lui-même. Il en est de même pour *harena* ou *marmor* qui qualifient selon le même procédé l'enduit de sable ou de marbre.

[704] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

Materia au sens de « mortier » est employée d'abord par Vitruve. Pour cette acception, *materia* est plus couramment usitée que *materies*, mais l'emploi de l'une ou l'autre des variantes ne paraît pas avoir de raison précise : peut-être que notre architecte voulait faire de la *variatio sermonis* « variation de style », procédé banal dans la stylistique latine. *Materies* est utilisée dans les mêmes contextes techniques que *materia*. L'étude du champ notionnel de ce dernier lexème englobe le corroyage de la chaux à la fin de l'hydratation et son mélange avec l'agrégat. Elle est corroyée dans le bassin d'extinction pour éviter tout grumeau (7, 2, 2), ce qui garantit sa qualité. Quand la chaux est à point (*temperata*), celle-ci adhère au fer du rabot : c'est un signe prouvant la bonne viscosité de la pâte. Vitruve indique bien que le corroyage fait partie de la fin de l'hydratation : elle fait partie de la *ratio macerationis* « règle d'extinction de la chaux ». Cette étape doit donner l'essentiel de l'eau contenue dans la pâte. Ensuite viennent le transport et le mélange avec l'agrégat, lesquels doivent inclure le moins d'eau possible, sauf évidemment la quantité juste suffisante pour une bonne qualité de mixtion. Pour une bonne viscosité lors du gâchage, l'autre indice est l'inverse du précédent : le fer de la truelle ou du rabot ne doit pas coller au mortier, comme l'écrit Vitruve (7, 3, 10). La proportion d'eau (50 % ou plus de la densité de la pâte) est une des conditions essentielles de la prise du liant avec le respect des ratios agrégat/chaux. Évidemment, l'agrégat est de qualité, car il doit être propre, sans terre (cf. 2, 4, 1, pour l'*harena fossicia*) et tamisé. Le maçon doit donc suivre d'un bout à l'autre de la chaîne opératoire la proportion d'eau et le ratio granulat/chaux. En cela, il applique la « règle de proportion du mélange » *ratio mixtionis temperaturae* conseillée par notre architecte (2, 5, 1).

Materia/materies est un matériau composite : la chaux est une pâte molle qui durcit avec le temps. La présence d'un granulat dans la pâte correspond à ce que l'industrie appelle un « composite » : un matériau en phase solide, constitué d'au moins deux constituants dont les qualités respectives se complètent pour former un matériau aux performances globales améliorées.

15. Paraetonium

1. Etymologie de *paraetonium*

Paraetonium (*-i*, n.) « blanc paraetonien » est un neutre substantivé dérivé de l'adjectif *paraetonius* « de Paraetonius », qui est un port de Libye (actuelle Marsah Matrouh) [705]. Le sens de « blanc paraetonien » apparaît avec Vitruve, qui mentionne le port en 8, 3, 7. Le pigment est encore rapporté par Pline le Naturaliste (*Nat*. 33, 91; 35, 91) et enfin par Isidore de Séville (*Orig*. 19, 17, 2). L'adjectif *paraetonius* possède deux acceptions: « de Paraetonius » (Méla) et « Égyptien, Africain » (Lucain, Martial, Stace, Silius Italicus).

2. *Paraetonium* chez Vitruve

Paraetonium « blanc de Paraetonium » : 7, 7, 3 ; *Paraetonium* (port de Libye) 8, 3, 7 [706].

2.1. Le *paraetonium* chez Vitruve (7, 7, 3)

À la fin du sixième chapitre du livre VII, Vitruve distingue les couleurs naturelles et artificielles. Les premières se forment d'elles-mêmes dans les lieux où on les extrait (*colores qui per se certis locis procreantur et inde fodiuntur*). C'est ce que S. Augusti appelle des couleurs obtenues par voie sèche, comme *creta uiridis*, ὤχρα, θεοδοτεῖον, *paraetonium*, *rubrica*, et *sil.* Les secondes sont recueillies artificiellement à partir d'autres substances soumises à des traitements ou à des mélanges convenablement dosés : elles se prêtent alors au même usage dans les travaux de revêtement (*nonnulli ex aliis rebus tractationibus aut mixtionibus temperaturis compositi perficiuntur*, *uti praestent eandem in operibus utilitatem*).

En 7, 7, 3, il décrit deux blancs utilisés en peinture. D'abord, le blanc mélien (*melinum*) qu'on trouve dans l'île de Mélos, dans les Cyclades. On sait qu'il s'agit d'une argile kaolinitique blanche avec un peu d'alunite [707]. L'autre couleur est le blanc de Paraetonium

---

[705] Glare 1977, *s. v*. paraetonium, p. 1293.
[706] Callebat, Fleury, 1995, p. 202 : *paraetonius* « blanc de Paraetonium » est masculin et non neutre dans cette référence.
[707] Robertson 1958. L'île de Mélos est réputée depuis l'Antiquité pour les richesses de son sous-sol : terre blanche (kaolin), alun, pierre ponce, sulfure, baryte, manganèse : Theophr. *Lap.* 14 et J. Pittinger, « The Mineral Products of Melos in Antiquity and their Identification », *Annual of the British School at Athens*, 70, 1975, pp. 191-197. Le *melinum* est appelée maintenant « zacharopetra » par les habitants : C. Renfrew et M. Wagstaff, *An Island Polity*, *The Archaeology of Exploitation in Melos*, Cambridge, 1982, pp. 80 et 233 ; E. Photos-Jones, A. J. Hall, J. A. Atkinson, G. Tompsett, A. Cottier, G. D. R. Sanders, « The

(*Paraetonium*), qui prend son nom des lieux mêmes (*metallum*) d'où il est extrait [708]. Le port de Paraetonium, que notre auteur mentionne en 8, 3, 7, est sans doute la ville moderne de Marsah Matrouh, en Libye, port frontière avec l'Égypte, à 295 km à l'ouest d'Alexandrie [709]. Dans le syntagme *paraetonium fodere* « extraire le blanc de paraetonium », le *paraetonium* semble désigner un calcaire riche en fossiles marins [710]. On trouve ici l'unité lexicale *metallum* « mine, gisement » qui est empruntée au grec μέταλλον , « galerie souterraine d'extraction » [711].

A la différence de Vitruve qui le traite très sommairement, le Naturaliste (*Nat*. 35, 36) expose avec plus de détail le blanc de Paraetonium qui est originaire d'Égypte [712] : « C'est de l'écume de mer qui, mêlée à du limon, s'est solidifiée : voilà pourquoi on y découvre de minuscules coquillages (*Spumam maris esse dicunt solidatam cum limo, et ideo conchae minutae inueniuntur in eo*.). Les îles de Crète et de Cyrène en produisent aussi. La meilleure qualité se vend 50 deniers les 6 livres. À Rome, on le falsifie en le faisant bouillir jusqu'à épaississement avec de la craie cimolienne (*Adulteratur Romae creta Cimolia decocta conspissataque*). C'est la plus onctueuse des couleurs blanches et celle qui adhère le mieux au revêtement à cause de la finesse de son grain (*E candidis coloribus pinguissimum et tectorii tenacissimum propter leuorem*). » [713]

2.2. Le blanc de Paraetonium d'après les données archéologiques

La simple description de Vitruve contraste fortement avec les renseignements plus détaillés qui sont fournis par Pline. Puisqu'on ne pouvait rien tirer de plus de la notice vitruvienne, les commentateurs se sont tournés vers le texte du Naturaliste et ils ont supposé que le blanc était un calcaire coquillé. Il s'agirait plus précisément d'un calcaire fin comprenant des détritus marins (coquillages), des phosphates et des éléments magnésiques et organiques, étant donné la mention des *conchae minutae* « minuscules coquillages »

Aghia Kyriaki, Melos, Survey: prospecting for the elusive earths in the Roman period in the Aegean », *The Annual of the British School at Athens* 94, 1999, pp. 377-413 ; A. E. McNulty, *Industrial Minerals in Antiquity: Melos in the Classical and Roman Periods,* thèse de doctorat non publié, Department of Archaeology and Division of Earth Sciences, University of Glasgow, 2000. Sur la couleur blanche ou *melinum* : André 1949, p. 293 ; Forbes 1965, p. 235; Augusti 1967, pp. 56-57. Cette couleur blanche de qualité supérieure figure parmi les quatre couleurs utilisées à l'origine par les peintres grecs : Theophr. *Lap*. 62-63 ; Plin. *Nat*. 35, 50.

[708] Vitr. 7, 7, 3 : *Paraetonium uero ex ipsis locis unde foditur habet nomen. Eadem ratione melinum, quod eius metallum insula Cycladi Melo dicitur esse*.

[709] H. Kees, in *Paulys Real-Encyclopadie der classischen Altertumswissenschaft* (1894-1972) édit. A. Pauly, G. Wissowa, XVII 3, 1949, col. 1182-1184, *s. v*. Paraitonium ; *Vitruve VIII*, pp. 95-96, n. 3 ; *Vitruve VII*, p. 156, n. 1.

[710] Béarat 1997, pp. 11-34.

[711] Sur la relative pauvreté du vocabulaire latin pour définir le travail de la mine : Halleux 1974, pp. 19-34.

[712] Forbes 1965, p. 235 ; Reinach, Rouveret 1985, p. 10.

indiquée par le Naturaliste [714]. Toutefois pour K. C. Bailey, la nature très crémeuse du *paraetonium* peut désigner une stéatite ou une serpentine (métasilicate de magnésium) qui possède un toucher onctueux ou une sépiolite (écume de mer) [715].

C'est la finesse de ce calcaire qui explique son onctuosité quand il est mélangé à un liquide. Pour H. Béarat, le *paraetonium* correspondrait à de l'aragonite. Ce carbonate de calcium est soit d'origine sédimentaire marine — squelettes fossiles de certains organismes (corail, mollusque, etc.) ou précipités dans les mers chaudes de basse profondeur — soit d'origine hydrothermale (travertin, stalactite, fleur de mines, etc.). L'aragonite évolue dans des conditions normales de température et de pression pour se transformer progressivement en calcite. Or, de ce point de vue, sa stabilité dans la peinture murale est assez surprenante et reste à expliquer. Dans les peintures blanches utilisant l'aragonite, on observe souvent de minuscules coquillages de mollusques entiers ou fragmentés selon le broyage du pigment [716].

2.3. Usage en peinture romaine

S. Augusti a retrouvé un échantillon provenant d'une peinture de Pompéi (Muzeo Nazionale di Napoli, n° 117368) qu'il pense correspondre au *paraetonium*. Dans des sites romains suisses, l'aragonite reste le pigment le plus fréquemment rencontré dans les motifs blancs (surtout les filets). Le fait que l'aragonite accompagne souvent les pigments dits onéreux comme le cinabre, la malachite ou la feuille d'or et qu'elle soit omniprésente dans les peintures à décor plutôt riche, permet de placer ce pigment en tête de la liste des pigments blancs.

L'aragonite est parfois utilisée pour la dilution de certaines couleurs comme le rouge, le jaune et le vert ainsi que dans la préparation du rose. Mais le plus surprenant est son utilisation en sous-couche pour le cinabre, même quand il s'agit d'un filet ou d'une application sur un fond coloré. Dans le cas où le cinabre est peint sur fond blanc (l'*intonaco*), une épaisse couche intermédiaire composée de cinabre et d'aragonite est posée en premier lieu, sur laquelle le cinabre pur est appliqué [717]. Pline (*Nat*. 33, 90-91) raconte qu'avant d'employer la chrysocolle broyée en peinture, on met une couche préparatoire de noir et de blanc de Parétonium : « Ces matières la font tenir et donnent de la douceur au coloris. Comme le blanc de Parétonium est très gras par nature et très tenace en raison de son onctuosité, on le recouvre d'une couche de noir, pour que la blancheur du Parétonium ne

---

[713] Trad. J. M. Croisille.
[714] B. Bonacelli, « Il Paretonio », *La chimica*, janvier 1935, p. 31 ; Augusti 1962, pp. 133-134 ; Augusti 1967, pp. 51-52 ; M. Frizot, « L'analyse des pigments des peintures murales antiques. Etat de la question et bibliographie », *Revue d'Archéométrie*, n° 6, 1982, pp. 47-59 : p. 49 ; *Vitruve VII*, p. 156, n. 1.
[715] Bailey 1932, p. 212
[716] Béarat 1997, pp. 20-21 : ces coquillages sont-ils des foraminifères ? H. Béarat ne le dit pas.
[717] *Id*.

fasse pas pâlir la chrysocolle (*Paraetonium, quoniam est natura pinguissimum et propter leuorem tenacissimum, atramento aspergitur, ne paraetonii candor pallorem chrysocollae adferat*). » [718]

Son prix élevé, pouvant atteindre 50 deniers les six livres pour la meilleure qualité, rendait la falsification tentante et donc possible. En s'inspirant de Pline et de K. C. Bailey, le détail de la recette est le suivant : l'écume de *paraetonium* (*spuma*) est broyée et mélangée avec de la terre argileuse de Cimolia (cimolite) et de l'eau, puis le tout est mis à bouillir jusqu'à complète évaporation de l'eau de mélange. On obtient ainsi une poudre homogène et fine [719].

3. Conclusion

D'après les données archéométriques, le *paraetonium* est une aragonite possédant des coquillages fossiles. Son utilisation en peinture en fait un pigment blanc. L'aragonite est parfois utilisée pour la dilution de certaines couleurs comme le rouge, le jaune et le vert ainsi que dans la préparation du rose. Pour Vitruve, le *paraetonium* est un pigment blanc et son emploi comme charge absorbante est théoriquement possible: cet usage est attesté en archéologie. *Paraetonium* est hyponyme de *creta*.

[718] Trad. H. Zehnacker.
[719] J. M. Croisille adopte la traduction de K. C. Bailey tandis que S. Augusti pense que seule la *creta cimolia* est bouillie et réduite : Bailey 1932, p. 212 ; Augusti 1967, pp. 120-122 ; *Pline XXXV*, p. 155, n. 1. Pour le prix du *paraetonium*, H. Béarat s'étonne d'un prix aussi élevé de 50 deniers les six livres, alors qu'un prix largement inférieur est mentionné par S. Reinach (1985, p. 10) et par S. Augusti (1967, pp. 51-52).

16. Puluis

1. Etymologie de *puluis*

Puluis, *-eris* (m. et f.) « poussière, poudre ». *Puluis* s'est spécialisé dans le sens de « poussière de l'arène ou du champ de courses, de bataille » (cf. le grec κόνις « poudre, cendre »), d'où le sens imagé de « champ de bataille », puis de « lutte, effort ». Ennius est le premier auteur à en user. *Puluis* est un ancien thème en *-u-* (**pulus*), qui a subi l'influence de *cinis* « cendre ». On a quelques dérivés, qui sont, entre autres : *puluerō, -āsi*, « couvrir de poussière », *puluerātio, -ās*, qui est un hybride grec formé à basse époque sur le verbe grec κονίζω ; *puluerāticum (-ca)* « pourboire, salaire » (latin impérial). Pour l'étymologie, on compare avec le sanskrit *palāvah*, et le letton *pelus* « balle du grain » [720].

2. Usage et sens de *puluis* avant Vitruve

La première mention de *puluis* est usitée chez Ennius (*Ann*. 282 et 315) et la dernière est celle d'Isidore de Séville (16, 1, 1) [721]. *Puluis* a douze acceptions (en y incluant l'usage architectural) : « poussière sur le sol ou des surfaces » (Plaute, Caton, Lucrèce, Cicéron, Virgile, Tite-Live, Quinte-Curce, Aulu-Gelle, Isidore de Séville), « poussière remuée par un mouvement rapide, une activité violente » (Ennius, César, Tite-Live, Sénèque, Juvénal), « pouzzolane de Baïes » (Sénèque, Pline le Naturaliste), « sable » (Catulle, Juvénal), « argile de poterie » (Martial), « poudre de métal, laitier » (Perse), « poussière du stade » (Horace, Ovide, Stace, Martial), « poussière sur laquelle on trace des figures géométriques » (Cicéron, Tite-Live, Sénèque, Perse), « poussière des champs de bataille » (Cicéron, Stace, Juvénal, Quintilien), « poudre broyée pour un usage » (Ovide, Celse, Pétrone, Apulée) et métaphoriquement, « poussière recouvrant les morts, cendres des morts » (Horace, Properce, Ovide). Pour un usage architectural, Stace (*Silv*. 4, 3, 53) se sert de *puluis* pour désigner la « chaux mélangée à du tuf » lors de la construction de la voie domitienne.

[720] Ernout, Meillet, André 1985, *s.v*. puluis, p. 545.
[721] Glare 1977, *s. v*. puluis, p. 1520.

3. *Puluis* chez Vitruve

Puluis « terre, poussière, pouzzolane » est usité cinq fois dans le traité de Vitruve : 2, 6, 1 / 2, 6, 4 / 5, 12, 2 / 5, 12, 5 / 7, 8, 1 [722].
— *puluis* « pouzzolane de Baïes » : 2, 6, 1 / 2, 6, 4 / 5, 12, 2 / 5, 12, 5 / 7, 8, 1 ;
— *puluis ruber* « poussière du cinabre » : 7, 8, 1.

3.1. *Puluis ruber* la poussière du cinabre (7, 8, 1)

En 7, 8, 1, notre architecte entreprend d'exposer les propriétés du cinabre (*minium*) : « On extrait en effet ce à quoi on donne le nom de *glèbe* (*Foditur enim glaeba quae dicitur*) avant que, par divers traitements, on ne parvienne au cinabre (*antequam tractationibus ad minium perueniant*), et qui se présente en filon, comme le fer (*uena uti ferrum*), mais avec une couleur plus roussâtre et enrobée d'une poussière rouge (*magis subrufo colore, habens circa se rubrum puluerem*). Quand on l'extrait, ce minerai laisse échapper, sous les coups des pics quantité de larmes de vif-argent, qui sont aussitôt recueillies par les mineurs ». [723] Le cinabre est ici un pigment rouge, du sulfure naturel de mercure (HgS) utilisé dès le paléolithique, et employé au V^e^ siècle avant J.-C. en Grèce dans la peinture [724].

On sait que le cinabre à l'état naturel peut apparaître sous une poudre rouge : Théophraste (*Lap*. 58) le décrit comme un sable rouge brillant comme l'écarlate du kermès. Les cristaux du cinabre sont très rares, mal formés, rhomboédriques ou prismatiques tabulaires ; il se présente en masses microcristallines (*glaeba*) ou terreuses et écarlates (*puluis*) ou fréquemment aussi, en couche terreuse de couleur plus ou moins vive ou en grains dispersés. Il est tendre, très pesant, fragile et parfaitement clivable : on peut le broyer facilement. Il est translucide avec un éclat diamantin s'il est cristallin. Il est opaque, d'aspect éteint et terreux si on le trouve en agrégats à grain fin. Dans tous les cas, on le reconnaît à sa couleur qui demeure inchangée en grain, car la poudre même est toujours rouge vif. De plus, le cinabre reste inaltérable à l'air. En Italie, on le trouve dans le Monte Amiata [725].

Il semble bien que Vitruve soit le premier à mettre en évidence l'étroite association à l'état natif du mercure avec le minerai de cinabre en décrivant une extraction quasi accidentelle. Il y a deux autres procédés dans l'Antiquité, pour obtenir du mercure : une première méthode, à froid, dépeinte par Théophraste (*Lap.* 60), consiste à broyer du cinabre avec du vinaigre au contact d'un mortier et d'un pilon de cuivre. La seconde technique est

[722] Callebat, Fleury, 1995, pp. 34-35.
[723] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[724] Caley 1945 ; André 1949, pp. 117-118 (rouge vif) ; Reinach, Rouveret 1985, p. 11, n° 12-13 ; Forbes 1965, pp. 216-219; Augusti, 1967, pp. 77-82 ; *Vitruve VII*, p. 159, n. 1.
[725] Mottana, Crespi 1993, n°25.

rapportée par Dioscoride (5, 95) et Pline (*Nat*. 33, 123) : sur un plat d'argile, on pose une sorte de coquille de fer remplie de cinabre et recouverte hermétiquement d'une coupe relativement profonde. Chauffé à grand feu, le mercure contenu dans le minerai se sublime et on le recueille en raclant les parois de la coupe. Naturellement, les mineurs et les ouvriers, qui extrayaient le mercure, étaient exposés aux gaz toxiques émanant du métal [726].

3.2. *Puluis*, la pouzzolane de Baïes et sa géologie (2, 6, 1-4)

La pouzzolane de Naples est l'occurrence de *puluis* la plus citée dans la littérature archéologique, car c'est la preuve que les ingénieurs romains connaissaient les réactifs hydrauliques pour les bétons. Vitruve présente ainsi les vertus de la cendre volcanique en 2, 6, 1 : « 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. » [727] Dans l'esprit du théoricien, la pouzzolane est le résultat de la cuisson naturelle d'une roche sous l'action d'un feu. Le volcanisme se caractérise, de la sorte, par une activité souterraine où les flammes brûlent les roches du sous-sol, lesquelles laisseront selon leur dureté des pierres poreuses ou des cendres. Les matériaux éruptifs, comme les *harenae fossiciae*, le tuf, ou la pouzzolane, ont acquis une *ieiunitas* naturelle en perdant un des quatre éléments (eau) lors de cette cuisson. C'est pourquoi ces matériaux réagissent bien quand ils sont mêlés à la chaux. La pouzzolane est une « cendre » (*cinis*) qui possède la réactivité chimique la plus importante de toutes les matières premières ignées : elle est indiquée seulement pour les constructions en mer, alors que le carboncle, le meilleur des sables volcaniques, est mentionné pour les structures terrestres.

La pouzzolane est en fait une roche pyroclastique meuble ou de faible cohésion provenant des éruptions volcaniques de type explosif. Le terme pouzzolane s'applique en géologie ainsi à tout un ensemble de matériaux volcaniques meubles, non cimentés, émis puis déposés par voie aérienne et refroidis dans l'air. Dans l'industrie cimentière, on se sert de ce terme pour tous les matériaux siliceux ou silico-alumineux qui ne possèdent pas en eux-mêmes de propriétés liantes mais qui, sous formes finement divisées et en présence d'humidité, réagissent chimiquement avec la chaux éteinte à température ambiante ordinaire pour former des composés ayant des propriétés liantes. C'est pourquoi, parmi les

---

[726] Halleux 1974, pp. 179-188 ; Healy 1978, p. 190 ; F. Bentley, « Poisons, Pigments and Metallurgy », *Antiquity*, 45, 1971, pp. 138-140 ; Domergue 1990, pp. 353-354 ; *Vitruve VII*, p. 161, n. 6-7.

[727] Vitr. 2, 6, 1 : *Est etiam genus pulueris, quod efficit naturaliter res admirandas. Nascitur in regionibus Baianis <et> in agris municipiorum, quae sunt circa Vesuuium montem. Quod commixtum cum calce et caemento non modo ceteris aedificiis praestat firmitates, sed etiam moles, cum struuntur in mari, sub aqua*

pouzzolanes naturelles et artificielles, se trouvent les roches tufeuses broyées (*trass* du Rhin), les argiles naturellement cuites et les terres cuites, les terres à diatomées et les cendres volantes (*fly ash* : résidus de combustion de houille ou lignite de centrales thermiques). Les pouzzolanes naturelles sont des débris clastiques volcaniques, plus précisément des cendres, dont la dimension est en dessous de 2 mm ; la cendre grossière a une taille entre 2 mm et 1/16 mm (0,0625 mm, 62,5 μm) et la cendre fine mesure entre 0,0625 mm et 1/256 mm (0,00390625 mm) [728]. On admet en archéologie le terme « pouzzolane » pour décrire les cendres et les sables volcaniques [729].

Le théoricien connaît certaines de ces pouzzolanes sous le nom de *testa* et d'*harenae fossiciae*. Granulométriquement, celles-ci ont entre 0,25 mm et 2 mm, mais le *puluis* est une classe granulométrique inférieure. En effet, Vitruve (2, 6, 1 et 5, 12, 2) localise la pouzzolane *in regionibus Baianis <et> in agris municipiorum, quae sunt circa Vesuuium montem* « dans la région de Baies, sur les territoires des municipes qui sont au voisinage du mont Vésuve » et *a regionibus quae sunt a Cumis continuatae ad promunturium Mineruae* « [dans] des régions depuis Cumes jusqu'au promontoire de Sorrente ». Vitruve situe assez largement la pouzzolane dans toute la baie de Naples depuis le promontoire de Sorrente à l'est et jusqu'à Cumes à l'ouest. Toute la baie de Naples est couverte de cendres volcaniques sauf le promontoire de Sorrente, qui appartient avec les monts Picentini au massif calcaire mésozoïque. À l'ouest de Naples, le site de Pouzzoles recèle les principaux gisements de pouzzolane où les agglomérations voisines sont Cumes, Baïes et Bacoli. La cendre est rougeâtre à Bacoli et à Pouzzoles et elle est grise et grisâtre aux environs du Vésuve et à Pompéi [730]. Les pouzzolanes napolitaines analysées dans la littérature technique contiennent de la silice (SiO_2 entre 63 % et 44 %) et aussi de l'alumine (Al_2O_3 entre 9 % et 21 %), ce qui explique leur réactivité à la chaux [731].

---

solidescunt. Trad. L. Callebat.

[728] Auboin, Brousse 1975, p. 645 ; R. V. Fisher, H. U. Schmincke, *Pyroclastic Rocks*, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg, 1984 ; Ginouvès, Martin 1985, p. 44 ; Moore 1995, pp. 127-128 ; Coutelas 2003, p. 84.

[729] Cf. Lugli 1957, pp. 390-401 ; Ginouvès, Martin 1985, pp. 44 et 47.

[730] D. S. Walker, *Geography of Italy*, Butler and Tanner, Londres, 1967, p. 196 ; Moore 1995, pp. 95-98 et 125-131.

[731] Analyse chimique des pouzzolanes d'après F. M. Lea, *The Chemistry of Cements and Concrete*, St Martin's Press, New-York, 1956, p. 359 :
- pouzzolane de Bacoli en % : perte au feu 4,8 ; SiO_2 55,7 ; Al_2O_3 19 ; Fe_2O_3 4,6 ; CaO 5 ; MgO 1,3 ; Na_2O 3,4 ; K_2O 3,9 ;
- pouzzolane de Baia : perte au feu 4,4 ; SiO_2 59,5 ; Al_2O_3 19,3 ; Fe_2O_3 3,3 ; CaO 2,1 ; MgO 0,2 ; Na_2O 5,65 ; K_2O 5,65 ; SO_3 0,2.

Analyse chimique des pouzzolanes d'après E. C. Eckel, *Cements, Limes and Plaster*, John Wiley & Sons, New-York, 1922, p. 576 :
- pouzzolane de Naples en % : $SiO_2$63,18 ; Al_2O_3 9,9 ; Fe_2O_3 9,9 ; CaO 5,68 ; MgO 0,35 ;
- pouzzolane de Naples en % : SiO_2 60,91 ; Al_2O_3 21,28 ; Fe_2O_3 4,76 ; CaO 1,90 ; MgO 0 ; K_2O 4,37 ; Na_2O 6,23 ;

3.3. Usage du *puluis* comme pouzzolane : les môles (5, 12, 2)

En 5, 12, 2, Vitruve décrit l'élaboration de môles de béton avec la cendre volcanique : « Il faut faire apporter de cette poudre qui se trouve dans les lieux compris entre Cumes jusqu'au promontoire de Minerve, et en faire un mortier composé des deux tiers de cette poudre et d'un tiers de chaux. » [732] Dans l'extrait, la fabrication de môles de béton avec la pouzzolane se fait dans l'eau de mer au moyen de coffrages de bois, peut-être réutilisables, mais notre architecte ne l'indique pas. Le ratio du mélange est de deux parts de pouzzolane pour une part de chaux (*in mortario duo ad unum respondeant*). La principale qualité de la pouzzolane est sa finesse, mais celle-ci devient un défaut quand elle est mélangée à la chaux éteinte. En effet, elle absorbe l'eau comme une éponge et il devient difficile de faire la mixtion entre les deux ingrédients. En revanche, la chaux vive peut être aisément mélangée à sec avec la poudre dans le *mortarium* et l'oxyde de calcium est éteinte par l'eau de mer salée laquelle n'a pas d'influence sur la prise.

L'étude, par les archéologues J. P. Oleson et G. Branton, des môles du port de Césarée (Caesarea Maritima), a montré que les ingénieurs romains avaient importé la pouzzolane de Baïa, près de Pouzzoles, pour l'utiliser de l'autre côté de la Méditerranée [733]. Cette découverte confirme les prescriptions vitruviennes. En combien de temps le béton hydraulique prend-il ? A partir des données géologiques et des essais industriels, on peut l'estimer. Ainsi, le test de Vicat fournit une estimation : il consiste à plonger le mortier chaux/sable volcanique dans l'eau. Le mélange prend déjà après un jour ; au troisième jour, il devient plus dur et au bout de douze mois surpasse une brique d'argile cuite en dureté [734]. En utilisant de la poudre de Bacoli, qui est l'une des principales pouzzolanes de la baie de Naples, employée dans un ratio de 1/2,5, un mortier résistera différemment à la compression au fil des jours : 2,5 Mpa (7 jours), 7,7 Mpa (28 jours), 14,8 Mpa (90 jours). La pouzzolane de Bacoli commence à faire

---

- pouzzolane du Vésuve marron en % : SiO_2 44 ; Al_2O_3 10,5 ; Fe_2O_3 29,5 ; CaO 10 ; MgO traces ; K_2O 0,5 ; Na_2O 0,5 ; H_2O 2,5 ;
- pouzzolane du Vésuve marron % : SiO_2 44,5 ; Al_2O_3 15,75 ; Fe_2O_3 16,3 ; CaO 8,96 ; MgO traces ; K_2O 5,5 ; Na_2O 5,5 ; H_2O 3,5 ;
- pouzzolane du Vésuve gris sombre en % : SiO_2 46 ; Al_2O_3 16,5 ; Fe_2O_3 15,5 ; CaO 10 ; MgO 3 ; K_2O 2 ; Na_2O 2 ; H_2O 5 ;
- pouzzolane du Vésuve gris clair en % : SiO_2 44,5 ; Al_2O_3 15,5 ; Fe_2O_3 12,5 ; CaO 9,5 ; MgO 4,4 ; K_2O 5,135 ; Na_2O 5,135 ; H_2O 3,33.

[732] Vitr. 5, 12, 2: *Hae autem structurae quae in aqua sunt futurae, uidentur sic esse faciendae uti portetur puluis a regionibus quae sunt a Cumis continuatae ad promunturium Mineruae, isque misceatur uti in mortario duo ad unum respondeant.*

[733] Oleson, Branton 1992, pp. 49-67. Sur l'origine de la technique : A. M. McCann, *The Roman port and fishery of Cosa*, Princeton, 1987, pp. 34, 137-141, 325-327 et 337.

[734] Moore 1995, p. 193.

durcir le liant entre deux et quatre heures et celui-ci doit être dur avant vingt-quatre heures, selon des normes modernes [735].

4. Conclusion

Le *puluis* est une poudre ou une poussière. *Puluis* dénote à l'état naturel le cinabre qui se présente en masses microcristallines ou terreuses écarlates ou bien fréquemment aussi en couche terreuse de couleur plus ou moins vive ou en grains dispersés. Et surtout, *puluis* est la pouzzolane du golfe de Naples, utilisée pour la construction des môles. Dans sa théorie volcanique, Vitruve donne au *puluis* le haut d'un classement des matières ayant enduré la cuisson du feu volcanique : c'est une cendre (*cinis*), c'est-à-dire une terre brûlée (*terra exusta*). De tous les matériaux naturels ignés qui ont subi les flammes souterraines, la pouzzolane est celle qui a perdu le plus d'éléments premiers : le *puluis* a une *ieiunitas* très active. La pouzzolane de Naples était un produit de qualité, ce qui fait qu'elle fut importée du golfe de Naples pour l'édification des môles de Césarée. Or la lecture du texte vitruvien apporte encore une fois, une information intéressante sur les techniques utilisées pour les môles : outre le fait que la chaux était vive, celle-ci était donc mélangée à sec avec la cendre. Si Vitruve traite de la pouzzolane du golfe de Naples, sans préciser une localisation particulière, la granulométrie du matériau local n'est pas assurément celle d'un sable (*harena*), c'est une poudre (*puluis*). En fait, aucune donnée dans la littérature archéologique ne donne d'indication granulométrique, car les dimensions de la pouzzolane, contrairement au sable qui est toujours mesuré, se trouvent dans la gamme des poussières (< 63 μm). Or la poudre de Naples se comporte au contact de l'eau comme une mini-éponge. Elle est par nature une poussière de ponce volcanique et au contact de la chaux éteinte, elle absorberait l'eau contenue dans la pâte liante.

C'est pourquoi on ne peut pas confondre les usages que fait Vitruve (2, 6, 6) de la pouzzolane napolitaine (*puluis*) et du sable volcanique (*harena fossicia*) : la première est destinée aux ouvrages maritimes (2, 6, 6), tandis que le second sert aux édifices terrestres. C'est aussi la raison pour laquelle notre architecte décrit les deux matériaux dans deux chapitres différents. Évidemment, les ingénieurs romains auraient pu procéder à des expériences pour savoir comment mélanger la pouzzolane à la chaux pour des ouvrages terrestres, mais cela aurait mis en cause les habitudes de chantier. L'avidité de la cendre pour l'eau explique qu'on ne trouve pas chez Vitruve de mentions explicites des pouzzolanes et des sables volcaniques, autre que le *puluis* de Campanie. De même, cela répond au célèbre problème évoqué dans la littérature archéologique [736] : pourquoi Vitruve ne parle-t-il pas de

[735] Cook 1986.
[736] Cf. Curtis 1913, Lugli 1957, Anderson Jr 1997.

la pouzzolane qu'on trouve dans la région de Rome ? En fait, notre architecte la mentionne non pas comme *puluis*, mais comme *harena fossicia*. Celle-ci, qui est un sable pouzzolanique, a des diverses couleurs (rougeâtre, grisâtre, noirâtre).

D'après les autres textes vitruviens (2, 5, 3 ; 2, 6, 1 et 4), l'extrait (5, 12, 2) constitue une application pratique des *ieiunitates* combinées du moellon de tuf volcanique, de la chaux vive et de la pouzzolane. Le *caementum* et le *puluis* ont une *ieiunitas* naturelle, tandis que celle de la chaux vive est artificielle. Après avoir jeté le mélange (chaux vive, cendre volcanique, moellon) dans l'eau de mer, la fin des réactions chimiques de l'extinction de la chaux est le signal d'une éventuelle mise en forme sommaire de la banchée au moyen du rabot.

Techniquement, la dimension des cendres volcaniques fines n'était pas mesurable par les tamis des ouvriers romains. Jetées sur l'étoffe blanche, celles-ci la saliraient et donc failleraient à cette épreuve vitruvienne, qui consiste à choisir l'*harena fossicia* sans particules fines. Voilà pourquoi la pouzzolane est attestée seulement pour les môles.

17. Pumex - pumicosus

1. Étymologie de *pumex* et de *pumicosus*

Pūmex, -ĭcis (m.) « pierre ponce » est le terme ancien et courant pour désigner cette scorie volcanique [737]. *Pumex* a donné des dérivés : *pūmĭcō , -ās* « poncer », *pūmĭcātŏr* (grec σμήκτης) « polisseur à la pierre ponce », *rĕpūmĭcātĭō* « action de gratter, action d'enlever », *pūmĭcĕus* « de pierre ponce » et *pūmĭcōsus* « poreux ». Étymologiquement, *pūmex* serait un dérivé sans *s-* initial de *spūma* « écume, mousse, bave ». C'est peut-être un mot indigène (sud-italique, osque) [738].

2. Usage et sens de *pumex* et de *pumicosus* avant Vitruve

Pumex est attesté chez Plaute (*Aul*. 297 ; *Persa* 41) et enfin chez Isidore de Séville (*Orig*. 16, 3, 7) [739]. *Pumex* a trois acceptions : « pierre ponce » (Plaute, *Aetna*, Sénèque, Pline le Naturaliste, Pline le Jeune), « pierre ponce à polir » (Catulle, Horace, Properce, Ovide, Martial, Juvénal), « roche creusée, roche pleine de trous » (Horace, Virgile, Ovide, Properce).

Pumicosus « qui ressemble à la pierre ponce, poreux » est usité par Vitruve, Sénèque, Pline le Naturaliste et par Isidore de Séville (*Orig*. 16, 4, 9).

3. *Pumex* et *pumicosus* chez Vitruve

Pumex « pierre ponce » est utilisé deux fois : 2, 3, 4 et 2, 6, 2. Dans cette dernière occurrence, on trouve *pumex Pompeianus* « pierre ponce de Pompéi » [740].

Pumicosus « qui ressemble à la pierre ponce, poreux » est usité une fois : 2, 3, 4.
— *terra pumicosa* « terre poreuse » : 2, 3, 4.

Pumex est le terme générique pour désigner la pierre ponce alors que *spongia* est un synonyme à connotation scientifique (cf. *Spongia*). Ces deux lexèmes sont employés en 2, 6, 2-3 pour sa théorie de la volcanologie du Vésuve, de l'Etna et de la Mysie : la pierre ponce est une preuve du passé éruptif du Vésuve. Elle est une roche que le volcanisme a cuite, comme

[737] Ernout, Meillet, André 1985, *s. v.* pumex, p. 545.
[738] Ernout, Meillet, André 1985, *s. v.* spuma, p. 644 ; *Vitruve II*, p. 96, n. 3.
[739] Glare 1977, *s. v.* pumex, pumicosus, p. 1520.

la chaux est calcinée à partir du calcaire. En 2, 3, 4, *pumex* est usité de manière analogique pour des briques faites d'une matière légère et capable de flotter sur l'eau : les propriétés et l'aspect de cette terre (*terra pumicosa*) rappellent la pierre ponce.

Pumex, *terra pumicosa* et les briques flottantes (2, 3, 4)

En 2, 3, 4, après avoir parlé des types d'adobe, Vitruve dépeint des briques pouvant flotter sur l'eau : « À Maxilua et à Callet, villes de l'Espagne Ultérieure, et à Pitane en Asie Mineure, les briques (*lateres*) qui ont été travaillées et séchées (*cum sunt ducti et arefacti*) flottent si on les jette dans l'eau. Ces briques semblent pouvoir nager, pour la raison suivante : la terre dont elles sont faites est poreuse (*quod terra est, de qua ducuntur, pumicosa*). Ainsi, comme cette terre est légère, une fois rendue solide par l'air, elle ne s'imprègne donc pas d'eau, et ne l'absorbe pas. Par conséquent, possédant ces propriétés de légèreté et de porosité (*igitur leui raraque cum sit proprietate*), ces briques ne laissent pas l'eau (*umidam potestatem*) pénétrer en elles : la nature fait nécessairement que, quel que soit leur poids, elles sont portées par l'eau, comme l'est la pierre ponce (*quocumque pondere fuerit, cogitur ab rerum natura, quemadmodum pumex uti ab aqua sustineatur*). Elles présentent ainsi de gros avantages (*magnas habent utilitates*) parce qu'elles ne sont pas pesantes dans les constructions (*quod neque in aedificationibus sunt onerosi*) et qu'elles ne sont pas désagrégées quand elles sont frappées par les intempéries (*cum non tanguntur a tempestatibus non dissoluuntur*). »[741]

Description de la terra pumicosa

L'aspect extérieur de cette *terra* est « poreux, spongieux » *pumicosa*. Cet adjectif à connotation technique et scientifique est employé pour la première fois par notre architecte et ne signifie pas « de pierre ponce ». Dérivé de *pumex*, l'adjectif correspond au grec κισηρειδής, κισηρώδης « qui ressemble à de la pierre ponce ». *Pumicosus* exprime, avec d'autres adjectifs en *-osus*, une notion de ressemblance (couleur, forme), alors que le suffixe désigne l'abondance d'un élément indiqué par le thème. Ces adjectifs se substituent à date plus ou moins tardive, à d'autres en *-eus*, plus anciens dans ce sens [742]. La « terre spongieuse » présente donc, géologiquement, une morphologie « poreuse ». Le mot *terra* renvoie peut-être à une roche altérée de surface ou à une roche friable, comme le talc. On aurait pu s'attendre à ce que Vitruve emploie *lutum* à la place de *terra*, pour dénoter la

[740] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* Pumex, *s. v.* Pumex Pompeianus, p. 36.
[741] Trad. L. Callebat.
[742] Ernout 1949, pp. 67 et 81.

matière humide extraite du sol, or Vitruve semble indiquer par *terra*, que la matière première n'est ni une boue ni une substance humide.

Terra pumicosa et *proprietas rara* « porosité »

La *terra* est « légère » (*leuis*) et « spongieuse » (*pumicosa*). Ces propriétés (*proprietas levis et rara*) se retrouvent au niveau « moléculaire », mais Vitruve ne dit rien des éléments qui composent cette terre. La structure de la *terra pumicosa* rappelle effectivement les corps caractérisés par la *ieiunitas*: ils possèdent une porosité (*raritas*), qui permet les échanges hydriques et le démarrage des réactions chimiques dans la théorie vitruvienne de la chaux. La *raritas* ou ici *proprietas rara* « porosité » fait intervenir la notion lucrétienne du vide qui ouvre dans la matière des *foramina* « pores » (Lucrèce, 5, 449 sq.). Vitruve utilise cette notion en 2, 9, 1, où l'eau est le principe actif de la biologie des arbres. L'eau et les sucs vitaux sont associés au concept de *raritas* qui est la porosité, c'est-à-dire ces cavités dans la matière (animale ou végétale) où se font les interactions physiologiques dans un organisme ou entre celui-ci et l'extérieur. Plus généralement, la *raritas* est la propriété des échanges entre les corps, qui permet aux éléments (*principia*) d'y pénétrer et à ces corps d'acquérir de nouvelles qualités : elle est par définition « ce qu'on peut traverser », la qualité du corps qui la rend perméable aux influences extérieures [743]. Mais ici, dans la « terre spongieuse », cette porosité fait obstacle à l'eau : l'air qui a durci la brique empêche le liquide d'y pénétrer. On ne cherche pas à profiter d'une porosité hydrophile propice aux réactions chimiques de la *ieiunitas*, mais au contraire d'une structure poreuse et hydrophobe, seule garante d'une légèreté et d'une solidité du matériau aux intempéries. On notera qu'une fois de plus Vitruve risque une explication fondée sur la composition de la matière et sur la proportion relative des éléments dont elle est faite.

Proprietas leuis « légèreté »

La légèreté de la *terra pumicosa* est une conséquence de la *raritas* du matériau. Ainsi, écrit Vitruve, quel que soit le poids des briques, la nature du matériau veut qu'à la manière de la pierre ponce, elles soient soutenues par l'eau. Or, Vitruve oublie de mentionner que cette légèreté a été mesurée en volume d'eau suivant le principe d'Archimède. D'après Strabon (13, 1, 67), la brique de Pitane, en Asie Mineure, est faite d'une terre qui est plus légère qu'un volume d'eau de sorte que cette brique flotte [744]. Cette variété particulière de

[743] Courrent 1995, pp. 124 et 142 sq.
[744] Strabon 13, 1, 67: φασὶ δ' ἐν τῇ Πιτάνῃ τὰς πλίνθους ἐπιπολάζειν ἐν τοῖς ὕδασι, καθάπερ καὶ ἐν τῇ Τυρρηνίᾳ νησὶς πέπονθε· κουφοτέρα γὰρ ἡ γῆ τοῦ ἐπισόγκου ὕδατός ἐστιν ὥστ' ἐποχεῖσθαι.

terre ou de pierre poreuse plus légère que l'eau a donné lieu aux légendes des îles flottantes [745].

La nature de la terra pumicosa

La matière de ces adobes pose un problème d'interprétation. Il ne s'agit pas d'une pierre ponce (*pumex*). Parmi les terres utilisées pour les briques crues, on trouve des argiles comme la chlorite, la muscovite, l'halloysite, la vermiculite, la sépiolite, l'attapulgite, etc. La sépiolite, qui est un silicate de magnésium semble correspondre à la description vitruvienne [746]. En effet, la sépiolite ou « écume de mer », issue de la dégradation superficielle de la magnésie et de la serpentine, peut avoir différentes morphologies : massives, fibreuses, nodulaires, terreuses, poreuses, compactes, et argileuses. Elle est tendre, légère et facilement taillable avec une lame. Elle peut être blanche, grisâtre, jaunâtre, verdâtre, bleuâtre et rougeâtre. Une masse poreuse sèche flotte sur l'eau. La sépiolite happe à la langue et, quand elle est mélangée avec de l'eau, elle devient plastique. De plus, elle est pratiquement infusible et inattaquable aux acides.

La localisation de mines de sépiolite en Espagne et en Turquie correspond aux pays indiqués par Vitruve et Strabon. Mais on ne sait pas si Vitruve a vu les briques de Maxilua, Callet et Pitane. Ses sources peuvent être Varron ou Posidonius, que mentionne Strabon [747].

Fabrication hypothétique des briques en terra pumicosa

Vitruve et Strabon ne sont pas diserts sur la manière de fabriquer ces briques. Le terme grec πλίνθος, utilisé par Strabon, peut désigner une brique ou une pierre de taille (boutisse) [748]. De fait, le mode opératoire d'une brique de sépiolite pourrait se faire selon deux procédés. Le premier consisterait à découper des blocs de terre, comme les blocs de latérite. Lors de l'extraction, la latérite est sensible à l'eau, mais, après séchage, elle devient dure et résiste à l'élément liquide. La brique de sépiolite serait alors un moellon-brique, c'est-à-dire un moellon scié à la dimension d'une brique [749]. La seconde méthode s'appliquerait à

---

[745] Strabon 13, 1, 67 ; Pline (*Nat.* 2, 209) parle de trois lacs d'Etrurie où se déplaceraient des îles de ce genre (*in Statoniensi, in Vadimonis lacu, in Tarquiniensi lacu*) ; Fensterbusch 1960.
[746] Houben, Guillaud 1995, p. 37 ; Mottana, Crespi 1993, n° 250.
[747] Della Corte 1970, p. 76 ; *Vitruvio 1,* pp. 183-184, n. 58-59 ; *Vitruve II*, p. 86, n. 4-5. Sur Maxilua et Callet, villes de Bétique : H. Hübner, *s. v.* Callenses, in A. Pauly, G. Wissova, *Real-Encyclopädie der klassischen Altertumswissenchaft*, Stuttgart, (1893-1978), 3, 1, 1897, col. 1359-1360 ; P. Schulter, *s. v.* Maxilua, in *R. E.* , 1930, 14, 2, col. 2484. Sur Pitane : E. Akurgal, *s. v.* Pitane, in *The Princeton Encyclopedia of classical Sites*, Princeton, 1976, p. 715 ; E. Akurgal, *Ancient Civilizations and Ruins* of *Turquey,* Istanbul, 1978, p. 112.
[748] Ginouvès, Martin 1985, pp. 53 et 56.
[749] Ginouvès, Martin 1985, p. 56 ; Houben, Guillaud 1995, pp. 170-171.

la classique fabrication d'un adobe fait de sépiolite pulvérulente. Les syntagmes nominaux et verbaux de Vitruve (*ducere lateres* « fabriquer les briques », *lateres arefacere* « faire sécher les briques ») et de Strabon (πλίνθους πηγνυμένας « briques séchées », πλίνθους ἀργιλώδους « briques d'argile ») ne sont pas usités dans un contexte technique assez étendu pour définir précisément leur confection.

4. Conclusion

Vitruve (2, 6, 2) définit *pumex* et *spongia* comme une pierre qui a été calcinée à partir d'une autre (*excocto ex alio genere lapidis*). Elle possède une *ieiunitas* expliquant sa légèreté et la présence de trous (*pumex Pompeianus*).

La structure du *pumex*, légère et spongieuse, est pour Vitruve un modèle analogique pour expliciter le comportement de la *terra pumicosa*, comme matériau de brique. Il ne précise pas si la sépiolite, qui semble être le référent géologique de la *terra pumicosa*, est taillée en moellon-brique ou moulée comme un adobe.

Il est utile de comparer *pumex*, usité chez Vitruve, à *pumex* auquel le poète inconnu de « L'Etna » accorde une place importante. D'après lui, le feu volcanique s'entretient au moyen de combustible, comme le bitume, le soufre, l'alun et la pierre meulière (*lapis molaris*). Le poète écrit (403-423) : « Mais la pierre meulière, elle, supporte l'incendie à mainte et mainte reprise ; épuisée mille fois par le feu, elle reprend ses forces ; elle n'a pas de fin qu'au moment où, le feu venant à bout de sa dureté, elle est réduite à l'état de pierre ponce légère (*pumex*), tombe en cendres et se décompose en ne laissant échapper que de la poussière. » [750] Dans le poème, la ponce est le résultat de la calcination ultime de la pierre meulière. Le poète de « L'Etna » et Vitruve traitent des mêmes thèmes à partir des sources anciennes communes. La pierre meulière fournit après coction volcanique la pierre ponce, et aussi de la pouzzolane. Le poète dépeint ainsi le processus de « jéjunisation » des roches ignées (pierre ponce, tuf, pouzzolane).

[750] Trad. J. Vessereau.

18. Rubrica

1. Étymologie de *rubrica*

Rubrica (*-ae*, f.) « terre rouge, ocre rouge ». C'est le féminin substantivé de l'adjectif *rūbrīcus* « rouge », qui possède le même suffixe *-īcus* de *mendīcus* et de *pudīcus* [751]. Le suffixe augmentatif *-ica* se retrouve peut-être dans le nom *Vstica*, nom d'une colline des Sabins, sur l'adjectif *ustus* « brûlé », comme « la (colline) qui se distingue par le fait qu'elle est brûlée » [752].

2. Usage et sens de *rubrica* avant Vitruve

La mention la plus ancienne de *rubrica* se trouve chez Plaute (*Truc*. 294) et l'occurrence la plus récente est usitée chez Isidore de Séville (*Orig*. 19, 17, 4). *Rubrica* a cinq acceptions : « ocre rouge, argile rouge, comme pigment ou fard » (Plaute, Caton, Horace, Pline l'Ancien, Columelle, Perse, Isidore de Séville), « argile rouge médicale » (Scribonius Largus, Pline l'Ancien), « titre de chapitre de droit écrit en rouge, rubrique » (Perse, Quintilien, Digeste), « maladie de peau » (Celse), « terre rouge argileuse, *terra rossa* » (Caton, Varron, Columelle, Pline l'Ancien) [753].

3. *Rubrica* chez Vitruve

Rubrica « argile rouge, ocre rouge » est usitée deux fois : 2, 3, 1 / 7, 7, 2 [754].

3.1. *Rubrica* « argile plastique rouge » et les adobes (2, 3, 1)

Dans le troisième chapitre du livre II, Vitruve décrit la fabrication de la bauge et de l'adobe. Parmi les matériaux inventoriés par notre architecte pour les fabriquer, on trouve la *terra albida cretosa*, la *rubrica*, et le *sabulum masculum*. Ces matériaux sont purs : on les a extraits puis préparés (décantation, séchage, sassage) de sorte qu'ils sont prêts à l'emploi. Concernant l'argile pour le torchis, nous avons déjà traité ces matières avec *creta* et *argilla*. La

[751] Monteil 1986, pp. 156-157.
[752] Fruyt 1986, pp. 130-132
[753] Glare 1977, VI, p. 1664, *s. v.* rubrica.
[754] Callebat, Fleury, 1995, pp. 35 et 202.

rubrica est alors une argile plastique rouge ou une argile figuline rouge (terre glaise, argile commune), lesquelles sont colorées par de l'oxyde de fer [755].

C'est pourquoi on peut rapprocher *rubrica* du texte de 2, 8, 19 où Vitruve décrit de quoi est faite la « brique cuite » *testa*. Nulle part, Vitruve ne mentionne la fabrication des briques cuites. Leur confection semble être la même que celle des adobes. M. E. Blake constate que la brique cuite romaine peut être constituée d'un bon mélange d'argile rouge, par exemple la *rubrica* de 2, 3, 1 et d'un dégraissant minéral (un sable volcanique résistant à la chaleur) [756]. Ainsi, dans le texte de 2, 8, 19, la *creta bona* « bonne argile » de la brique cuite peut désigner une mixtion idoine d'une argile kaolinitique plastique rouge, riche en oxydes ferriques, que nous pouvons appeler *rubrica*, et de dégraissant volcanique [757], que notre architecte nomme *harena fossicia*.

3.2. *Rubrica*, pigment de peinture (7, 7, 2)

La *rubrica*, comme terre rouge, appartient à ce que notre architecte appelle les couleurs naturelles, celles qui « se forment d'elles-mêmes dans les lieux où on les extrait (*colores qui per se certis locis procreantur et inde fodiuntur*) » (fin du sixième chapitre du livre VII). En 7, 7, 2, « les ocres rouges (*rubricae*) se tirent en abondance en beaucoup de lieux (*copiosae multis locis eximuntur*), mais les meilleures se trouvent en de rares endroits : Sinope dans le Pont, l'Égypte, en Espagne les Baléares, sans oublier Lemnos, île dont les revenus ont été laissés en usufruit aux Athéniens par Rome » [758].

En peinture murale romaine, on utilise les ocres pour les esquisses préparatoires, mais aussi pour les dessins (cf. Hor., *Sat*. 2, 7, 95 -100) et les inscriptions [759].

---

[755] Larousse 1886, pp. 605-607, *s. v*. Argile.
[756] Cf. Blake 1947, pp. 301-303.
[757] *Ibid*. Pour résister à la chaleur, le dégraissant peut être aussi siliceux.
[758] Vitr. 7, 7, 2 : *Item rubricae copiosae multis locis eximuntur, sed optimae paucis, uti Ponto Sinope, et Aegypto, in Hispania Balearibus, non minus etiam Lemno, cuius insulae uectigalia Atheniensibus senatus populusque Romanus concessit fruenda*. Trad. B. Liou et M. Zuinghedau. L'île de Lemnos fut donnée par Rome à Athènes en récompense de sa fidélité lors de la troisième guerre de Macédoine (171-168 av. J.-C.) : cf. Polybe 30, 20; J. A. O. Larsen, dans T. Frank et *al*., *An Economic Survey of Ancient Rome*, 4, Roman Greece, Baltimore, 1938, p. 301. *Vitruve VII*, p. 156, n. 4.
[759] Mora 1967, p. 65 ; Barbet, Allag 1972, pp. 985-992 et pp. 1033-1052 ; M. De Vos, *Scavi nuovi sconosciuti* (*I, 9, 13*), *Pitture e pavimenti della casa di Cerere a Pompei*, *Mededelingen van het Nederlands Instituut te Rome*, 38, 1976, p. 39 et 64 et planche 59, fig. 48.

3.2.1. Minéralogie de la *rubrica*

Le lexème vitruvien *rubrica* ne désigne pas ici nécessairement l'argile plastique rouge mentionnée en 2, 3, 1, mais plus généralement des terres rouges, qui peuvent être des argiles rouges, des bauxites, des latérites, et des ocres rouges riches en oxyde de fer comme l'hématite [760], tous minéraux nommés « bols rouges ». Dans le syntagme *rubricas eximere* « extraire des ocres rouges », *rubrica* n'est pas une ocre jaune calcinée, mais bien une ocre rouge naturelle, plus rare.

L'ocre rouge représente cette gamme de pigments dont la nuance va du rouge-brun foncé au rouge clair : les 46 échantillons de peintures pompéiennes, analysés par S. Augusti ont montré que l'élément essentiel est l'oxyde de fer et qu'effectivement les degrés des bols pompéiens vont du rouge brun foncé au rouge clair ou pâle [761]. Le grec appelle la *rubrica* μίλτος, de même que le cinabre avec lequel il ne faut pas la confondre [762]. La variété des tons s'explique par la plus ou moins grande teneur de l'argile en hématite, qui donne la couleur rouge. L'hématite massive forme de grands gisements largement répartis sur le globe, en particulier en Suède, en Westphalie, en Angleterre et en Espagne (Bilbao). Ceux de l'île d'Elbe possèdent des cristallisations superbes, dont certaines, à l'aspect feuilleté et irisé, dites fer oligiste [763]. L'hématite a longtemps servi de minerai de fer et pouvait être aussi utilisée à l'occasion d'ocre rouge : c'est pourquoi celle-ci est un produit secondaire des mines de fer (cf. Theophr. *Lap*. 52 et Plin. *Nat*. 35, 35). De tels minerais très purs pourraient, théoriquement, par simple broyage, fournir des pigments rouge-orange.

La limonite peut contenir de l'hématite et ses variétés compactes sont de couleur brune. Les sables ocreux constituent aussi une autre source de terre rouge ou brune. Parmi les sols rubéfiés, on trouve la *terra rossa*, les latérites et les bauxites. Les sols rubéfiés se forment par altération de roches-mères par les eaux de pluie (lixiviation). Celles-ci décomposent les minéraux (carbonates, silices…) et libèrent les ions correspondants qui se recombinent différemment, formant des argiles et, en particulier, de la kaolinite. Le fer présent dans les roches-mères qui, en général, ne leur confèrent pas de couleur particulière, évolue et donne naissance à de la goethite ou à de très fines particules d'hématite plus ou moins bien cristallisées. Les bauxites sont des terres rouges, riches en hydroxydes d'aluminium cristallisés ou non, utilisées comme minerais d'aluminium nonobstant une

---

[760] Delamare 1987 a, pp. 333-335 ; Houben, Guillaud 1995, pp. 48-49.
[761] André 1949, pp. 76, 211 et 292 ; Forbes 1965, pp. 215-216 ; Augusti 1967, pp. 82-85 et 93-96 ; Reinach, Rouveret 1985, p. 12, n. 15 ; Béarat 1997, pp. 27-31.
[762] Cf. Dioscorid. *Med*. 5, 96, 1 ; 5, 96, 3 ; *Eupor*. 2, 50, 3 ; 2, 53, 1 ; Galen. *Antid*. 14, 80 ; *Simpl. med*. 12, 169-170; Theophr. *Lap*. 52. *Vitruve VII*, p. 55, n. 1.
[763] Mottana 1993, n° 66.

forte teneur en oxydes de fer (24 % en poids de Fe_2O_3 dans les bauxites de Brignoles, France) [764]. Même si ces sols contiennent un peu d'argile, ils ne sont pas plastiques.

3.2.2. Les différentes *rubricae* mentionnées par Vitruve et revues par Pline (*Nat*. 35, 31-34)

Vitruve est elliptique sur les matériaux et leurs propriétés. Il faut l'encyclopédisme du Naturaliste pour en savoir plus. Le bol rouge de Sinope est aussi mentionné par Pline (*Nat*. 35, 31) : « La *sinopis* a été découverte pour la première fois dans le Pont (*in Ponto*) ; d'où son nom, tiré de la ville de Sinope (*nomen a Sinope urbe*). Il s'en trouve aussi à l'état naturel en Égypte (*in Aegypto*), dans les îles Baléares (*Baliaribus*) et en Afrique (*Africa*), mais la meilleure est celle qu'à Lemnos et en Cappadoce (*in Lemno et in Cappadocia*) on extrait de cavernes (*effossa e speluncis*). » [765]

L'actuel Sinoub sur la côte sud de la Mer Noire était la capitale des rois du Pont et un port industriel et commercial important. L'ocre était essentiellement importée de Cappadoce et c'était à Sinope que la μίλτος Σινωπική y était traitée et commercialisée [766]. La *sinopis* faisait partie des quatre couleurs utilisées par les peintres grecs (Plin. *Nat*. 35, 50). Théophraste (*Lap*. 52) évoque les mines d'ocres de Cappadoce, qui fournissaient les deux couleurs: les rouges et les jaunes. Plus précisément, on trouve du rouge (*rubra*), rouge pâle (*minus rubens*) et intermédiaire (*inter has media*), comme l'écrit le Naturaliste. Reprenant Dioscoride (*Med*. 5, 96, 1), il indique que les blocs d'ocre sont colorés dans la masse, mais l'extérieur est tacheté (*Glaebis suus colos extra maculosus*). Il pourrait donc s'agir ici de blocs d'hématite de granulométrie fine.

Le bol rouge d'Égypte et d'Afrique décrit (Plin. *Nat*. 35, 32 et 35) peut correspondre à une *terra rossa*, c'est-à-dire une terre argileuse riche en oxyde de fer ou à une latérite dont l'Afrique regorge [767]. Pour l'Afrique, le Naturaliste mentionne le *cicerculum*, d'un rouge plus intense que les autres *sinopides* « rubriques » et on s'en sert principalement au décor des zones médianes de parois et au fond des peintures et des grands panneaux muraux. L'étymologie du terme (« petit pois chiche ») évoque une couleur brunâtre. Il s'agirait d'un rouge brun sombre [768]. En 35, 35, il ajoute que les *rubricae* « rubriques » d'Égypte et celle d'Afrique sont très utiles aux artisans, parce qu'elles sont parfaitement absorbées par les enduits muraux. En fait, malgré ce que dit le Naturaliste, toutes les ocres contiennent plus ou

[764] Delamare 1987 a, p. 336 ; Houben *et al*.1995, pp. 48-49.
[765] Trad. J. M. Croisille.
[766] Dioscorid. *Med*. 5, 96, 1 ; 5, 96, 3 ; 5, 126, 5, 3 ; *Eupor*. 2, 53, 1 ; Theophr. *Lap*. 52-53 ; W. Leaf, « The Commerce of Sinope », *Journal of Hellenic Studies*, 36, 1916, pp. 11-15 ; *Les alchimistes grecs 1*, p. 228 ; *Vitruve VII*, p. 155, n. 2.
[767] Houben *et al*. 1995, p. 48.
[768] Bailey 1932, p. 209 ; Augusti 1967, p. 84.

moins de l'argile, laquelle possède une propriété fixante et absorbante sur la peinture ou l'enduit [769].

Pline signale l'ocre des Baléares, mais oublie l'Espagne à l'inverse de Vitruve (7, 7, 2). Strabon (3, 2, 6 et 12, 2, 10) cite la Turdétanie (sud de l'Espagne) pour la production d'ocre rouge [770]. Enfin, celui de l'île de Lemnos (*rubrica Lemniae* ou *sphragis*) a droit à deux paragraphes chez Pline (*Nat*. 35, 33-34). C'est un bol d'excellente qualité puisqu'il concurrence le cinabre : sa couleur imite ce dernier et il peut s'employer en sous-couche du cinabre. D'après Dioscoride (*Med*. 5, 97, 1), on fabriquait des pains de terre rouge, pétris avec du sang de chèvre ou de bouc et on y imprimait un sceau portant l'effigie de la bête sacrifiée. Le médecin Galien (*Simpl*. *med*. 12, 169-174) a fait un voyage sur l'île de Lemnos pour voir comment on préparait cette *sphragris*. Il écrit que le sceau était l'image de Diane, pour laquelle le bouc était un animal sacré [771]. En outre, Galien écrit en 12, 169 que la terre de Lemnos a trois usages selon les métiers : la terre portant le sceau, la *sphragis*, est employée en médecine (pour ses propriétés astringentes), ensuite les peintres se servent de la seconde, tandis qu'on use de la troisième pour laver les vêtements. En 12, 170, Galien note que cette terre ne tache pas, comme les autres espèces rouges, d'où son utilisation comme « terre à foulon ». Celle de Lemnos entre dans cette catégorie, qui permet le nettoyage à sec des habits.

La nature de la *sphragis* est restée mystérieuse, jusqu'à une prospection archéo-géologique sur l'île de Lemnos qui fut entreprise par E. Photos-Jones (Department of Archaeology, University of Glasgow et Scottish Analytical Services for Art and Archaeology, Glasgow), A. J. Hall (Department of Archaeology, University of Glasgow), et V. Perdikatsis (Institute of Geology and Mineral Exploration, Athènes). Leurs prélèvements de la terre de Lemnos auprès du site traditionnel d'exploitation montre que celle-ci a une couleur allant de blanche à jaune et de marron à rouge. L'analyse à la diffraction X met en évidence le fait que les principaux composants de cette terre sont de l'argile montmorillonitique et illitique avec de la cristobalite, du feldspath dégradé, du quartz et de l'alunite (sulfate d'alumine et de potassium). L'alunite est un composant de la cimolite (bentonite + alunite), qui est une argile de type smectite pour le foulonnage des étoffes. L'alunite est connue pour ses propriétés astringentes [772]. Telle est la matière première. Mais le produit final est élaboré par lixiviation

---

[769] On aurait donc ici la technique à frais ou à fresque : Bailey 1932, p. 211 ; Augusti 1967, pp. 84-85.
[770] Cl. Domergue, *Catalogue des mines et fonderies antiques de la péninsule ibérique*, Madrid, 1987, pp. 46-48 ; Domergue 1990, pp. 78-79 ; *Vitruve VII*, p. 155, n. 3.
[771] A la question de Galien si on mêlait du sang de bouc à la terre rouge, les ouvriers « rirent aux éclats ». Le sang n'était donc pas ajouté au temps de Galien. Il s'agit peut-être d'un sacrifice archaïque pour rendre Diane favorable à la production des pains de terre ou d'une histoire qui explique la couleur naturelle de la terre. Cf. Bailey 1932, pp. 209-211
[772] E. Photos-Jones, A. J. Hall, V. Perdikatsis (en cours de publication) « The risks posed by the application of chemistry on myths: the case of the elusive Lemnian Earth (sphragis), its nature and medicinal properties » *Hesperia*. http://www.sasaa.co.uk/

et lessivage, c'est-à-dire par altération de la roche-mère au moyen des eaux de pluie. Ainsi, le mélange d'argiles et d'alunite est transporté par l'eau des terrains volcaniques vers les sols alluvionnaires en aval. En 1485, le Hollandais Joos van Ghistele, au cours de son voyage à Lemnos observe la manière dont on récolte cette alluvion dans des fosses spécialement creusées à cet usage. Cette terre est recueillie dans un bassin qui sèche en été et se remplit d'eau l'hiver. La mixtion alluvionnaire se décante en laissant les éléments lourds (quartz, cristobalite) couler au fond du bassin tandis qu'il se forme à la surface une pâte épaisse multicolore. On la collecte et on la sèche [773]. La bouillie, contenant l'alunite, s'oxyde et devient colorée. On peut supposer que la pâte obtenue comporte peu d'oxyde ferrique cristallisé et ne tache donc pas si elle est utilisée pour le nettoyage des étoffes.

4. Conclusion

La *rubrica* est en 2, 3, 1 une argile rouge plastique utilisée pour la confection des adobes. Si Vitruve n'écrit pas que la *rubrica* est employée pour la brique cuite, il est certain que celle-ci, la tuile et l'adobe sont conçus au moyen des mêmes matières premières. En 7, 7, 2, *rubrica* est un bol rouge, c'est-à-dire un pigment de cette couleur. Celui-ci peut être une argile, une bauxite, une latérite, une ocre rouge et un mélange d'argile montmorillonitique et illitique avec de l'alunite, comme pour la terre de Lemnos. Le lexème *rubrica* « bol rouge » est hyponyme de *creta*.

[773] F. W. Hasluck, M. M. Husluck, *Christianity and Islam under the Sultans*, chapitre LII, « Terra Limnia », volume 2, Oxford, 1929, pp. 671-688.

19. Sabulo — Sabulosus/Sabulonosus

1. Etymologie de *sabulo* et de *sabulosus*

Săbŭlum, (*-ī*, n.*) (sabulō, -ōnis m.*) « sable, sablon, gros sable, gravier », sous le sens de gravier, il serait synonyme de *glarea*. Cette acception de « gravier » apparaît dans certains patois français et le lexème « sablon » a conservé seulement le sens de « sable fin pour écurer la vaisselle » [774] ; on retrouve *sabulo* dans les textes agricoles. *Sabulum* est attesté depuis Varron et c'est un terme technique. Les dérivés sont *sabulōsus* « sableux, sablonneux », *sabulēta*, *-ōrum* « sablières ». *Sabulonosus*, qui est une variante de *sabulosus*, est usité seulement chez Vitruve.

Sabulum vient d'un thème indo-européen **bhes-* « friction » [775]. Le lien sémantique entre « friction » et « sable » peut être expliqué par l'usage largement répandu du sable dans les sociétés préhistoriques comme abrasif pour le percement de trous ou pour le polissage des objets en pierre [776].

2. Usage et sens de *sabulo/sabulum* et de *sabulosus* avant Vitruve

Pour *sabulum/sabulo*, la première mention est dans l'œuvre de Varron (*Men*. 536 ; *Rust*. 1, 9, 2 et 5) et la dernière se trouve chez Isidore de Séville (*Orig*. 16, 1, 5). *Sabulum/sabulo* a une acception « sable, gravier » (Varron, Pline le Naturaliste, Columelle, Quinte-Curce, Cetius-Faventinus, Palladius, Isidore de Séville). Il est usité fréquemment chez les agronomes, mais il est difficile dans ces textes, sans mention d'autres roches meubles (*harena* « sable », *glarea* « gravier », *saxum*, *lapis* « pierre »), de lui attribuer précisément la signification de « gravier », par laquelle il est traduit parfois [777].

Sabulosus est usité pour la première fois par Varron (*Rust*. 1, 9, 5) et les dernières mentions sont chez Palladius (10, 1, 4). *Sabulosus* a pour unique sens « sableux, sablonneux » (Varron, Scribonius Largus, Pline l'Ancien, Columelle, Palladius).

---

[774] Bloch, von Wartburg 1989: *s. v.* Sable, p. 567.
[775] Chantraine 1984, p. 1291 ; Walde, Hofman 1982, s. c. sabulum ; Ernout, Meillet 1985, *s. v.* sabulum, p. 458 ; Mallory, Adams 1997, *s. v.* sand p. 499.
[776] Mallory, Adams 1997, *s. v.* Rub, p. 490.
[777] Glare 1980, VII, *s. v.* sabulosus, sabulum, p. 1673.

3. *Sabulo* et *sabulosus*/*sabulonosus* chez Vitruve

Sabulo « sable, sablon » est usité cinq fois : 2, 3, 1 / 5, 9, 7 / 7, 4, 5 / 8, 1, 2 (bis) [778].

- *sabulo solutus* « sable meuble, friable contenant de l'argile » : 8, 1, 2 ;
- *sabulo masculus* « sable compact »: 2, 3, 1 / 8, 1, 2.

Sabulosus « sablonneux » : 2, 6, 5 ;
- (*loca*/*sola*) *sabulosa* « terrains sablonneux » : 2, 6, 5.

Sabulonosus « sablonneux » : 2, 3, 1.
- *sabulonosum lutum* « boue de sablon » : 2, 3, 1 [779].

3.1. *Sabulo*, *sabulosus*/sabulonosus et la géologie (2, 3, 1 ; 2, 6, 5 ; 8, 1, 2)….

3.1.1. *Sabulo masculus*, *sabulo solutus* et eau potable (8, 1, 2)

En 8, 1, 2, Vitruve décrit les terrains où l'on peut trouver de l'eau et parmi ceux-ci, notre auteur rend compte de deux sols qui contiennent du *sabulo* mais qui donnent des filets d'eau différents : « Dans le sable argileux et meuble (*sabulone soluto*), on trouvera l'eau en filets, mais plus en profondeur ; elle sera boueuse et peu agréable. En outre dans le sablon mâle (*sabulone masculo*) et dans l'arène rougeâtre (*harenaque carbunculo*) les veines sont mieux assurées et plus constantes ; et de plus, elles ont bon goût. » [780] Dans cet extrait, il y a deux lexies complexes *sabulo solutus* et *sabulo masculus*. Leur traduction est malaisée : *sabulo solutus* « sable meuble, grossier et argileux » (Fensterbusch), « sable grossier » (Callebat), « sable » (Corso et Romano) et *sabulo masculus* « sable compact, grossier et argileux » (Fensterbusch), « sablon » (Perrault), « gravier grossier » (Granger), « marne consistante » (Choisy), « argile sableuse » (Callebat), « sable grossier » (Corso et Romano). La nature du *sabulo* pose problème et l'on ne peut établir si le *sabulo* (*solutus* ou *masculus*) renferme de l'argile et du sable ou du sable avec un peu d'argile.

Leur qualité géologique reste ainsi à définir. Le *solutus* se caractérise par une eau *limosa* « boueuse » et *insuauis* « peu agréable ». Dans le même extrait, Vitruve écrit que l'eau qui passe dans de l'argile (*creta*) est peu abondante et qu'elle n'a pas bon goût, peut-être à cause de calcaire. Il décrit ensuite le terrain en *sabulo solutus* : l'eau *limosa* et *insuauis* est le

[778] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* sabulo, p. 35.
[779] Solin 1972, pp. 122-124.
[780] Vitr. 8, 1, 2 : *Item sabulone soluto tenuis, sed inferioris loci inuenietur; ea erit limosa et insuauis. [...] Item*

signe d'une terre argileuse. En raison de la granulométrie fine du *sabulo* que recommande Vitruve pour les pavements en 7, 4, 5, et si ce sol renferme du *sabulo solutus*, on peut en déduire que celui-ci est un sable fin qui comprend une certaine proportion de substances colloïdales (d'origine minérale ou organique). En d'autres termes, ce *sabulum solutum* contient une part certaine de *lutum* « boue ». Si pour l'hydrologue, ce terrain n'offre pas une eau excellente, celui-ci sera bon pour le cultivateur. Pour A. Schramm, il s'agit d'une « terre sableuse » [781].

Vitruve dépeint ensuite le *sabulo masculus* et l'*harena carbunculus*, qui sont deux sols qui garantissent des veines d'eau régulières et salubres. A. Schramm définit le *masculus* comme une marne compacte, mais c'est en contradiction avec ce que décrit Vitruve: en effet, il est très difficile pour l'eau de passer par une marne qui contient de l'argile compacte. Vitruve écrit *sabulone masculo harenaque carbunculo* « dans le sablon mâle et le sable carboncle » et met sur le même plan syntaxique, par la conjonction copulative de coordination *-que* « et », *sabulo* et *carbunculus*.

Les deux adjectifs *solutus* et *masculus* semblent antithétiques, et ces dénominations « meuble », « mâle » qui qualifient des minéraux correspondent à des concepts anciens qu'on retrouve chez le Naturaliste.

Les minéraux « mâles » et « femelles » chez Théophraste et Pline

Pline définit des minéraux mâles et femelles par le ton clair ou obscur (37, 119; 37 157); appliqués aux variétés d'escarboucles, il écrit en 37, 101: « [Concernant la sandrastos, une escarboucle] Dans cette espèce aussi les mâles se distinguent par une nuance foncée et une certaine vigueur de ton qui déteint sur les objets placés auprès ; on dit même que ceux de l'Inde émoussent la vue. Les femelles ont un feu plus doux, luisant plutôt que flamboyant. » [782] Il y a donc des minéraux précieux qui sont mâles, s'ils sont foncés, et femelles, s'ils sont plus clairs ou plus éclatants. On retrouve cette différenciation chez les Grecs et plus tôt chez les géologues assyriens [783]; Théophraste (*Lap*. 30) décrit des jaspes, dont la couleur rouge est plus éclatante pour celui femelle et plus foncée pour un mâle. Pour Pline (*Nat*. 37, 34), la distinction par la couleur, lorsque le mâle est sombre, et la femelle plus éclatante, ne s'applique pas au succin, ambre jaune, lequel, lorsqu'il est le résultat de l'urine d'un lynx mâle, est roux et couleur de feu et est plus atone et blanc quand il est issu d'une femelle.

---

sabulone masculo harenaque carbunculo certiores et stabiliores sunt copiae; eaeque sunt bono sapore.
[781] Schramm 1930, pp. 557-558.
[782] Trad. E. de Saint-Denis.
[783] *Id*. Cf. *Vitruve VIII*, pp. 52-53, n. 3 et Forbes 1963, p. 91 sq.

Pour les magnétites, ces aimants naturels, la capacité d'attirer le fer permet la qualification en mâle et en femelle, comme l'écrit Pline (*Nat*. 36, 128): « […] celle qu'on trouve en Troade est noire, de sexe féminin, et par conséquent, sans forces (*eminei sexus ideoque sine uiribus*). Celle de Magnésie d'Asie est la plus mauvaise : blanche, elle n'attire pas le fer et rappelle la pierre ponce. » [784] Aussi, la magnétite qui attirera plus le fer est appelée « mâle », alors que celle qui est « sans forces » *sine uiribus* est de « sexe féminin ».

Il y a une autre distinction mâle et femelle, qui s'applique à la dureté des pierres ; ainsi le Naturaliste (*Nat*. 36, 149) parle des aétites, ces oxydes de fer, qui se trouvent par couple et qui sont indispensables à la reproduction des aigles: « Les aétites, du fait de leur nom, jouissent d'une grande réputation. On les trouve dans les nids d'aigles, comme nous l'avons indiqué dans notre dixième livre. Ces pierres, dit-on, se présentent par couples, un mâle et une femelle et, sans elles, avons-nous dit, les aigles ne se reproduisent pas, et c'est pourquoi on ne rencontre ces pierres que deux par deux. Il y en a quatre espèces : l'aétite qui provient d'Afrique est petite et tendre et porte en elle comme en son sein une argile douce et blanche. Elle est friable (*friabilem lapidem*) et on lui attribue le sexe féminin ; l'espèce mâle, que produit l'Arabie, est dure (*durum lapidem*), semblable à la noix de galle ou bien rougeâtre et renferme en elle-même une pierre dure. » [785]

Les notions de « mâle » et « femelle » recouvrent pour des minéraux, la couleur (sombre et lumineuse), l'intensité de l'attraction magnétique, et le degré de dureté.

Femelle signifie « friable », *mâle*, « dur »

Appliquée aux *sabulones*, la dualité mâle-femelle caractérise un minéral « friable », qui sera synonyme de *solutus*, et un autre qui aura le même sens que *masculus* « dur ». On retrouve chez Sénèque (*Nat.* 3, 14, 2) les deux épithètes « mâle » et « femelle » appliquées respectivement à une terre dure et à une terre maniable et cultivée : « La terre est mâle, quand elle est dure, sous forme de pierres et de rocs *(terram fortiorem marem uocant, saxa cautesque*) ; elle est femelle, si elle est maniable et cultivée (*feminae nomen assignant huic tractabili et cultae*). » [786] L'épithète *masculus*, employée chez Vitruve, a pour synonyme chez Pline *durus*. C'est donc sous ces sens qu'il convient de traduire dans le traité vitruvien *sabulum solutum* par « sablon friable » ou « sablon meuble » et *sabulum masculum* par « sablon dur ».

L'adjectif « mâle » désigne une propriété différente pour les minéraux qu'il qualifie : dureté, consistance, obscurité... Ces caractéristiques peuvent être rassemblées dans une seule pierre, tandis qu'un autre aura une seule de ces vertus. Chez Vitruve, le *sabulo* n'est *solutus*

[784] Trad. R. Bloch.
[785] Trad. R. Bloch.

« femelle, friable » ou *masculus* « mâle » que suivant le degré de consistance du minéral décrit et non en fonction de sa couleur, que notre architecte ne précise pas de toute manière, de même que la granulométrie. On peut ajouter que la taille du *sabulo* semble être incluse dans celle de l'*harena* (< 2 mm), mais qu'il pourrait être supérieur à cette taille. Quant à la composition des terrains en *sabulo*, la lexie complexe indique que *sabulo solutus* est seulement friable et/ou meuble et qu'il pourrait s'agir d'un sable calcaire, quartzique, volcanique, etc. Le *sabulo masculus* révèle qu'on ne peut pas le broyer aisément. La seule donnée minéralogique vient de la présence d'argile ou de colloïdes dans le *sabulo solutus*, car l'eau qui le traverse est *limosa* « boueuse ». Dans le *sabulo masculus*, il n'y en a pas ou très peu, puisque l'eau s'y écoulant est bonne. Il s'agit peut-être en 8, 1, 2 d'un sable volcanique ou d'un tuf volcanique peu consolidé, puisqu'il est accolé avec le *carbunculus*.

3.1.2. *Lutum sabulonosum* et les briques crues (2, 3, 1)

En 2, 3, 1, Vitruve développe son propos sur les adobes : « Les briques crues ne doivent pas être moulées de terre humide contenant du sable, ni du caillou (*de harenoso neque calculoso luto*), ni de boue de sablon ou limoneuse (*neque sabulonoso luto sunt ducendi*); parce que les briques qui sont moulées de ces sortes de terre liquide, d'abord sont lourdes, ensuite, lorsque dans les parois elles sont fouettées par les pluies, elles se désagrègent et tombent en ruine et les pailles ne font pas corps avec ces briques, à cause de leur peu de liant. »

L'importance de l'*opus latericium* dans l'architecture romaine de la fin de la République, a été étudiée en archéologie [787]. La manière dont Vitruve traite des briques sera considérée comme un archétype par Pline l'Ancien dans la deuxième moitié du premier siècle (Plin. *Nat*. 35, 170-174) et même par Cetius Faventinus (10, 1) et Palladius (6, 12) dans l'Antiquité tardive. Notre auteur, qui possède une conception atomistique de la matière (cf. deuxième chapitre du livre II), s'intéresse plus à la composition des briques qu'à leur préparation.

On rappellera le contexte technique du troisième chapitre. L'étude sur *lutum* a établi que les matériaux requis pour l'adobe sont le résultat des chaînes opératoires d'extraction, de décantation, et d'enlèvement d'éléments étrangers : lorsque le terrain n'offre que de la terre qui contient des impuretés, une longue opération de nettoyage (extraction, tamisage ou décantation de la terre) est nécessaire. Notre théoricien conçoit la fabrication de l'adobe avec des matières premières pures. Chez Vitruve, *lutum* dénote une boue (limoneuse ou sableuse), en guise de ressource, ou le mélange artificiel de matériaux secs (argile, sablon, paille) et d'eau.

---

[786] Trad. P. Oltramare.
[787] Boëthius 1978, pp. 136-214; sur les productions de briques dans le monde romain : Mc Whirry 1979,

S'il emploie le terme *lutum* pour qualifier la matière première de l'adobe, c'est parce que les sites d'extraction sont souvent marécageux ou boueux [788]. De fait, beaucoup de briqueteries sont installées sur des terrasses fluviales et exploitent le matériau déposé par les crues. Cet apport de *lutum* peut être contraignant lorsque les crues exigent de dégager périodiquement l'aire de production. Les autres *luta*, qui sont remplis d'impuretés, ne sont pas bons pour la brique crue ; en revanche, ils sont idéals pour le pisé, qui nécessite une combinaison de gravier, de sable et de limon. En effet, le pisé se caractérise par des éléments qui sont réalisés avec une terre comprimée dans des moules ou des coffrages. Sa texture sera homogène. Quant à l'état hydrique, il sera peu humide à humide. La « terre peu humide » est une terre dont l'humidité naturelle est peu élevée (4-10 %), et dont la sensation au toucher est sèche plutôt qu'humide. La « terre humide » est un mélange dont le toucher donne une perception d'humidité réelle (8-18 %), mais elle ne peut être façonnée par manque de plasticité.

Sabulonosus renvoie à des sols qui ont beaucoup de particules fines (inférieurs à 0,25 mm). Vitruve déconseille donc le *lutum sabulonosum* « terre sablonneuse ou silteuse » pour l'adobe.

3.1.3. *Sabulosa* « terrains sablonneux » (2, 6, 5)

En 2, 6, 5, l'énumération des terrains parcourt toute la granulométrie des matériaux meubles : on trouve les « terrains de nature terreuse » (*terrena*), les « sols alluvionnaires » (*sabulosa*), des terrains « graveleux » (*glareosa*), « sableux » (*harenosa*) et enfin le tuf volcanique peu induré (*materia*). Notre théoricien n'explique pas la formation de ces terrains meubles. La classification géotechnique des terres [789] divise celles-ci en plusieurs catégories. Si les terres graveleuses et sableuses sont appelées *terres grenues*, les *terres fines* coïncident avec les terres silteuses et argileuse: *sabulosa*. Les sols silteux possèdent en majorité du limon (50 % inférieurs à 0,08 mm), sont peu cohésifs et ont l'aspect soyeux. Enfin, les sols argileux (au sens granulométrique) contiennent beaucoup d'argiles, sont collants et modelables à l'état humide. Les sols *sabulosa* correspondent à une texture de terre qui n'est pas du gravier, comme certains traducteurs (Choisy, Fensterbusch) l'écrivent, ou même du caillou puisqu'il existe *glareosa*. Au contraire, ces sols *sabulosa* doivent être considérés comme ayant la granulométrie la plus fine de 2, 6, 5 : celle-ci équivaut à au sable fin ainsi qu'au limon.

En 2, 3, 1 et 2, 6, 5, le *lutum sabulonosum* et le (*solum*) *sabulosum* désignent une texture fine. On constate dans la notice technique de 2, 3, 1, un assortiment de taille de grains allant

---

pp. 5-403; Brodribb 1987, pp. 34-62.
[788] Houben, Guillaud 1995, p. 210.
[789] Houben, Guillaud 1995, p. 31.

du grossier (caillou, gravier) au fin, éventail qu'on observe aussi en 2, 6, 5 pour la description géotechnique des terres. Le théoricien rend compte de l'éventail granulométrique intermédiaire entre le sable grossier et le gravier tout en ne négligeant pas l'autre partie, à savoir les particules fines.

Dans ces deux extraits, on retrouve la notion de *temperatura*, si chère à Vitruve. Elle désigne aussi bien la combinaison des éléments premiers (eau, terre, feu, air) dans chaque corps complexe, que le dosage satisfaisant de chacune des composantes d'une maçonnerie, qu'il s'agisse de la chaux, du sable et de l'eau dans le liant ou du mortier et des moellons dans l'*opus caementicium*. En fait, en 2, 3, 1, on a plutôt affaire à une mauvaise *temperatura*, une mauvaise répartition granulométrique, pour une brique ou une bauge. En 2, 6, 5, l'aspect visuel de la terre (*glareosa*, *harenosa*, *sabulosa*) issue d'une forme quelconque d'érosion — notre théoricien n'en précise pas la nature — donne la grosseur des éléments qui la composent. Même si on trouve la première occurrence de *sabulosus* chez Varron (*Rust*. 1, 9, 5) dans un syntagme nominal dénotant une « terre sablonneuse » *sabulosa terra*, les lexies complexes *sabulosum solum*/*sabulosus locus* désignent des éléments fins (< 0,25 mm). *Sabulonosus* et *sabulosus* possèdent deux allomorphes d'un même suffixe chez Vitruve: *–osus* et *–onosus*.

Dans les notices géologiques, le *sabulo masculus* et le *sabulo solutus* ne fournissent pas d'indices sur leur granulométrie ni sur leur nature. Le *sabulo solutus* est un sable qui contient un peu d'argile ou des colloïdes, mais ce sable, comme le *masculus*, peut être sédimentaire, volcanique ou siliceux. Le *solutus* est un sable qu'on peut broyer ou qui est fluide. Quant au *sabulo masculus*, c'est un granulat dur à concasser.

3.2. *Sabulo* et le chantier (2, 3, 1 ; 5, 9, 7 ; 7, 4, 5)

L'usage du *sabulo* sur un chantier est limité par Vitruve à deux applications : pour la fabrication de la brique crue (2, 3, 1) et pour des maçonneries où l'on doit filtrer des liquides (5, 9, 7 et 7, 4, 5).

3.2.1. *Sabulo masculus* : agent démoulant ou dégraissant (2, 3, 1)

Notre architecte (2, 3, 1) écrit quels sont les matériaux, dont on a besoin pour la confection de la bauge et de l'adobe : « les briques doivent être issues de terres blanchâtres argileuses (*ex terra albida cretosa*) ou d'argiles rouges (*siue de rubrica*), ou aussi de sablons (agent démoulant ou dégraissant) (*aut etiam masculo sabulone*); car ces sortes de briques, à

cause de leur légèreté ont de la fermeté et, en oeuvre, ne pèsent pas lourdement, et s'agrègent facilement. » [790]

Il reste à définir clairement le rôle du *sabulo masculus* dans la fabrication de l'adobe. Le moulage de la brique dans l'Antiquité est manuel et il existe traditionnellement des matrices pour un seul adobe ou pour modeler plusieurs briques en même temps. Avec ces moules multiples, on peut à chaque fois produire une plus grande quantité de produits. D'après la terminologie architecturale contemporaine, l'adobe est fabriqué avec deux types de pâtes : la pâte mi-molle et la pâte mi-ferme.

La pâte mi-molle est une boule d'un mélange argileux et homogène, non collante, ni salissante (15-30 % d'eau). Cette boule, lorsqu'elle est lâchée d'une hauteur d'un mètre, s'affaisse vraiment sans se désagréger. La pâte introduite dans le moule est légèrement travaillée à la main et elle est démoulée aussitôt. Pour décoffrer aisément, la forme doit être propre et préalablement mouillée. Par cette technique du « coup d'eau », le film d'eau adhérant à la matrice facilite le démoulage. Ces briques crues présentent un retrait assez important et leur qualité doit être soignée.

Pour obtenir des adobes plus denses et plus résistants, de meilleures qualités, il est préférable de travailler avec une pâte mi-ferme (15-25 % d'eau). Celle-ci se caractérise par une boule de terre, qu'une légère pression de doigts suffit à former. Lorsqu'elle est lâchée d'une hauteur d'un mètre, elle ne se déforme presque pas. La technique de moulage est différente de la précédente. La matrice doit être très propre, trempée dans l'eau et saupoudrée de sable à l'intérieur. Cet agent démoulant est un sable fin ou très fin. La méthode rappelle l'emploi de la farine de blé en pâtisserie pour éviter que la pâte colle aux mains.

Pour cette technique du « coup de sable », une quantité de terre déterminée est grossièrement mise en forme de boule, roulée dans le sable, puis jetée avec force dans un moule à compartiment simple. La boule est tassée au poing dans la matrice en n'oubliant pas les coins et le surplus est enlevé avec une réglette de bois. Seule de la terre enrobée de sable doit adhérer aux parois de la forme pour faciliter le décoffrage. Les moules sont très divers, avec ou sans fond. L'adobe est démoulé sur l'aire de séchage. Ce procédé oblige à stocker la terre près du lieu de production et l'on doit disposer de plusieurs moules [791]. De plus, ce sable fin peut être employé comme dégraissant minéral avec la paille. La légèreté du sablon n'apporte pas beaucoup de poids à la densité de la brique dont rêve Vitruve.

On ne sait pas laquelle des deux techniques (celle *à coup d'eau* ou celle *à coup de sable*) pouvait être utilisée à Rome. Dans la méthode à coup d'eau, le *sabulo* serait un dégraissant et dans le procédé à coup de sable, il serait un agent démoulant (et dégraissant aussi par la

[790] Trad. adaptée de A. Choisy.
[791] Houben, Guillaud 1995, p. 213.

force des choses). Mais les deux *modi operandi* peuvent correspondre au texte vitruvien : *faciendi autem sunt ex terra albida cretosa siue de rubrica aut etiam masculo sabulone*. On peut alors proposer deux traductions :

1) « *Les adobes doivent être de boue issue de terre blanchâtre argileuse ou d'argile rouge, ou aussi,* d'un dégraissant : le sablon. »

2) « *Les briques crues doivent être de boue issue de terre blanchâtre argileuse ou d'argile rouge, ou aussi,* d'un agent démoulant : le sablon. »

3.2.2. Le *sabulo*, élément filtrant dans un système de drainage pour les *ambulationes* « promenades » des portiques (5, 9, 7)

Vitruve aborde, dans le neuvième chapitre du livre V, les aménagements annexes au théâtre (*post scaenam porticus*) permettant au public de s'y réfugier lors des intempéries ou aux acteurs de se préparer [792]. Plus particulièrement, il va détailler un portique de style dorique et ionico-corinthien, qui disposera à l'intérieur d'un jardin et de promenades à ciel ouvert (*sub diuo*) (Vitr. 5, 9, 2-4) [793]. Il cite le portique de Pompée à Rome et semble s'en inspirer pour décrire son modèle. La colonnade pompéienne était située derrière le théâtre de Pompée inauguré en 55 *a. C* et faisait environ 180 m sur 135 m [794]. Il n'en reste plus de trace sauf une partie du côté oriental, intégrée dans les fouilles archéologiques du largo Torre Argentina. Dans ce chapitre du livre V, Vitruve décrit ces *ambulationes* « allées, promenades » qu'on trouve dans les portiques et dans les villes [795] . À l'époque augustéenne, se développe un urbanisme rationnel, mais aussi esthétique où l'on admire des monuments et des oeuvres d'art. Cet urbanisme exige aussi que les promenades répondent à des critères de *salubritas* « santé, salubrité » en évitant la boue et les flaques d'eau.

Vitruve (5, 9, 7) présente la construction de ces promenades : « pour que ces promenades soient toujours sèches et non boueuses (*semper siccae et non lutosae*), il faudra procéder ainsi : on creusera et videra la terre le plus profondément possible ; on fera des égouts de maçonnerie à droite et à gauche des emplacements des promenades et dans la maçonnerie de leurs parois, on engagera des tubes de poterie, inclinés en pente vers les égouts. Cela fait, on remblayera ces emplacements au moyen de charbons, ensuite, par-dessus, on recouvrira et égalisera ces promenades au moyen de sablon (*sabulone*). Ainsi, à

---

[792] Sur les commentaires de ce chapitre: *Vitruvio 1*, pp. 733-752, n. 269-298.

[793] Sur les jardins romains : P. Grimal, *Les jardins à la fin de la République et aux deux premiers siècles de l'Empire*, Paris (1943) 1984 ; W. F. Jahemski, *The gardens of Pompe*i, volume I, New-York, 1979 ; B. Andreae, *" Am Birnbaum ", Gärten und Parks im antiken Rom*, Mainz, 1996.

[794] Coarelli 1994, pp. 201-202 ; Sur le portique de Pompée : F. Coarelli, « Il complesso pompeiano del Campo Marzio e la sua decorazione scultorea » in *Atti dell'Academia nazionale dei Lincei*, *Rendiconti*, 44, 1971-1972, p. 99-122; Richardson 1992, pp. 318-319; A. Nümmerich-Asmus, *Basilika und Portikus*, Köln, 1994, pp. 7-54; *Vitruvio 1*, pp. 734-735, n. 270.

[795] Sur le terme *ambulatio* pouvant désigner autre chose que des promenades dans l'architecture

raison de la porosité naturelle des charbons et de la pénétration des tubes dans les égouts, les afflux d'eau seront évacués; et ainsi les promenades pourront être sèches et sans humidité. » [796] Le théoricien emploie le *sabulo* comme matériau de chantier pour un système d'évacuation d'eau de pluie. Dans cet extrait, le terme est usité sans adjectif et K. Fensterbusch, éditeur allemand de Vitruve, traduit *sabulo* en 2, 3, 1 par « sable argileux » et ici par « gravier » : voilà qui est curieux. K. Fensterbusch suppose-t-il la présence d'argile dans son « gravier » comme dans son « sable argileux » ? Si tel est le cas, celle-ci posera problème : elle empêchera l'écoulement de l'eau de pluie vers les égouts, ce qui n'est pas le but recherché. Si au contraire le gravier est sans argile, alors on pourra tirer parti de ses propriétés filtrantes. Or, un sol en gravier pur n'est pas recommandé pour le confort du promeneur.

▪ ***Construction du système de drainage***

Dans les villes antiques, le drainage et les égouts sont le système ultime de canalisation d'eau, laquelle commence par la collecte de sources et des rivières. Le drainage sert à évacuer les eaux de pluie ou les eaux en surplus tandis que les égouts reçoivent les eaux usées, mais dans l'ensemble, drains et égouts sont dans la ville antique un seul et même système d'évacuation de l'eau dont on n'a pas ou plus l'usage [797]. Dans un plan d'urbanisme rationnel, les promenades urbaines ne pourront pas être « boueuses », car elles disposent d'un drainage des eaux de ruissellement. La notice où Vitruve dépeint ces *ambulationes* a, comme d'habitude chez notre architecte, des lacunes et on est obligé de supposer les détails des opérations de construction. Dans l'ensemble, le mode opératoire de ces promenades est le même que les routes et les voies urbaines [798].

Creusement des fossés

— *fodere et exinanire* (*ambulationes*) *quam altissime* « creuser et vider le plus profond possible les emplacements des promenades ». On creuse profondément peut-être pour aller jusqu'à un sol solide ou au niveau des fondations des bâtiments alentour. Outre la promenade elle-

---

antique : Ginouvès 1998, p. 90, 163-164, 166, 179, 181-182.

[796] Vitr. 5, 9, 7: *Eae autem uti sint semper siccae et non lutosae, sic erit faciendum. Fodiantur et exinaniantur quam altissime. Dextra atque sinistra structiles cloacae fiant, inque earum parietibus, qui ad ambulationem spectauerint, tubuli instruantur inclinati fastigio in cloacis. His perfectis compleantur ea loca carbonibus, deinde insuper sabulone. Eae ambulationes sternantur et exaequentur. Ita propter carbonum raritatem naturalem et tubulorum in cloacas instructionem excipientur aquarum abundantiae, et ita siccae et sine umore perfectae fuerint ambulationes*. Trad. A. Choisy.

[797] Sur les drains et les égouts : Hodge 1992, pp. 332-345 ; Ginouvès 1992, p. 22 ; Adam 1995, pp. 283-286 ; Ginouvès 1998, p. 26, p. 181, p. 191, n. 7. Sur l'usage de l'eau dans le monde romain : Mallissard 1994.

[798] Chevallier 1997, pp. 107-118 (structures des voies) et pp. 119-126 (les voies urbaines).

même, on excave le terrain, pour faire les emplacements des égouts (*structiles cloacas*), lesquels font office, comme dans certaines voies romaines, de fossés de drainages [799]. Ces fossés sont plus profonds que la promenade elle-même.

*Les égouts (*structiles cloacas*)*

— *dextra atque sinistra structiles cloacas facere* « à droite et à gauche (des promenades), construire des égouts ». Vitruve ne précise pas la distance qui sépare la promenade des égouts : elle peut être de quelques centimètres à un mètre cinquante [800]. L'égout consiste dans sa forme la plus simple en une sorte de tranchée ouverte (*canalis*), mais elle pouvait être couverte avec des parois et un fond qui est normalement étanche. Il peut être en pierre de taille, comme le collecteur (*flumen cloacale*) sous le Rathaus de Cologne, qui possède des conduites voûtées de 2,5 m de haut, ou il est construit en *opus caementicium*, comme dans la *cloaca maxima* à Rome [801].

— *inque earum parietibus, qui ad ambulationem spectauerint, tubuli instruantur inclinati fastigio in cloacis* « et dans les parois de ces égouts, insérer des tubes de poterie, inclinés en pente vers ces égouts ». Ces *tubuli* « tubes de terre cuite » sont utilisés dans le bâtiment autant comme tuyaux de chauffage que comme conduites d'eau. *Tubulus* est le « tuyau de terre cuite » et en 8, 6, 1, l'adjectif *fictilis* « de céramique » l'accompagne pour former *tubulus fictilis* [802]. Ces tuyaux peuvent être de section quadrangulaire ou circulaire, ou bien même être des amphores recyclées qu'on a évidées pour les enchâsser les unes dans les autres. Ces canalisations, de 11 à 20 cm de diamètre et longs de 45 à 70 cm, s'emboîtent et leur raccord peut être scellé par une préparation de chaux vive et d'huile [803]. Elles peuvent être munies d'ouvertures sur le dessus et ainsi être pourvues d'un couvercle. Celles-ci permettent leur curage ou leur nettoyage et un accès laisse passer la main pour enduire de l'intérieur le joint reliant le tuyau à un autre.

---

[799] R. Agache, « Présence de fossés parallèles à certaines voies romaines et particulièrement de fossés-limites situés à une vingtaine de mètres de part et d'autre », *Bulletin de Société des Antiquaires de Picardie*, troisième trimestre 1968, pp. 258-264.
[800] Houben, Guillaud 1995, pp. 248-249.
[801] Sur les égouts et la *cloaca maxima* : Richardson jr. 1993, p. 68 (*Canalis*), pp. 91-92 (*Cloaca maxima*) ; Bauer 1993, *s. v.* Cloaca maxima, pp. 288-290 ; Ginouvès 1992, pp. 205-206 ; Ginouvès 1998, p. 182 ; sur le collecteur du *praetorium* de Cologne de 2,5 m de haut, de 1,2 m de large et de 100 m de long : Hodge 1992, pp. 342-343, fig. 238.
[802] A *tubulus*, s'oppose *fistula* « tuyau de plomb » (8, 6, 1-2, etc.) : cf. Callebat 1973, p. 326.
[803] Hodge 1992, pp. 106-115 ; Adam 1995, pp. 276, 283-285.

Les tubuli « *tuyaux de drainage* »

Vitruve ne précise pas comment l'eau pénètre dans ces tuyaux. On ne peut que faire des hypothèses. Les *tubuli* reliant la chaussée aux égouts sont peut-être des canalisations secondaires qui dépendent de *tubuli* collecteurs situés sous la promenade. Ces tuyaux collecteurs peuvent être percés de trous ou bien leurs raccords ne sont pas complètement scellés, mais plutôt légèrement espacés pour y laisser passer l'eau, comme dans le drainage des champs agricoles. Ils peuvent être entourés de fibres (paille) autant pour empêcher le gel de l'eau que pour prévenir les particules fines de pénétrer dans le tuyau.

Le filtrage avec les charbons et le sabulo

La promenade elle-même est vraisemblablement le système de filtrage. Celui-ci est généralement constitué de couches de granulométrie décroissante depuis le fond du drain jusqu'à la surface [804].

— *complere ea loca carbonibus* « remblayer ces emplacements au moyen de charbons ». Le charbon est connu pour ses propriétés filtrantes. On peut envisager que l'on garnisse la fosse de la promenade de charbon de bois de granulométrie décroissante. On peut aussi constituer une couche de gravier au fond du fossé, puis disposer du charbon. Une autre possibilité serait de se passer de charbon pour lui substituer une succession de cailloux, de gravier et de sable (*sabulo*).

Finition

— *deinde insuper sabulone eas ambulationes sternere et exaequare* « ensuite, par-dessus, recouvrir et égaliser ces promenades au moyen de granulats ». La couche de *sabulo* constitue le sommet du système filtrage et peut-être est-il le *summum dorsum* (couche de circulation). Cette couche serait un mélange homogène de granulats d'une certaine granulométrie (sable grossier, moyen et fin).

- ***La* raritas *« porosité » du charbon comme réponse aux promenades boueuses (*ambulationes lutosae*) (Vitr. 5, 9, 7)***

Pour notre architecte, la filtration du drainage se fait au moyen d'abord de la « pénétration des tubes dans les égouts » (*tubulorum in cloacas instructionem*), ensuite de la « porosité naturelle des charbons » (*propter carbonum raritatem naturalem*). Ainsi, le principe

[804] Houben, Guillaud 1995, pp. 248-249.

de la *raritas* des corps (cf. *Pumex*) est une réponse au problème d'un trop-plein d'eau dans un terrain. La promenade boueuse (*ambulatio lutosa*) n'a pas lieu d'être dans un urbanisme rationnel, puisqu'une voie boueuse serait le signe d'un manquement au critère de *salubritas* dans un environnement urbain muni de drains et d'égouts efficaces. Connu et utilisé pour ses propriétés filtrantes, le charbon ne sert pas ici à la filtration d'eau de pluie, comme à Ampurias (cf. *Glarea*), mais à son drainage.

D'un point de vue technique, la texture d'un sol ayant une porosité élevée se révèle dans sa courbe granulométrique décroissante. Ainsi, la proportion massique de particules fines est dans ce cas d'au moins 50 % de la quantité totale de l'éventail granulométrique. On admet généralement que la compacité d'un mortier — c'est-à-dire le rapport entre le volume des agrégats et le volume total du mortier — est 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 les plus gros. Cette bonne compacité doit permettre d'établir un contact entre chaque grain, ce qui accroît la résistance du mortier [805]. Dans un graphique granulométrique, la courbe du mortier est donc croissante. Vitruve ne mentionne pas la présence de chaux dans le sol de circulation : il s'agit d'un mélange à sec. C'est pourquoi, de manière à ce que l'eau puisse traverser le pavement, les ingénieurs romains doivent tamiser des granulats dont la composition est de 50 % au moins de particules fines ; de la sorte, cette proportion caractérise une courbe granulométrique décroissante, laquelle constitue l'inverse du graphique d'un mortier standard. Le charbon est donc une matière première intéressante, car il peut se broyer assez fin pour atteindre cette proportion de 50 % au minimum.

3.2.3. Le pavement filtrant de cendres et de *sabulo* (7, 4, 5)

En 7, 4, 5, Vitruve parle encore d'un système de filtration, mais à l'intérieur d'une pièce. Il s'agit d'un pavement qui absorbe les liquides dans une salle à manger : « On creuse en dessous du niveau de la salle à manger jusqu'à deux pieds de profondeur (59,2 cm) environ (*circiter pedum binum*), et, après qu'on a damé le sol, on étend un béton ou un pavement de tuileau dont la pente débouche sur un drain (*inducitur aut rudus aut testaceum pauimentum ita fastigatum, ut in canali habeat nares*). Ensuite, on entasse et on foule énergiquement des charbons, puis on étend un mortier composite de sablon, de chaux et de cendres sur une épaisseur d'un demi-pied (*Deinde congestis et spisse calcatis carbonibus, inducitur e sabulone et calce et fauilla mixta materies crassitudine semipedali*). La surface, polie à la pierre et contrôlée à la règle et au niveau, offre l'aspect d'un pavement noir. Ainsi, dans leurs

[805] Cf. P. Canonge, F. Autric, G. Nourrissier, *Technique et pratique de la chaux*, Ecole d'Avignon, éditions Eyrolles, 1998 ; Coutelas 2003, p. 77.

banquets, le liquide qu'ils répandront de leurs coupes ou qu'ils cracheront sèche aussitôt qu'il tombe; et les serviteurs qui vont et viennent dans la pièce, même s'ils sont pieds nus, ne prennent pas froid avec un pavement de cette sorte. » [806]

Le sol imperméable est un *rudus* à base d'agrégat et/ou de *testa*, comme en 7, 1, 5 ou un *pauimentum testaceum*, qui est un *nucleus* composé en totalité de *testa*. D'après le texte vitruvien, la chaîne opératoire est la suivante :

— écraser des charbons,

— *congerere et spisse calcare carbones* « entasser et fouler d'une manière serrée des charbons » : le charbon absorbe les liquides et Vitruve l'utilise entre les pilotis des fondations de temple en terrain marécageux et pour les fondations des théâtres et des remparts (3, 4, 2; 5, 12, 5) [807];

— broyer de la cendre fraîche (*fauilla*), qui apporte à la chaux du carbone, nécessaire à la prise ;

— mélanger du sablon (*sabulo*), la cendre fraîche et la chaux grasse éteinte ;

— *inducere e sabulone et calce et fauilla mixta materiem crassitudine semipedali* « étendre le liant fait de sablon, de chaux et de cendres fraîches sur une épaisseur d'un demi-pied (14,8 cm) »;

— niveler et polir à la pierre à affûter, pour donner son fini au pavement [808]. Celui-ci peut être aisément remplacé.

Le pavement est basé sur le même principe que celui de 5, 9, 7. Les différences consistent en ce que l'humidité est drainée en dessous et aussi en ce que Vitruve mentionne la chaux dans la composition du sol de circulation. La proportion de chaux doit être insuffisante pour que le mortier ne dispose pas de propriétés liantes: la porosité est alors importante, ce qui est le but recherché. La nature du *sabulo*, qui est ici employé, n'est pas précisée : il peut s'agir du *sabulo masculus* ou du *sabulo solutus*. Toujours est-il que le *sabulo* utilisé ne saurait contenir de l'argile, puisque comme pour 5, 9, 7, le sol de charbon et de chaux doit être au contraire perméable au liquide. La granulométrie du *sabulo* suppose ici aussi des particules fines. J. B. Rondelet, célèbre architecte du XIX^{e} siècle, conclut : « Des pavés ou aires établis de cette manière pourraient être employés avec avantage pour des salles à manger, des appartements, ou des laboratoires de chimie. » [809]

4. Conclusion

Le terme *sabulo* est difficile à caractériser minéralogiquement et granulométriquement. En 8, 1, 2, *sabulo solutus* est un sable meuble ou friable, contenant de

[806] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[807] A. Rouveret in *Poseidonia-Paestum* III, édit. E. Greco et O. Theodorescu, Rome, 1987, p. 21.
[808] Sur la pierre à affûter ou queux: Plin. *Nat*. 34, 145; 36, 165; elle peut être en grès siliceux, en grès houillé ou en quartz: Plin. *Nat*. 18, 261; 36, 187-188.
[809] Rondelet 1842 (vol. 2), p. 253.

l'argile ou des colloïdes, alors que *sabulo masculus* est un sable compact qu'on peut, selon toute apparence difficilement broyer et qui a peu ou pas d'argile. Mais la nature pétrographique du *sabulo* n'est pas indiquée par notre architecte. Le *sabulo masculus* est lié syntaxiquement à *carbunculus*. Il pourrait s'agir d'un tuf volcanique peu consolidé, mais aussi d'un grès. Quelque nature minéralogique qu'il possède, le *sabulo masculus* n'est pas en 2, 3, 1, comme on pourrait le croire, un composant argileux pour l'adobe et la bauge, mais plutôt un dégraissant ou un agent démoulant qu'on met dans le moule de brique.

En 2, 3, 1 et 2, 6, 5, le *lutum sabulonosum* et le (*solum*) *sabulosum* désignent une granulométrie fine de sols. Il peut s'agir, géotechniquement, de sols sableux à sablonneux ou silteux, qui ont l'aspect d'un mortier alors que les terrains *glareosa* (2, 6, 5) ont la texture d'un béton. La notice technique de 2, 3, 1, décrit un éventail de taille de grains allant du grossier (caillou, gravier) au fin, éventail qu'on observe aussi en 2, 6, 5 pour la description géotechnique des terres. *Sabulonosus*, *sabulosus* sont deux allomorphes d'un même suffixe chez Vitruve: *–osus* (2, 6, 5) et *–onosus* (2, 3, 1). De toute évidence, le *sabulo* chez Vitruve est un sable ou un élément fin (sablon, silt, argile), mais il ne s'agit pas d'un gravier, comme l'indique les notices géotechniques de 2, 3, 1 et 2, 6, 5.

En 5, 9, 7 et 7, 4, 5, le sol est composé de charbon et de *sabulo*, qui est un élément fin. Ce genre de pavement est un système de filtration pour laisser passer l'eau. A Ampurias, le charbon et le sable sont utilisés pour des filtres et ces méthodes sont adaptées pour des petites structures, telles que les citernes d'eau de pluie. D'après la chimie vitruvienne, les pavements de charbon et de *sabulo* ont une propriété poreuse (*raritas*). La proportion de *sabulo* dans ces pavements est d'au moins 50 %. Quant à la nature du *sabulo* (*solutus* ou *masculus*), elle n'est pas indiquée par Vitruve. On peut tirer des informations des descriptions agronomiques du Naturaliste (*Nat*. 18, 135), lequel décrit les conditions de culture du lupin : « Parmi les terres fortes, c'est le rouge qu'il aime surtout (*Ex densiore terra rubricam maxime amat*). Pour nourrir cette terre, il faut retourner le lupin après sa troisième floraison ; dans un terrain sablonneux, après la seconde (*in sabulo post secundum*). Les terrains crayeux ou fangeux sont les seuls qu'il déteste et il n'y pousse pas. » [810]

Le lupin est une plante légumineuse qui sert à nourrir le bétail et à enrichir le sol. C'est une plante des terrains sablonneux et pauvres, mais elle n'aime pas les terrains contenant du calcaire. Elle est très exigeante en acide phosphorique et en potasse. Sa faculté d'utilisation du phosphore est si forte que c'est seulement dans les sables sans humus, tels que les sables des dunes, que l'engrais phosphaté est nécessaire à la même dose que le haricot [811]. Le lupin convient donc aussi à un sol de sable fin, comme le sable des dunes, même pour ce cas extrême, il faut quand même de l'engrais. Cette notice agricole montre que

[810] Trad. H. Le Bonniec et A. Le Boeuffle.
[811] Braconnier, Glandard 1952, p. 236.

le *sabulo* est ici une terre de granulométrie fine. On signalera que *sabulo* ou *sabulum* est parfois considéré comme du gravier dans les textes antiques. Sans aucune raison apparente, on retrouve cette tradition dans les écrits du savant de la Renaissance Georgius Agricola, lequel émet le propos suivant dans le *De natura fossilium*, 7, 16 [321] : *At sabulum crassius est arena, quod vel durum est vel molle*: *illud marem hoc foeminam appellant: masculum utilius sternendis viis* « Mais le *sabulum* est plus grossier que l'*arena*, il est soit dur soit mou ; on appelle le premier masculin et le second féminin: le masculin est particulièrement utile pour recouvrir des routes. » L'édition scientifique est-allemande des œuvres d'Agricola traduit *sabulum* par « gravier » [812]. En outre, dans les lettres à Meurer (*Epistula ad Meurerum*), il écrit un lexique latin-allemand sur les termes géologiques et il traduit (p. 370) *sabulum* par « Gris » nom dialectal saxon pour l'allemand « Kies », *gravier*. Les traducteurs est-allemands interprètent *Gris* par « Grober Sand, Kies » [813], conformément à ce que voulait dire Agricola, mais pas à ce que dépeint Vitruve.

[812] Georgius Agricola, *die Mineralien*.
[813] Georgius Agricola, *Schriften zur Geologie und Mineralogie*.

20. Saxum - Saxeus

1. Etymologie de *saxum* et de *saxeus*

Saxum, *-ī* n. « pierre, grosse pierre, roc, rocher » (roc, rocher : *saxum tarpeium*, *saxum sacrum*). Il a donné de nombreux dérivés dont *saxĕus* [814]. *Saxĕus* « de rocher, de pierre » est formé avec le suffixe adjectival de matière (*aeneus*, *lapideus*, etc.) qu'on retrouve aussi en grec (-εος : σιδήρεος « en fer », χάλκεος « de bronze », etc.). Le suffixe *–eus* a formé des adjectifs exprimant l'aspect de la matière (*niueus*, *roseus*, etc…) et enfin un comportement évoquant un matériau ou un modèle (*virgin-eus*, *august-eus*, etc.) [815]. Au point de vue de l'étymologie, *saxum* peut être relié à un groupe de mots germaniques, qui indique des objets tranchants (*sega*, *sego* « scie », etc.).

2. Usage et sens de *saxum* et de *saxeus* avant Vitruve

Saxum est d'abord est usité par Ennius (*Ann*. 73 ; *Scen*. 383) et Plaute (*Mer*. 197 ; *Mil*. 1024 ; *Rud*. 72) et enfin par Isidore de Séville (5, 27, 17 ; 10, 212 ; 10, 213 ; 11, 91 ; 12, 1, 17 ; 12, 7, 28 ; 13, 10, 8 ; 16, 1, 8 ; 16, 3, 2-5 ; 16, 4, 15 ; 16, 6 ; 16, 7, 2 ; 16, 19, 3 ; 19, 10, 12) [816]. *Saxum* a dix-sept acceptions environ (en y incluant les usages architecturaux) : « rocher, roc, récif » (Plaute, Caton, Cicéron, Virgile, Tibulle, Properce, Ovide, Martial, Pline l'Ancien, Tacite, Suétone), « pierre » (Virgile, Quinte-Curce, Quintilien, Isidore de Séville), « projectile » (Ennius, Cicéron, César, Horace, Quinte-Curce, Tacite), « lieu d'exécution, roche tarpéienne » (Lucrèce, Cicéron, Tite-Live, Horace, Quintilien), « rocher sur le sommet de l'Aventin, où Rémus prit les augures » (Cicéron), « marbre » (Horace, Martial), « argile lavante, bentonite » (Térence), « meule de moulin » (Pacuvius, Virgile, Ovide), « meule à affûter » (Stace, Tacite), « borne » (Juvénal), « sarcophage » (Lucain, Juvénal) ; métaphoriquement : « île rocheuse » (Sénèque), « stupide comme une pierre » (Plaute, Ovide, Stace), « pierre de Sisyphe » (Térence), « pierre tombale » (Horace).

Saxum est utilisé dans des sens architecturaux :

— « bloc de pierre » : Cicéron (*Verr*. II 1, 147), Pseudo-César (*B. Alex*. 2, 4), Ennius (*Scen*. 383 (397)), Tite-Live (8, 6, 2 ; 36, 22, 11), Ovide (*Met*. 14, 758), Columelle (7, 6, 6), Stace (*Theb*. 10, 528).

— « Pierre à chaux » : Celse (5, 28, 12, 1).

---

[814] Ernout, Meillet, 1985, *s. v.* saxum, p. 597.
[815] Meillet, Vendryes 1979, p. 391 ; Monteil 1986, p. 157 ; cf. Fruyt 1986.

On trouve *saxeus* usité d'abord chez Pacuvius (*Trag*. 310-311) et enfin par Isidore de Séville (*Orig*. 8, 2, 73). *Saxeus* a six acceptions : « composé de pierre, en pierre » (Livius Andronicus, Catulle, Varron, Sénèque, Lucain, Isidore de Séville), « issu des roches » (Virgile, Pline l'Ancien), « contenant des pierres, rocheux » (Pacuvius, Salluste, Frontin, Stace) ; métaphoriquement : « dur comme la pierre » (Pseudo-César, Apulée), « aussi grand qu'un roc » (Apulée), « sans cœur » (Pline le Naturaliste). *Saxeus* est employé dans des contextes de construction :

— *raudus saxeum* « pierre brute, parpaing de pierre » : Accius (*Melan*. 534) ;

— *saxea saepta* « murailles de pierre » : Lucrèce (4, 699 ; 6, 951) ;

— *saxea tecta* « abris de pierre » : Lucrèce (5, 984) ;

— *saxea pila* « môle de pierre » : Virgile (*Aen*. 9, 710) ;

— *saxea limina* « portes de pierre » : Virgile (*Aen*. 8, 231) ;

— *strata saxea* « dalles de pierre (de routes) » : Lucrèce (1, 317).

Avant Vitruve, *saxum* est un terme polysémique courant qui est synonyme de *lapis* « pierre ». Dans un contexte technique, *saxum* est un matériau pierreux et il peut être taillé ou adapté pour un usage précis : en sculpture et en architecture, c'est un bloc de pierre, en agriculture, c'est un instrument pour moudre le grain. Concernant l'adjectif *saxeus*, il est usité en unité lexicale complexe pour des constructions et pour des parties architecturales en pierre. *Saxum* possède une plus grande polysémie que *saxeus*.

3. *Saxum* et *saxeus* chez Vitruve

Saxum : pierre, roche, bloc de pierre. 1, 5, 8 ; 2, 5, 1 ; 2, 5, 2 ; 2, 5, 2 ; 2, 5, 3 ; 2, 7, 1 ; 2, 7, 2 ; 2, 7, 5 ; 2, 8, 4 ; 2, 8, 16 ; 2, 9, 14 ; 4, 4, 4 ; 5, 12, 5 ; 6, 8, 9 ; 7, 1, 3 ; 8, 1, 2 ; 8, 1, 2 ; 8, 3, 2 ; 8, 3, 16 ; 8, 3, 19 ; 8, 6, 3 ; 8, 6, 8 ; 8, 6, 8 ; 8, 6, 9 ; 10, 2, 2 ; 10, 2, 15 ; 10, 11, 1 ; 10, 11, 3. *Saxum* est usité 28 fois.

— *saxum album* « pierre blanche » : 2, 5, 1.

— *saxum foratum* « bloc entaillé (pour être soulevé) » : 10, 2, 2.

— *saxum quadratum* « pierre de taille » : 1, 5, 8 ; 2, 7, 1 ; 2, 8, 4 ; 2, 8, 16 ; 4, 4, 4 ; 5, 12, 6 ; 6, 8, 9.

— *saxum quadratum rubrum* « pierre de taille de tuf volcanique rouge » : 2, 8, 4.

— *saxum rubrum* « tuf volcanique rouge » 2, 8, 4 ; 8, 1, 2 et « porphyre rouge, grès porphyroïde rouge » 8, 6, 8.

---

[816] Glare 1980, *s*. *v*. saxeus *et* saxum, p. 1696.

— *saxum silex* / *saxum siliceum* « roche de pierre dure, roche siliceuse, roche de calcaire dur », 8, 1, 2 ; 8, 3, 19.

Saxeus « de rocher, de pierre » est utilisé une seule fois sous un sens métaphorique : 8, 3, 22 [817]. *Saxei sensus* « esprit pétrifié » [818].

3.1. *Saxum* et la géologie (2, 7, 2 et 5 ; 8, 1, 2 ; 8, 3, 16-19-22 ; 8, 6, 3)

3.1.1. Les tufs volcaniques tendres (2, 7, 2 ; 8, 1, 2)

En 2, 7, 2, Vitruve décrit les propriétés des tufs volcaniques tendres : « Toutes les roches tendres *(haec omnia quae mollia*) présentent l'avantage que les blocs qu'on en tire se travaillent facilement (*quod ex his saxa sunt exempta, in opere faciliter tractantur*). Dans des endroits couverts, elles sont un matériau résistant (*Et si sunt in locis tectis, sustineant laborem*) ; à l'air libre en revanche et dans des endroits non protégés, elles se délitent et s'effritent sous l'effet du gel et de la condensation en givre. Sur le bord de la mer également, elles sont

---

[817] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* saxeus, saxum, p. 35.

[818] Dans le troisième chapitre, qui est le plus long du livre VIII, Vitruve énumère et analyse les qualités des eaux de sources. En 8, 3, 22, il dépeint dans l'île de Khios (Chio, à 40 milles nautiques au S. E. du Pirée) (cf. *Pline XXXI*, n. 4, pp. 109-110; *Vitruve VIII*, n. 1, p. 123) une source qui rend fou ou plutôt qui rend insensible l'esprit du buveur comme de la pierre : « Cette source fait perdre la raison à ceux qui, non avertis, s'y sont abreuvés ; et l'on a gravé une épigramme qui signale que cette source offre une boisson agréable, mais que l'esprit de celui qui s'y sera abreuvé deviendra de pierre (*sed qui biberit saxeos habiturum sensus*). » (Trad. L. Callebat) L'épigramme, rapporté par Vitruve et Sotion (*fgm*. 25, p. 187 W.) est le suivant : « Agréable est l'eau, frais breuvage que fait jaillir cette source, mais pétrifiera l'esprit de celui qui en boit. » (ἡδεῖα ψυχροῦ πόματος λιβάς, ἣν ἀναβάλλει / < πηγή, ἀλλὰ νόῳ > πέτρος ὁ τήνδε πιών.)

Vitruve utilise *saxeus* avec le substantif *sensus*. Celui-ci est un terme usité dans la philosophie et sa polysémie se retrouve dans l'oeuvre de Cicéron. *Sensus* dénote l'action de sentir (Cic. *Senec*. 38), l'action de percevoir par les sens (Cic. *Nat*. *deor*. 3, 32). Il signifie aussi le moyen de perception: le « sens de la vue » *sensus uidendi* (Cic. *Orat*. 2, 357), le « sens de l'ouïe » *sensus audiendi* (Cic. *Rep*. 6, 19). *Sensus* est aussi la « manière de voir, de concevoir » (Cic. *Orat*. 1, 12), le « sentiment » (Cic. *Lae*. 27) et donc désigne par métonymie « l'esprit, l'intelligence » (Cic. *Verr*. 4, 33). L'unité complexe *saxei sensus* signifie les « sens de pierre », c'est-à-dire les « sens inhibés ». Elle traduit le syntagme poétique grec de l'épigramme νόῳ πέτρος « pierre dans son cœur ». L'adjectif *saxeus* est donc utilisé sous un sens figuré pour répondre à νόῳ πέτρος . *Saxei sensus* signifie donc « esprit pétrifié », c'est-à-dire « esprit aux sens paralysés, esprit insensible ».

Les effets pathologiques de cette eau semblent être l'inhibition des stimuli extérieurs, qui sont la base des facultés cognitives. *Sensus saxei* « esprit pétrifié » paraît indiquer que le sujet devient insensible au monde extérieur (apathie): le sujet voit donc sa raison neutralisée (*insipiens*). Le Naturaliste (*Nat*. 31, 15) ne détaille pas autant que Vitruve et il se contente d'écrire que la source de l'île de Chio émousse l'entendement de ceux qui la boivent (*at in Chia insula fontem esse, quo hebetes fiant*). Toutefois l'adjectif *hebes* « émoussé, qui a perdu sa pointe » apporte une précision au texte vitruvien, car il dénote, au sens figuré, un esprit émoussé, obtus, qui a perdu sa sensibilité aux stimuli. D'après les descriptions de Vitruve et de Pline, cette eau a les mêmes effets qu'un alcool ou un anesthésique: elle inhibe les sens. Cette comparaison avec l'alcool est confirmée dans le paragraphe 16, du livre XXXI, car Pline rapporte que Théopompe de Chio donne plusieurs exemples d'eau, appelée « acidulée » qui enivre : l'eau de Lynceste, de Paphlagonie et de Calès et ces eaux sont mentionnées par Pline. Évidemment, la réalité des effets de cette source est à démontrer.

rongées par la salure et se désagrègent, et elles cèdent aussi aux mouvements de l'eau » [819]. Les *lapidicinae molles* « carrières de roches tendres » désignent les tufs volcaniques de Saxa Rubra, Monterverde, Paglia, Tor Cervara, l'Anio, de Fidènes, de Castel Giubileo et du pépérin (cf. *lapidicinae*). *Lapidicinae molles* qu'on trouve en 2, 7, 1 est ici développée par un syntagme nominal au neutre pluriel *haec omnia quae mollia sunt*, dont le pluriel *saxa* serait sous-entendu. Dans l'extrait *supra*, il y a le syntagme technique, *ex* (*his*/*lapidicinis*) *saxa eximere* « extraire de ces roches tendres des blocs ». Dans la phrase « ces tufs supportent la fatigue » *sustineant laborem*, le lexème *labor* « atteinte, fatigue » [820] ne qualifie pas seulement le « travail à la pression, à la compression » engendré par la charge à soutenir, mais aussi toutes les atteintes (physiques ou atmosphériques) que subit la pierre. Ainsi, le syntagme *laborem pati* « supporter l'atteinte » (2, 8, 19) n'est pas l'équivalent d'*onus ferre* « supporter la charge » : cette lexie complexe est utilisée pour désigner l'une des propriétés du travertin. *Labor* est donc l'hyperonyme d'*onus*. On peut voir dans l'extrait de texte une notice technique exposant la notion de résistance des matériaux, fait connu mais peu approfondi [821].

En outre, Vitruve signale l'érosion climatique attaquant les tufs tendres. L'érosion maritime et les hivers froids correspondent plutôt à la côte adriatique qu'au climat de Rome [822]. Toutefois, la mauvaise tenue de ces tufs aux intempéries rappelle, par exemple, les propriétés du *cappellaccio* qui est la première roche volcanique à fournir les pierres à bâtir de Rome.

En 8, 1, 2, est mentionné un tuf volcanique tendre dans la recherche d'eau souterraine : « Dans la roche rouge, les eaux sont à la fois abondantes et bonnes, quand elles ne se perdent pas en s'échappant par des fissures (*Rubro saxo et bonae et copiosae*, *si non per interuenia dilabantur et liquescant*). » [823] L'abondance des eaux dans les tufs rouges se retrouve dans les notices de Pline (*Nat*. 31, 48) et de Palladius (9, 8). Le traité des *Géoponiques* (2, 5, 1) fait mention de la « richesse en eaux » (εὔυδρος) à la fois des « terres rocheuses noires et des terres rocheuses couleur de feu » (τὰς πέτρας μελαίνας ἔχῃ καὶ πυροειδεῖς).

On peut rapprocher le *saxum rubrum* de ce passage des *lapidicinae Rubrae* de 2, 7, 1 et du *saxum quadratum rubrum* « pierre de taille rouge » mentionné en 2, 8, 4. On relie les *lapidicinae Rubrae* aux carrières *Rubrae* qui sont situées au nord de Rome, le long de la *via Flaminia,* près de la commune de Grotta Rossa. Ces tufs rouge obscur permettent une taille assez précise (cf. *Lapis*).

---

[819] Trad. L. Callebat.
[820] Callebat, Fleury, 1995, p. 233 : 2, 7, 2 et 2, 8, 19.
[821] *Vitruve II*, p. 103, n. 1.
[822] *Vitruve II*, p. 104, n. 2.
[823] Trad. L. Callebat.

3.1.2. *Saxa silices* / *Saxa silicea* pierres dures et roches calcaires (8, 1, 2 ; 8, 3, 19)

En 8, 1, 2, on trouve une expression désignative à deux termes *saxum silex*, qui est la juxtaposition des deux substantifs : « au pied des montagnes et dans les roches siliceuses, les eaux se répandent plus abondamment et sont aussi plus fraîches et plus salubres (*Sub radicibus autem montium et in saxis silicibus uberiores et affluentiores*; *eaeque frigidiores sunt et salubriores*). » [824] Ce texte, que l'on retrouve chez Pline (*Nat*. 31, 48) et Palladius (9, 8), mentionne des sources qui jaillissent au bas des montagnes. Dans les *Géoponiques* (2, 6, 1) il est écrit: « Le pied des montagnes est plus riche en eaux que les sommets (τὰ μὲν πεδία ἄνυδρα ὑπάρχειν ὡς ἐπὶ τὸ πολύ, καὶ τὰ μείζονα μᾶλλον τῶν ἐλασσόνων) ». Cette description peut qualifier les résurgences et exsurgences d'eaux présentes en Italie [825]. *Saxum silex* ne constitue pas une dénomination géologique précise : elle peut désigner des roches siliceuses, des laves basaltiques, utilisées pour le pavage des routes [826], et d'autres pierres plus ou moins dures.

On trouve en 8, 3, 19, un autre syntagme *saxum siliceum*, qui est une unité lexicale complexe composée d'un substantif (*saxum*) et d'un adjectif (*siliceum*) : « […] lorsque les roches de silex, que ni le fer ni le feu ne peuvent à eux seuls désagréger, ont été fortement échauffées par le feu, elles éclatent et se désagrègent si on les arrose de vinaigre (*Non minus saxa silicea, quae neque ferrum neque ignis potest per se dissoluere, cum ab igni sunt percalefacta, aceto sparso dissiliunt et dissoluuntur*). » [827] Le texte vitruvien rappelle le célèbre passage de Tite-Live (21, 37, 2-3), de l'armée d'Hannibal franchissant les Alpes : « On mit ensuite les soldats à l'œuvre pour aménager la paroi rocheuse, la seule voie possible (*Inde ad rupem muniendam per quam unam uia esse poterat milites ducti*) ; comme il fallait entamer la pierre (*cum caedendum esset saxum*), après avoir abattu et ébranché des arbres gigantesques tout alentour, ils constituent un énorme tas de branches (*arboribus circa immanibus deiectis detruncatisque struem ingentem lignorum faciunt eamque*), et comme, en outre, se lève un vent violent qui facilitait l'embrasement, ils y mettent le feu (*cum et uis uenti apta faciendo igni coorta esse*) et dissolvent la roche brûlante en y versant du vinaigre (*succendunt ardentiaque saxa infuso aceto putrefaciunt*). La roche une fois ainsi calcinée par l'incendie, ils l'entaillent à coups de pics et atténuent la pente en y aménageant des lacets d'inclinaison réduite, de façon à pouvoir faire descendre non seulement des bêtes de somme, mais les éléphants. » [828]

Ce texte illustre est repris par Pline (*Nat*. 33, 71), Silius Italicus (11, 135 ; 12, 15), Juvénal (10, 153), Appien (*Hann*. 4) et Ammien Marcellin (15, 10, 11). L'usage de vinaigre sur

[824] *Id*.
[825] *Vitruve VIII*, p. 54, n. 9.
[826] Forbes 1965, p. 153.
[827] Trad. L. Callebat.
[828] Trad. P. Jal.

des roches (*saxa*) suggère aussitôt leur nature calcaire et cela a été discuté au XIX^e^ siècle, quand le chimiste Marcellin Berthelot nota que l'action conjuguée du feu et du vinaigre avait bien pour effet de rendre plus facile le travail des pics sur une pierre calcaire (*Journal des Savants*, avril 1889). L'emploi du vinaigre pour discriminer le calcaire des autres roches est connu depuis les Assyriens : on verse un acide sur le calcaire et celui-ci fait effervescence. Pline (*Nat*. 23, 54) indique de même la réaction effervescente du vinaigre quand il est répandu sur de la terre calcaire (*ita fit ut infuso terra spumet*) [829]. Le texte de Tite-Live fait mention de pics, plus précisément d'outils de fer (*ferro*), caractéristiques du travail de la pierre.

Il est possible qu'Hannibal ait eu connaissance des techniques minières lors de ses visites dans les mines d'argent d'Espagne. Le Naturaliste (*Nat*. 33, 96) parle en effet de puits qu'Hannibal avait fait ouvrir dans ces mines, puits encore exploités sous l'Empire, et dont l'un fournissait à Hannibal, dit Pline (*ibid*. 47), « 300 livres de métal par jour » [830]. Dans cette perspective, l'emploi du vinaigre suggère que *saxum siliceum* est une roche dure de nature calcaire (calcaire silexoïde), comme on en trouve dans les Alpes. On observe dans les méthodes minières un usage combiné du vinaigre et du feu. En effet, quand un pan de roche se révèle trop dur pour être débité par des pics, on y met le feu. Ce procédé est connu depuis le néolithique, mais son utilisation requiert du bois et rend la mine inhabitable pendant un certain temps, ce qui est un inconvénient si la rapidité d'extraction obéit à la nécessité du rendement. A l'eau, les auteurs classiques recommandent l'ajout de vinaigre. Outre Tite-Live, Appolodore de Damas conseille l'usage de brasiers et de vinaigre pour venir à bout des murailles. Des méthodes similaires d'extraction étaient employées au XVIII^e^ siècle au Cumberland, en Norvège en 1885, en Corée, ou encore en Inde. R. J. Forbes mentionne aussi le procédé en Italie du Nord, pour la construction des routes : à sa question, on lui a répondu que le vinaigre est une « substance très froide », qui renforce l'eau [831]. Il est raisonnable de supposer que le vinaigre est utilisé pour une dissolution le long de plans de fracture de la roche, permettant l'introduction ensuite de coins ou de pics. L'utilisation du vinaigre et du feu est une technique minière qu'Hannibal a adaptée à sa stratégie.

Saxum silex est donc un syntagme nominal où deux noms sont accolés pour désigner une roche dure, qui peut être un silex, une pierre siliceuse, une lave et un calcaire dur (silexoïde). *Saxum siliceum* qualifie plus particulièrement une roche contenant du calcaire (compact, silexoïde, lithographique).

---

[829] Forbes 1963, p. 90 ; cf. l'étude des acides ou des solvants chez Pline : Healy 1999, pp. 130-133.
[830] *Tite-Live XXI*, p. 106, n. 3. Sur l'usage du vinaigre chez Tite-Live : cf. l'appendice 2 et sa bibliographie, pp. 128-129 ; P. Frassinetti, « L'aceto di Annibale », in *G. I. F.*, 3, 1950, pp. 200-205, et A. Deman, « L'usage du vinaigre par Annibal dans les Alpes », *Phoibos*, X-XII, 2, 1955-1958 [1964], pp. 85-96.

3.1.3. L'extraction des *saxa quadrata* dans les carrières (2, 7, 1-5)

En 2, 7, 1, Vitruve présente les carrières italiennes et les classe selon leur dureté, qui correspond à leur nature géologique. Dans la notice, on trouve le syntagme technique *eximere et comparare de lapidicinis et quadrata saxa et caementorum copias ad aedificia* « extraire des carrières pour les bâtiments et fournir les pierres de taille et les matériaux de moellons ».

La lexie complexe *saxa quadrata* désigne les pierres taillées en blocs parallélépipédiques pour les assises horizontales d'un mur en grand appareil isodome ou pseudo-isodome. Il peut servir à revêtir un *opus caementicium*, et dans ce cas, la pierre de taille peut n'être pas travaillée (ou dressée) sur sa face postérieure. Chez Vitruve, *saxum* n'est pas accompagné d'un adjectif toponymique, mais il peut avoir un adjectif de couleur : *saxum album* (2, 5, 1), *saxum rubrum* (2, 8, 4). A l'inverse, *lapis* peut former avec un adjectif toponymique une unité lexicale complexe, qui est d'un usage courant dans l'Antiquité (*lapis Gabinus*, *lapis Tibertinus*, *Chii lapides*), mais curieusement Vitruve l'utilise peu. *Lapis* et *saxum* sont synonymes : ainsi *saxum quadratum* a le même sens que *lapis quadratus*, qu'on trouve en 2, 7, 5. C'est précisément en 2, 7, 5 que Vitruve indique les conditions d'extraction pour les pierres de taille (*saxa quadrata*).

La dureté (au sens des carriers et des bâtisseurs) des pierres extraites d'une carrière peut varier selon la nature minéralogique de la roche mère (granite, calcaire, etc.), sa cohérence, etc. Un moellon de granite n'aura pas la même cohésion (induration) qu'un calcaire ou un grès et l'on ne taille pas ces roches de la même façon (sur ces notions cf. *Caementum*). Comme l'écrit notre architecte en 2, 7, 1, les pierres de carrière se trouvent être de qualités inégales et diverses (*disparibus et dissimilinus uirtutes*).

Des normes techniques modernes permettent de se faire une idée sur les difficultés de taille des pierres de carrière. À ce propos, la consultation du « coefficient de taille » (ou « coefficient des difficultés de taille ») établi depuis 1959 par l'Afnor (AFNOR B. 10. 001.) est instructive. Le coefficient est gradué de 1 à 14 en progression continue, des pierres les plus faciles à tailler jusqu'aux plus difficiles, dans le cadre des techniques traditionnelles. Cette norme est valable sur la plupart des pierres de taille françaises : on fait exécuter manuellement la même pièce à plusieurs ouvriers et on mesure les temps moyens de production. À partir des pierres déjà référées dans ce système et avec le concours de spécialistes expérimentés pour réaliser des tests comparatifs, il est possible de situer approximativement dans cette échelle des roches non encore répertoriées. Pour les indices de difficulté de taille, les pierres les plus recherchées pour la construction appareillée sont celles du milieu de l'échelle, situées entre 5 et 8 [832].

---

[831] Forbes 1963, pp. 201-203.
[832] Aladenise 1988, p. 22 ; Bessac, Ferdière 1999, pp. 15-17.

Dureté type	N° indice de taille	Masse volumique kg/m3	Limite de rupture à la compression Mpa (1 Mpa ≈ 10 kgf/cm2)	Porosité des vides %
Très tendre	1	Jusqu'à 1470	jusqu'à 5	de 46 % et plus
Tendre	2	de1471 à 1650	de 5, 1 à 7,5	40 à 46%
	3	1651 à 1840	7,6 à 12	32 à 40 %
Demi-ferme	4	1841 à 2000	12,1 à 18	26 à 32%
	5	2001 à 2150	18,1 à 27,5	21 à 26 %
Ferme	6	2151 à 2270	27,6 à 39	17 à 21 %
	7	2271 à 2355	39,1 à 52	14 à 17%
Dure	8	2356 à 2440	52,1 à 66	11 à 14 %
	9	2441 à 2505	66,1 à 83	8 à 11 %
	10	2506 à 2580	83,1 à 108	5 à 8 %
Froide	11	2581 à 2640	108,1 à 129	3 à 5 %
	12	2641 à 2690	129,1 à 157	1, 5 à 3 %
	13	2691 à 2730	157,1 à 182	0 à 1, 5%
	14	2731 et plus	182,1 et plus	Moins de 0 %

Les autres mesures, que sont la résistance à la compression et la porosité, sont aussi intéressantes. La résistance à la compression correspond à la pression nécessaire par cm^2 pour obtenir la rupture d'un échantillon de pierre. Les pierres de taille communes ont une résistance à l'écrasement qui varie de 50 à 1820 kg/cm2 (5 à 182 Mpa). Quant à la porosité, elle est une indication approximative de la résistance au gel, lorsque l'eau pénètre dans les pores de la roche : plus le pourcentage est moindre, plus la pierre est résistante. Une mesure plus précise est alors la gélivité (cycle gel-dégel) (sur la comparaison entre les pierres dures et le coefficient de difficulté de taille cf. *Silex* et *siliceus*).

Conditions d'extraction pour les pierres de taille (*saxa quadrata*) (2, 7, 5)

La proximité des carrières de Rubra, de Palla et de celles qui jouxtent Rome amène nécessairement à utiliser leurs matériaux selon Vitruve (2, 7, 5) : « Quand on aura à construire, on extraira les pierres deux ans auparavant, non pas en hiver, mais en été, et on les laissera exposées à l'air. Celles que les intempéries auront endommagées au cours des deux ans seront jetées dans les fondations ; les autres qui auront été mises à l'épreuve des conditions naturelles sans être altérées, pourront résister dans une construction au-dessus du

sol. Ces règles ne sont pas seulement pertinentes pour les pierres de taille, mais aussi pour les maçonneries de moellon. » [833]

Les syntagmes techniques indiquent les phases d'extraction.

Extraction des blocs

— *ante biennum ea saxa non hieme sed aestate eximere* « extraire non en hiver, mais en été les blocs deux ans auparavant »
— *iacentia* (*ea saxa*) *permaneant in locis patentibus* « que ces blocs demeurent exposés dans des lieux découverts »

Mise à l'épreuve des blocs : cycle gel-dégel et cycle sec-humide

***Saxa laesa* " blocs altérés "**
— *quae eo biennio a tempestatibus tacta laesa fuerint, ea in fundamenta coicere* « jeter dans les fondations les blocs qui, dans cet espace de deux ans, auront été atteints par les intempéries et auront été altérés » ;

***Saxa probata ab natura rerum* " blocs approuvés par la nature "**
— *cetera, quae non erunt uitiata, ab natura rerum probata durare poterunt supra terram aedificata* « les autres blocs, qui n'auront pas été gâtés, approuvés par la nature, pourront résister et être utilisés dans une bâtisse au-dessus du sol ».

Ces syntagmes constituent l'équivalent moderne du test de durabilité: le cycle de sec-humide, où le matériau plongé dans l'eau, puis séché brutalement ou lentement à température environnante, et le cycle gel/dégel, où la substance testée est baignée dans l'eau, puis entreposée dans un congélateur et mise brusquement ou graduellement à la température ambiante. Cette épreuve des matériaux peut être nécessaire pour des pierres peu cohérentes (à partir d'un indice 1) : les pierres poreuses perdent leur humidité que l'on appelle l'*eau de carrière* et les intempéries permettent d'éliminer celles qui ne résistent pas à une exposition extérieure [834]. De tout ce qui précède, on peut conclure que *saxum*, comme *lapis*, est un terme générique dont la dureté part de l'indice 1 (très tendre) à 14 (froide).

---

[833] Vitr. 2, 7, 5 : *Cum ergo propter propinquitatem necessitas cogat ex Rubris lapidicinis et Pallensibus et quae sunt urbi proximae copiis uti, si qui uoluerit sine uitiis perficere, ita erit praeparandum. Cum aedificandum fuerit, ante biennium ea saxa non hieme sed aestate eximantur et iacentia permaneant in locis patentibus. Quae autem eo biennio a tempestatibus tacta laesa fuerint, ea in fundamenta coiciantur ; cetera, quae non erunt uitiata, ab natura rerum probata durare poterunt supra terram aedificata. Nec solum ea in quadratis lapidibus sunt obseruanda, sed etiam in caementiciis structuris.* Trad. L. Callebat.
[834] Adam 1995, p. 24.

3.2. *Saxum* : le gros œuvre et le chantier (2, 5, 1-3 ; 10, 2, 2 ; 10, 11, 1-3)

3.2.1. *Saxum* et la pierre à chaux hydraulique (2, 5, 1-3)

Au moyen de sa théorie des quatre éléments, Vitruve analyse les matériaux, leurs caractéristiques essentielles et leurs interactions chimiques lorsqu'ils sont mélangés. Il veut ainsi établir les fondements scientifiques de l'architecture. Le cinquième chapitre du livre II est donc l'occasion pour Vitruve d'appliquer cette théorie et de montrer que la connaissance des propriétés des matériaux précède nécessairement leurs usages. De plus, cette connaissance se double éventuellement d'une capacité à mener des expériences et des observations. Son choix va se porter sur les pierres calcaires (*saxa*) et la chaux (*calx*). La sélection de cette dernière matière est pertinent, car le calcaire et le marbre, rapporte Théophraste (*Lapid*. 9), ne laissent pas de scories dans un four, contrairement aux minerais métalliques. L'épreuve par le feu est donc un moyen pour déterminer la qualité des pierres et des minerais.

D'après Vitruve (2, 5, 2), les calcaires (*saxa*) sont des roches, qui sont plus ou moins dures, car elles sont composées d'une proportion variable des quatre éléments (*principia*) : terre, air, eau, feu. Le chaufour décompose, potentiellement au moyen de la chaleur, le calcaire en ses constituants premiers.

- **Saxum** *: le poids des calcaires avant et après la cuisson (2, 5, 3 ; 10, 11, 1-3)*

Avec la connaissance du feu et du four, Vitruve a donc un modèle théorique qui lui permet d'expliquer les phénomènes naturels et artificiels : les manifestations physiques dans le chaufour correspondent à celles qu'on observe dans la nature, par exemple le volcanisme souterrain. C'est là que l'on comprend mieux l'acharnement de Vitruve à vouloir rendre compte des phénomènes à partir de théories "physiques", c'est-à-dire philosophiques, alors que les commentateurs attendent plutôt de son traité une description précise des procédures et des dosages. D'après les conceptions scientifiques de son époque, l'architecte va passer en 2, 5, 3 à l'expérimentation sur la chaux vive pour valider sa théorie universelle des quatre éléments : celle-ci explicite la chimie de la chaux et le volcanisme. Vitruve va montrer qu'il n'est pas qu'un théoricien, mais aussi un expérimentateur.

La recherche et l'observation de la calcination : Vitruve, héritier de la science grecque

Avant d'analyser l'expérience de Vitruve, il serait judicieux de voir comment les savants grecs faisaient le lien entre la théorie et l'observation. Celle-ci n'est pas effectuée

pour elle-même, mais pour l'aide qu'elle peut apporter aux problèmes théoriques. Dans son livre « l'Optique », Ptolémée expose certains cas de recherches empiriques détaillées, conduites à l'aide d'appareils conçus spécialement à cet effet. Ainsi, G. E. R. Lloyd écrit : « Ptolémée mesure la réfraction qu'il a constatée entre ses trois couples de milieux et il propose ses résultats pour des angles d'incidence 10° à 80°. Dans les trois cas, les premiers résultats sont précédés de l'adverbe « presque » et tous sont énoncés en degrés et demi-degrés. Il semble donc tenir compte des approximations. Le plus surprenant, pourtant, c'est que tous les résultats s'accordent exactement avec une loi générale qui s'exprime sous la forme de l'équation $r = ai - bi^2$, où r est l'angle de réfraction, i l'angle d'incidence, a et b des constantes pour les milieux concernés. » [835]

Pour G. E. R. Lloyd, si l'importance de la relation théorie/expérience est variable selon les savants grecs, il y a un point commun aux procédures expérimentales: elles constituent des témoignages pour corroborer une théorie ou une série de résultats particuliers. « A cet égard, écrit G. E. R. Lloyd, l'expérimentation ne sert pas tant de procédure de vérification neutre – idéale – que de témoignage pour confirmer un point de vue précis. » [836] De fait, l'observation sert souvent à confirmer ou à réfuter une thèse spécifique, mais une fois le but atteint, le savant estime qu'il n'est pas nécessaire d'aller plus loin dans la recherche. Couramment aussi, les observations scientifiques, y compris celles qui sont effectuées dans un cadre expérimental, servent à étayer des conceptions préétablies [837].

L'expérience de Vitruve et son habitude des balances (10, 11, 1-3)

Vitruve connaît les méthodes expérimentales, en usage dans la science grecque depuis la fin de l'époque classique [838]. Le cadre théorique de ses idées sur les quatre éléments semble bien défini. Dans la nature, tous les corps sont composés de ces quatre constituants : l'air, la terre, l'eau, le feu. Le théoricien postule que tout corps, subissant une chaleur intense ou la « violence du feu », en perd. Si les phénomènes physiques sont les mêmes dans la nature et dans le four à chaux, ces phénomènes sont reproductibles et donc mesurables.

Pour démontrer son hypothèse selon laquelle le calcaire perd du poids à la calcination et que la théorie des quatre éléments explique cette observation, notre architecte doit quantifier par conséquent ce qu'on appelle de nos jours la « perte au feu » qui est l'évaporation du dioxyde de carbone (CO_2) du calcaire à la cuisson. Cette perte au feu se caractérise par une perte de poids du calcaire lors de la cuite. Cela semble être un fait connu

---

[835] Lloyd 1996, p. 269.
[836] *Ibid*.
[837] Lloyd 1196, pp. 273-274.
[838] Sur les procédures de validation et leur mise en oeuvre dans d'autres secteurs techniques: Lloyd 1996, « Observation et recherche », pp. 250-275 et « La démonstration et l'idée de science », pp. 276 sq. et p. 294 sq.

pour les chaufourniers antiques et modernes, mais à notre connaissance, c'est la seule fois qu'un auteur latin mesure ainsi ce phénomène : nulle trace d'une telle expérience chez Caton et les écrivains latins postérieurs à Vitruve.

Afin de mener à bien son affaire, notre architecte besoin des éléments suivants :

— des blocs de calcaire, extraits d'une carrière ;

— un four à chaux (*fornax calcaria*), comme celui décrit par Caton (*Agr*. 38, 1-4) [839] ;

— une balance à contrepoids appelée en français « balance romaine » *trituna* (Vitr. 10, 1, 6) ou *statera*, dont Vitruve donne une description en 10, 3, 4 (Cf. Pseudo-Aristote *Mech*. 20 et Héron *Mech*. 1, 32-33) ou une balance à deux plateaux *libra* [840]: il ne précise pas lesquelles il a employées.

En 10, 11, 1, Vitruve montre son habitude des balances, de la géométrie, et du calcul des fractions : « on ne monte aucune baliste dont les dimensions ne seraient pas fonction d'une grandeur donnée: celle du poids de la pierre (*ponderis saxi*) que cet engin doit lancer. » Il poursuit : « Leur calcul n'est donc pas accessible à tous; il l'est seulement pour ceux qui ont une bonne connaissance du traitement géométrique des nombres et de leurs rapports. » En 10, 11, 3, il donne une liste qui définit le rapport entre le calibre d'une baliste et le poids d'une pierre : « une baliste qui doit lancer une pierre de deux livres (*duo pondo saxum*) aura, sur son cadre, une ouverture de cinq doigts; pour quatre livres, de six doigts » [841]. De ces deux textes, Vitruve a donc l'habitude de la géométrie, des fractions, des balances, donc des mesures [842].

Pour son expérience, Vitruve a pesé les blocs de calcaire avant et après la cuisson. Sa manipulation est simplifiée par le côté pratique de la coction de la chaux, puisque celle-ci ne laisse pas de scories dans le four. De plus, le calcaire change peu de volume après la cuite. Vitruve constate ainsi le résultat : « En conséquence, le poids des pierres à chaux (*saxa*) que l'on sort du four ne peut pas être égal à celui qu'elles ont au moment où on les y jette : quand on les pèse, et bien qu'elles conservent le même volume, on constate — l'eau ayant disparu sous l'effet de la chaleur — que leur poids est diminué d'environ un tiers (*circiter tertia parte ponderis inminuta esse inueniuntur*). » On sait qu'il existe une différence de poids entre la

---

[839] Pour les descriptions des fours : Adam 1995, pp. 71-72; Moore 1995 pp. 49-69.

[840] Pourtant *trituna* désigne une balance à deux plateaux (Juv. 6, 437) comme *statera* (Petron. 35 ; Suet. *Vesp*. 25 ; Stat. *sylv*. 4, 9, 46) ; Sur les balances cf. A. Rich, *Dictionnaire des antiquités romaines et grecques*, Didot, Paris, 1859, *s. u. libra*, *statera*, *trutina* ; E. Michon, *s. u. libra*, in Daremberg, Saglio (vol. III, 2), p. 1222 sq. ; E. Michon, *s. u. trituna*, in Daremberg, Saglio (vol. V), p. 520 sq.

[841] Trad. L. Callebat

[842] Sur la connaissance vitruvienne des fractions : P. Gros, « Nombres irrationnels et nombres parfaits chez Vitruve », *Mélange d'archéologie et d'histoire de l'Ecole Française de Rome, section Antiquité*, n°68, 1976, 2, pp. 669-704.

pierre calcaire et la chaux [843]. Cette différence de poids d'un tiers est fondamentale dans la suite de notre étude.

Dans le texte de l'expérience vitruvienne, on pourrait croire que l'emploi de *circiter*, utilisé comme adverbe signifiant « à peu près, environ » avec des nombres ou des valeurs numériques, suppose une valeur approximative ou imprécise. Or il n'en est rien : chez Vitruve, on trouve quelques exemples où *circiter* est accompagné de nombres entiers ou d'entiers et d'un reste, sous la forme d'une fraction comme 1/2, 1/3, etc. [844]

En 9, 1, 10, Vitruve indique le temps de révolution de Mars, Jupiter et Saturne sur la voûte céleste et pour le quantifier, il utilise *circiter*. Dans les trois cas, l'architecte donne des temps qui sont aussi précis que ceux de Ptolémée et cette précision fait l'admiration de l'éditeur du livre IX, J. Soubiran [845].

En 10, 14, 1, Vitruve présente parmi les machines de siège, les tortues de terrassiers (*testudo*, *quae ad congestionem fossarum paratur*). D'après le texte, les quatre pièces transversales (*transuersaria*) de la plate-forme de la tortue (*testudo*) sont espacées de presque trois pieds et demi (*circiter pedes III s*). En fait, P. Fleury note que pour obtenir la largeur totale de la plate-forme de cette tortue, « l'écartement des *transuersaria* doit être en effet très légèrement supérieur à trois pieds et demi » [846]. Chez Vitruve, ces quelques exemples montrent que le syntagme « *circiter* + nombre » indique soit une grandeur précise quantifiable avec un nombre entier, soit une valeur presque exacte qu'on quantifiera avec une fraction. On peut ainsi traduire : *circiter tertia parte ponderis inminuta esse inueniuntur* « leur poids est diminué de presque un tiers ».

---

[843] Cf. Adam 1995, p. 75; Moore 1995, pp. 49-69.

[844] Callebat, Bouet 1984 (vol. 1), p. 174 ; « Circiter » est répété 25 fois chez Vitruve. Comme adverbe : 1, 6, 6 ; 2, 5, 2 ; 2, 8, 18 ; 2, 9, 7 ; 5, 12, 6 ; 7, pr, 15 ; 7, 1, 6 ; 7, 4, 1 ; 7, 4, 5 ; 8, 3, 11 ; 8, 5, 1 ; 9, 1, 5 ; 9, 1, 8 ; 9, 1, 10 ; 9, 1, 10 ; 9, 1, 10 ; 9, 2, 4 ; 10, 2, 8 ; 10, 2, 12 ; 10, 2, 14 ; 10, 8, 1 ; 10, 8, 2 ; 10, 14, 1 ; 10, 15, 6 ; 10, 15, 7. Comme préposition : 8, 1, 4 ; 9, 2, 2 ; 9, 2, 4.

[845] Vitr. 9, 1, 10 : *Martis uero circiter sexcentesimo octogensimo tertio siderum spatia peruagando* […] « Mars, lui, doit parcourir l'étendue des constellations en 682 jours environ ». La révolution est en fait de 687 jours et le commentaire de J. Soubiran dit (p. 96-97) : « Le chiffre donné par Vitruve est donc exceptionnellement précis. Seul Ptolémée, avec 1 an 321 j 23 h, fera mieux que lui. » ; Pour Jupiter : *Iouis autem, placidioribus gradibus scandens contra mundi uersationem, circiter ccclx diebus singula* [*in*] *singula signa permetitur*, […]« Quant à Jupiter, dont la marche ascendante contre la révolution du ciel se fait à pas plus tranquilles, il met environ 360 jours pour parcourir chaque signe ». J. Soubiran explique (p. 97) : « Seul avec Ptolémée, qui, avec ses 11 ans 314 j 7 h, s'approche très près de la valeur admise aujourd'hui (11 ans, 314,84 j), Vitruve ne se contente pas de 12 ans. » ; Pour Saturne : *Saturni uero, mensibus undetriginta et amplius paucis diebus peruadens per signi spatium, anno nono et uicensimo et circiter diebus clx in quo ante tricensimo fuerat anno in id restituitur* « Saturne, lui, franchit l'étendue d'un signe en 29 mois et quelques jours, et au bout de 29 ans et 160 jours environ, il retrouve l'emplacement qu'il occupait trente années auparavant ; ». J. Soubiran conclut (p. 98) : « Mais, Vitruve, avec 29 ans 160 j, serre de plus près la valeur moderne (29 ans 167 j) que Ptolémée lui-même (29 ans 182 j). La comparaison est licite, car la différence entre la révolution apparente dans le ciel et la révolution réelle autour du soleil est négligeable, vu la distance qui sépare la terre de Saturne. On se demandera seulement, une fois encore, d'où Vitruve a tiré les éléments de sa notice. »

Conclusion de Vitruve sur l'expérience de calcination des calcaires* (saxa*)

Vitruve constate qu'effectivement le poids des pierres avant et après la cuite ne correspond pas. Cette différence est remarquable : les blocs (*saxa*), tout en gardant le même volume (*permanente ea magnitudine*), ont perdu presque un tiers de leur poids (*circiter tertia parte ponderis*). Dans son esprit, sa théorie des quatre éléments est validée par une seule expérience : il peut expliquer la nature « élémentaire » de la chaux et sa prise (2, 5, 1-3 ; 7, 3, 7). Il peut affirmer que la chaux, substance incomplète et déséquilibrée par la coction, ressent une instabilité « moléculaire » (*ieiunitas*) la poussant à adhérer aux autres corps au moment de sa prise. Elle s'empare alors de leurs éléments constitutifs pour retrouver son équilibre « élémentaire ». La *ieiunitas* ne s'applique pas à la chaux seule, mais à d'autres substances naturelles, qui ont subi une cuisson intense, comme les tufs volcaniques (2, 6, 4).

- **Saxum album*: classement des calcaires pour la chaux hydraulique et la chaux aérienne (2, 5, 1)***

Distinction entre chaux hydraulique et aérienne : la chaux hydraulique de Vitruve

A partir d'une expérience, Vitruve quantifie la perte au feu du calcaire et en tire une constatation : la pierre perd deux éléments, l'« eau » (*liquor*) et l'« air » (*aer*) quand elle est cuite. Il a pu évaluer cette perte de dioxyde de carbone assez précisément avec les moyens disponibles à son époque. Ce résultat expérimental, qui est important pour notre architecte, l'est aussi pour nous, car cette indication va permettre de déterminer quel type de calcaire Vitruve calcine et quelle nature de chaux on obtient ainsi.

Avec les connaissances modernes, il devient possible de réinterpréter la mesure d'un tiers de l'expérience vitruvienne. On connaît le poids du dioxyde de carbone dans la molécule de calcite. Dans le cas idéal où la pierre contient 100 % de calcite ($CaCO_3$), la cuisson fait perdre 44 % de dioxyde de carbone (CO_2) à la pierre. Celle-ci perd donc 44 % de son poids et l'on obtient une chaux très grasse, la meilleure des chaux aériennes. Les calcaires, qui sont composés à 95 % de calcite et 5 % de silice, ont une perte au feu de 41,8 % et donnent une chaux moyennement grasse. Cette perte diminue jusqu'à 39,6 %, si la pierre renferme 10 % de silice ; la chaux est alors maigre et faiblement hydraulique.

A partir de ces calculs, on peut mesurer les données de l'architecte : celui-ci écrit que la différence de poids est de presque un tiers *circiter tertia parte ponderis* après la cuite. La perte au feu est donc de 33 %, ce qui détermine un calcaire englobant, avant cuisson, 75 % de

[846] *Vitruve X*, note 3 p. 254.

carbonate de calcium et 25 % de matériau siliceux. La chaux obtenue est alors maigre et moyennement hydraulique, d'après les définitions évoquées *supra*.

Quel calcaire Vitruve calcine-t-il ? Exemples géologiques de la péninsule italienne

En 2, 5, 1, l'architecte écrit : « Une fois traitée la question des différents sables que l'on trouve, on s'intéressera plus particulièrement aussi à la chaux : celle-ci doit être obtenue par calcination de pierre blanche (*de albo saxo*) ou de roche solide (*silice*) ; celle qui sera faite avec une pierre compacte et assez dure (*ex spisso et duriore*) conviendra pour la maçonnerie, celle qui sera faite avec une pierre poreuse, pour les enduits (*ex fistuloso*). » [847] Il y a une lexie complexe où *saxum* est explicitement mentionné : *album saxum* « pierre blanche », et deux autres où *saxum* est sous-entendu : (*saxum*) *spissum et durius* « pierre compact ferme / assez ferme » et (*saxum*) *fistulosum* « pierre poreuse ». L'examen des référents géologiques de ces trois syntagmes est déterminant pour déterminer le type de chaux hydraulique ou aérienne décrit dans ce passage.

Vitruve prend des calcaires durs et/ou blancs *uti de albo saxo aut silice coquatur*. Ce calcaire dur, qui a une perte au feu de 33 %, correspond à une pierre contenant 75 % de carbonate de calcium et 25 % d'autres composants (argile, etc.). Le calcaire dur peut cadrer avec, par exemple, la description d'un calcaire compact blanc à grain très fin et à fracture conchoïdale qu'on trouve à Varese (Italie du Nord) et qu'on exploite pour en faire des pavés : un calcaire silexoïde. Il existe bien sûr d'autres couleurs (jaunâtres, roses, rouges, grises et noires) dues à la présence d'ocres limonitiques ou hématiques et d'éléments charbonneux ou bitumineux. Le grain est fin, voire très fin et la texture est compacte. La stratigraphie est d'habitude peu nette, ce qui a pour conséquence une fracture conchoïdale : la cassure est de même nature que celle qu'on obtient sur un verre ou un silex [848]. Ce calcaire compact a l'aspect d'un silex et il contiendrait autour de 20 % de constituants silico-alumineux.

Bien entendu, du fait de son éloignement géographique, le calcaire compact de Varese a peu de chance d'être celui qu'on utilisait à Rome à l'époque tardo-républicaine. Il est plus probable qu'on calcinât des calcaires romains ou des environs. Mais il existe un exemple frappant dans le Latium, par son apport à l'histoire de l'architecture romaine et par sa géologie : il s'agit de Segni [849]. Cette colonie latine, située non loin de la *via latina* au sud-est de Rome, après les monts Albins, domine la vallée du Sacco dans la chaîne montagneuse des

[847] Trad. L. Callebat.
[848] Mottana, Crespi 1993, n° 339.
[849] De Rossi 1992.

Lepini. L'ancienne Signia culmine à 668 mètres d'altitude et est une acropole connue pour ses murs polygonaux, son temple à podium et son bassin pluvial. Elle a donné son nom au *signinum*, ce mortier imperméable de terre cuite broyée (« coccio pesto » ou en latin *testa*) [850]. On s'intéressera au bassin qui se trouve derrière l'église San Pietro [851], qui a servi à recueillir l'eau de pluie (Fig. 25-26). Ce bassin évoque « les citernes de Signia » (*opera signina*) dont Vitruve (8, 6, 14) décrit la construction : la description vitruvienne s'est peut-être inspirée du bassin de décantation. Datant du II^e^ s. *a. C.*, il mesure 21,50 m de diamètre, il est creusé dans la roche calcaire et est constitué d'un parement de tuf volcanique et d'un béton de 60 cm de large (Fig. 28) [852]. Après une période de décantation, l'eau était amenée au moyen de conduits en plomb, dans une citerne, sise *piazza del Seminario*, devant l'église, anciennement le temple de Junon Moneta. Cette citerne sert encore de nos jours et devrait être recouverte normalement d'*opus signinum*.

Se trouvant dans la cité qui a donné son nom à la célèbre technique de construction, l'on s'attendrait à ce que le béton du bassin soit constitué de tesson de céramique ou de sable volcanique, or ce n'est pas le cas : d'après l'analyse de C. F. Giuliani, il contient du sable (calcaire ?) et des petits fragments de calcaire. Les granulats sont assez homogènes (entre 1 à 3 livres). Si l'on compare le banc rocheux calcaire environnant et les composants du béton, le premier a pu fournir les matériaux (chaux hydraulique ou agrégats) [853]. En effet, les granulats sont faits d'un calcaire de densité 2,48 environ et ils sont posés horizontalement (Fig. 28). Le mortier est gris, sans trace visible de *testa*. Pourtant, un petit agrégat de 4 cm, auquel est encore liée de la chaux, montre la présence de tuileau (Fig. 29). Une analyse poussée pourrait indiquer que le mortier contiendrait ou non d'autres morceaux de *testa*, mais leur quantité serait peu importante et peut-être inutile au vu de l'hydraulicité de la chaux utilisée pour le bassin.

En effet, lors de deux visites à Segni, en 1991 et en 2006, nous avions pu voir ce bassin et le podium de l'église San Pietro, laquelle est constituée de calcaire compact et de tuf volcanique gris/noir (appelé « tuffo » dans la région). La géologie de la région de Segni est ainsi instructive : les collines sont faites de strates alternées de calcaire compact et d'argile kaolinitique rouge (argile de type dickite, avec 10 % d'oxyde de fer) (Fig. 19). Près du bassin, sur la route du *pianillo* menant au temple de Junon, c'est effectivement le cas. D'ailleurs dans la ville voisine de Colleferro, une cimenterie d'Italcementi exploite ce calcaire pour en faire

---

[850] L'argile utilisée dans le *signinum* est une argile kaolinitique qui est l'équivalent d'une pouzzolane : Sur la chimie de l'*opus signinum* et les éléments qu'apporte l'argile kaolinitique: Davidovits, Davidovits 1999 a; Davidovits, Davidovits 1999 b; Premier emploi connu dans des citernes de Jérusalem sous Salomon, X^e^ siècle av. J.-C. : Furlan, Bissegger 1975.
[851] De Rossi 1992, pp. 67-86.
[852] Giuliani 1992, pp. 89-94.
[853] Le fond du bassin est quand même recouvert d'un vrai couche d'*opus signinum* ; Giuliani 1992, p. 93.

de la chaux grasse et hydraulique et du ciment Portland (Fig. 21) . Cette dernière indication nous permet de penser que la chaux du bassin est une chaux hydraulique, car la géologie de Segni peut la fournir aisément [854].

D'une manière générale, après l'extinction d'une chaux hydraulique, il se forme du silicate de calcium qui est aussi un composant majeur du « ciment Portland ». Il est maintenant établi que la chaux obtenue par Vitruve est, d'après nos critères modernes, une chaux hydraulique. La présence de cette dernière dans les mortiers a été discutée par de nombreux auteurs [855]. M. Frizot explique le point de vue généralement admis : « Nous pensons en effet que si des chaux hydrauliques ont été employées dans l'Antiquité (et cela est rarement prouvé), c'est plutôt par méprise ou hasard que par connaissance réelle des possibilités. » [856]

Cette indication de Vitruve, sur la perte d'un tiers de poids du calcaire calciné est étonnante. Elle contredit ce que l'on pensait jusqu'à présent, à savoir que les Romains n'ont employé que de la chaux aérienne. On ne peut pas supposer l'altération du texte latin, car l'apparat critique n'en révèle aucune. F. Krohn, qui a établi la version du texte latin de Vitruve en 1912 chez Teubner à Leipzig, a transféré cette phrase de 2, 5, 3 à la fin du paragraphe précèdent (2, 5, 2), car Vitruve fait un retour à la phase de la calcination, après l'évocation de la phase d'hydratation. Mais P. Gros n'est pas d'accord avec ce déplacement et écrit : « C'est oublier, au nom d'une logique technique ou opératoire, la logique propre au théoricien qui entend préparer la formule conclusive du chapitre, laquelle prétend expliquer la cohésion de la maçonnerie concrète. » [857]

Il paraît donc étonnant que personne n'ait vérifié la proportion fournie par Vitruve, pour déterminer quel type de pierre calcaire il calcinait et en conséquence quelle chaux il obtenait. Peut-être a-t-on supposé que cela n'en valait pas la peine : puisque l'on postulait par principe que Vitruve parlait de pierre blanche, alors seule une pierre blanche donnait *ipso facto* de la chaux aérienne.

[854] Davidovits 2003.
[855] Adam 1995, p. 76.
[856] Frizot 1975, p. 328.
[857] *Vitruve II*, n. 2, p. 92.

Où placer cette chaux hydraulique issue de l'expérience vitruvienne ?

Il est utile de relire le texte de 2, 5, 1 : « Une fois traitée la question des différents sables que l'on trouve, on s'intéressera plus particulièrement aussi à la chaux : celle-ci doit être obtenue par calcination de pierre blanche ou de roche solide (*de albo saxo aut silice*) ; celle qui sera faite avec une pierre compacte et assez dure conviendra pour la maçonnerie, celle qui sera faite avec une pierre poreuse, pour les enduits. » [858] Le syntagme *de albo saxo aut silice* peut se traduire par « à partir de pierre blanche ou de roche solide » ou « à partir d'une pierre blanche, qu'elle soit tendre ou dure », puisqu'en latin, l'adjectif épithète de plusieurs noms s'accorde avec le plus proche : c'est ainsi que dans son édition de Vitruve, Morris H. Morgan (1914) traduit *de albo saxo aut silice* [859]. D'après J. André, l'adjectif *albus* est « le blanc dépourvu d'éclat » et il s'oppose à *candidus* « blanc éclatant » [860]. *Albus* désigne en latin des teintes claires, par opposition aux teintes sombres ou noires : clair, blanc, pâle, gris, grisâtre, voire jaunâtre (*albus equus* « cheval à la robe d'un blanc sale, jaunâtre »). Pourrait donc être qualifié d'*album saxum*, le calcaire compact blanchâtre de Varese ou celui de Segni, et le marbre grisâtre de Carrare. À l'inverse, peut être caractérisé par *silex* « pierre dure » tout calcaire dur, quelle que soit sa couleur : le calcaire silexoïde de Varese est à la fois *silex* et *album saxum*. On peut alors considérer que le syntagme *de albo saxo aut silice* dénote n'importe quelle pierre calcaire (marbre, dolomie, calcaire marneux, etc.), bonne à calciner.

En revanche, le calcaire de l'expérience vitruvienne a sa place dans la distinction que fait notre auteur des chaux pour le gros oeuvre et pour les enduits. En effet, la chaux hydraulique, pour le bâtiment et les fondations, est issue de pierre compacte et assez dure (*ex (saxo) spisso et duriore*) et cette description correspond au calcaire compact, qui renferme autour de 20 et 25 % de composants silico-alumineux. Les roches poreuses (*ex (saxo) fistuloso*) donneront une excellente chaux aérienne, pour les enduits. Nous retrouvons donc la distinction pour la chaux argileuse (hydraulique et maigre) et aérienne [861].

Le chapitre sur la chaux est l'occasion pour Vitruve d'exposer dans le détail sa théorie des quatre éléments : il en développe les aspects conceptuels et il la corrobore avec des procédés expérimentaux dans l'esprit des scientifiques grecs. La théorie rend possible

---

[858] Trad. L. Callebat.
[859] « Sand and its sources having been thus treated, next with regard to lime we must be careful that it is burned from a stone which, whether soft or hard, is in any case white »
[860] André 1949, pour *albus* p. 25-31, et pour *candidus*, pp. 31-38.
[861] Le classement de la chaux hydraulique ou aérienne par usage est repris par Pline, Palladius et Faventinus :
— pierres à chaux hydraulique pour le bâtiment (*in structura*): *lapis durus* (Plin. *Nat*. 36, 174), *saxum spissum et durius*, *saxum spissum et durum* (Pallad. 1, 10, 3; Cet. Fav. 9).

l'explication de tous les phénomènes de la nature chimique de la chaux et des pierres calcaires et son expérimentation apporte la preuve de l'emploi de la chaux hydraulique dans l'architecture romaine.

3.2.2. *Saxa forata* : les blocs soulevés au moyen de griffes (10, 2, 2)

En 10, 2, 2, Vitruve décrit des appareils de levage, que sont le *tripastos* et le *pentaspastos* : « Sur les plats arrières des madriers, à l'endroit où ils sont écartés, on fixe des paliers dans lesquels on introduit les têtes d'arbres de treuil, de manière que les tourillons tournent facilement. Près de chacune de leurs têtes, ces arbres ont deux entailles pratiquées de façon que les leviers s'y encastrent. Au bas, d'autre part, de la chape inférieure sont attachées des tenailles de fer (*ferrei forfices*) dont les mâchoires s'adaptent aux entailles des blocs de pierre (*quorum dentes in saxa forata accommodantur*). Et, quand l'extrémité de la corde est attachée à l'arbre de treuil, et que les leviers entraînent et font tourner le treuil, la corde, en s'enroulant autour de l'arbre, se tend et ainsi soulève les charges à la hauteur voulue et jusqu'à pied d'œuvre. » [862]

Les *forfices* « tenailles, griffes » constituent un système de préhension des pierres de taille qu'on utilise sur le chantier, comme les louves. La méthode est attestée par l'iconographie (relief de la *via Cassia*, relief de Pratica di Mare 67, peinture de la maison de *Siricus* à Pompéi). La prise est assurée au moyen de deux pointes en croc d'une pince auto-serrante, qui s'insère dans de petites cavités ménagées symétriquement sur deux faces verticales du bloc à soulever (*saxa forata*). L'efficacité de ce système consiste dans le fait que plus lourd est la pierre à lever, et plus grand l'effort de traction, et plus fermement les pinces la serrent. Il se montre supérieur à l'usage de la louve en raison de son extrême rapidité.

Cependant, le procédé avait ses inconvénients. D'abord, lorsque les griffes s'accrochent sur les faces de joint (monument à fronton de Glanum), les entailles sont invisibles. Mais, quand les orifices sont creusés sur les faces avant et arrière, le parement conserve cette multitude de points (Porte Majeure, amphithéâtre d'El Jem, théâtre de *Bulla Regia*). C'est pourquoi les architectes usaient d'autres procédés auxquels Vitruve ne fait pas allusion (Héron, *Mech*. 3, 8). La méthode se trouve aussi limitée au levage de blocs de dimensions modestes ou moyennes, en raison de la limite d'ouverture des mâchoires de la pince et des risques de glissement le long de la pierre [863].

— pierres à chaux aérienne pour les enduits : *lapis fistulosus*, *lapis molaris* (Plin. *Nat*. 36, 174), *fistulosus aut exilior lapis* (Cet. Fav. 9); *fistulosus aut mollior lapis* (Pallad. 1, 10, 3).

[862] Trad. L. Callebat.

[863] Fleury 1993, p. 119 sq. ; Adam 1995, pp. 251-252 ; *Vitruvio 2*, p. 1371, n. 42.

3.3. *Saxum quadratum* « pierre de taille » (1, 5, 8 ; 2, 7, 1 ; 2, 8, 4 ; 2, 8, 16 ; 4, 4, 4 ; 5, 12, 6 ; 6, 8, 9)

Dans son traité, Vitruve se sert plus de *saxum quadratum* que de *lapis quadratus*. Ces deux lexies complexes ont le sens de « pierre de taille, bloc quadrangulaire » qu'on définit en architecture comme un bloc travaillé sur toutes les faces (sauf éventuellement, la face postérieure).

En 2, 8, 4, après la description d'une pratique italique de la *structura caementicia* et la mise en évidence de ses « défauts », Vitruve prépare le retour à la norme grecque (*Graecorum structura*). D'après P. Gros, l'architecte oriente le huitième chapitre du livre II vers l'apologie des appareils assisés, en pierre ou en brique. Si l'on veut éviter que des parements ne se désolidarisent du noyau central (*opus caementicium*), Vitruve conseille de laisser un vide intermédiaire derrière les orthostates : « On fera, à l'intérieur, un mur de remplissage, de deux pieds d'épaisseur, avec des pierres de taille rouges, de la brique cuite ou des pierres dures assisées (*ex rubro saxo quadrato aut ex testa aut ex silicibus ordinariis*), et on liera le mur et les faces de parement au moyen de crampons en fer et en plomb. » [864]

Ces maçonneries internes que préconise le théoricien sont en brique cuite, en roche dure et en pierre de taille de tuf volcanique rouge. Elles sont *ordinariae* « rangées par ordre, disposées en assises horizontales ». D'après P. Gros, pour faire croire que la structure décrite est italique ou romaine, Vitruve recourt à une terminologie qui évoque les pierres des carrières voisines de Rome: *saxum rubrum quadratum* « roche rouge équarrie » renvoie aux tufs volcaniques rouges de type Saxa Rubra en 2, 7, 1 [865]. On retrouve cette structure dite *alternia coria* « assises alternées » en 4, 4, 4, où Vitruve décrit les murs de *cella* d'un temple avec un appareil rectangulaire de pierre ou de marbre (*quadrato saxo aut marmore*) (cf. *Lapis*).

3.4. Autre usage architectural de *saxum* (7, 1, 3 ; 8, 6, 8-9)

3.4.1. *Saxum* composant d'un radier de fondation (7, 1, 3)

En 7, 1, 3, Vitruve donne les premiers éléments de construction pour un pavement : « on pose un hérisson fait de pierres qui soient au moins assez grosses pour emplir la main (*insuper statuminetur ne minore saxo, quam qui possit manum implere*). » Ce texte fournit une information sur la taille des pierres du radier/hérisson. Le syntagme technique *insuper statuminere ne minore saxo, quam qui possit manum implere* « faire un radier de fondation, en caillou qui n'est pas moindre que celui qui peut remplir la main » est donc une donnée granulométrique. Lors des fouilles du grand édifice en *opus quadratum* de la terrasse

[864] Trad. L. Callebat.
[865] Calllebat, Fleury 1995, p. 44 ; *Vitruve II*, p. 115, n. 4.

supérieure à Bolsena, on a retrouvé dans la pièce I un *statumen* fait d'une couche de petits moellons de 8 à 10 cm de haut, correspondant à la recommandation vitruvienne. Le *statumen* désigne une couche de gros cailloux constituant un radier de fondation [866].

3.4.2. Les pierres rouges de raccord (*saxum rubrum*) dans les siphons inversés (8, 6, 8-9)

En 8, 6, 8-9, Vitruve dépeint un système de siphon inversé en poterie pour la conduite des eaux. « On utilisera des tuyaux (en poterie) dont la paroi ait au moins deux doigts d'épaisseur et ces tuyaux seront amincis à un bout de manière qu'ils puissent pénétrer l'un dans l'autre et s'emboîter. Leurs joints seront, d'autre part, enduits de chaux vive détrempée avec de l'huile, et au point d'inflexion avec la surface plane du ventre (*libramenti uentris*), exactement au coude (*in ipso geniculo*), on placera une pierre raccord en roche rouge (*lapis est ex saxo rubro*) percée de part en part afin que soient ajustés à la pierre le dernier tuyau du conduit de descente et le premier de la surface plane du ventre ; de la même manière, face à la contre-pente, le dernier tuyau de la surface plane du ventre sera fixé dans la cavité d'une roche rouge et le premier tuyau de remontée y sera ajusté de la même manière. **9** Ainsi, le plan horizontal de la tubulure ne sera pas soulevé par la violence de la chute et de la remontée de l'eau. Le fait est qu'il s'établit ordinairement dans les conduits amenant l'eau une forte pression capable de faire même éclater les pierres de raccord (*ita uti etiam saxa perrumpat*), si l'on ne prend pas la précaution, à la source d'abord, de n'introduire l'eau que peu à peu et avec parcimonie, puis, aux coudes et aux courbures, de la contenir par des ligatures ou par un lest. » [867]

Le système de siphons inversés est décrit dans le sixième chapitre du livre VIII. Les ingénieurs romains les employaient quand il fallait faire traverser des vallées aux aqueducs. Les canalisations descendaient la pente, puis franchissaient la largeur de la vallée et enfin remontaient la contre-pente. Le point d'intersection des canalisations entre la pente (ou la contre-pente) et la vallée s'appelle *geniculus* « coude », tandis que la partie de canalisations qui traverse la vallée se nomme *uenter* « ventre ». L'aqueduc de Gier vers Lyon possède à Beaunant un siphon inversé [868]. Vitruve présente ici une version plus économique à base de tuyau de céramique (*tubuli*). On trouve plusieurs exemples de siphons : la conduite découverte dans la villa Wolkonsky, sur le Célius, et qui est formée de blocs de pierre percés d'un trou cylindrique emboîtés les uns dans les autres . Le procédé semble avoir été utilisé à

[866] Balland, Barbet 1971, p. 94 ; Ginouvès, Martin 1985, p. 147, n. 135.
[867] Trad. L. Callebat.
[868] Hodge 1992, p. 108, fig. 102 ; Callebat, Fleury 1995, planche IV, *s. v.* geniculus, p. 246, *s. v.* uenter, p. 247.

Rusazu, en Afrique et au siphon de l'aqueduc de Patara, en Lycie, à Dougga (Tunisie), à Poli (Arezzo, Italie) [869].

La pratique des pierres percées pour lier des tuyaux, ou servir de canalisations pour les aqueducs est attestée à l'époque hellénistique : on peut citer entre autres Ephèse, Patara, Laodicea (Asie Mineure), Aspendos, Hippos (Susita, Israël). A Ephèse, des tuyaux de plomb ont à chaque bout des pierres de raccord en marbre (appelées en allemand *Marmormuffen*). Vitruve mentionne dans sa description l'utilisation de telles pierres faites de *saxum rubrum* « roche rouge » pour les joints des coudes. A. T. Hodge écrit qu'on n'a pas trouvé de dispositifs en roche rouge, mais C. Germain de Montauzan évoque l'hypothèse d'un porphyre ou d'un grès porphyroïde. D'après Vitruve (8, 6, 9), la pression dans le siphon peut briser les pierres de raccord (*saxa*) : les coups de bélier dans les siphons inversés doivent être maîtrisés par la connaissance des pentes des vallées à traverser [870]. C'est pourquoi elles doivent être en roche solide pour résister aux pressions éventuelles.

4. Conclusion

Saxum est un terme polysémique pour les roches (sédimentaires, volcaniques…) et les blocs équarris. Dans un discours géologique, *saxum* désigne les tufs volcaniques tendres de la région de Rome, les calcaires comme le travertin. *Saxum silex* / *saxum siliceum* prennent l'acception générale de « roche de pierre dure, roche siliceuse, roche de calcaire dur ». *Saxum siliceum* peut qualifier des roches comprenant du calcaire, que l'on entame à l'aide de pics, de vinaigre et de feu selon des techniques minières. L'unité complexe lexicale *saxum rubrum* a deux sens géologiques qu'on peut distinguer : en 2, 8, 4, il s'agit d'un tuf volcanique tendre et rouge, tandis que les pierres de raccord (8, 6, 8) sont supposées être en grès porphyroïde rouge ou en porphyre rouge. D'une manière générale, *saxum* désigne des pierres d'un indice de dureté allant de 1 (très tendre) à 14 (froide).

Dans le chapitre sur la chaux (2, 5), Vitruve mène une expérience sur les calcaires (*saxa*). Il remarque que ceux-ci, après la cuisson, perdent un tiers de leur poids (*circiter tertia parte ponderis*). Cette constatation est l'expression de la calcination d'un calcaire contenant autour de 20 % de silicates : il s'agit bien d'une chaux moyennement hydraulique. Or, notre architecte a bien conscience du caractère hydraulique de la chaux et recommande un calcaire compact siliceux pour l'édification des murs, car le classement qu'il donne en 2, 5, 1 des

[869] Grimal 1945, p. 166 ; *Vitruve VIII*, p. 177, n. 3 : les tuyaux en terre cuite de l'aqueduc de Kuttolsheim à Strasbourg, emboîtés les uns dans les autres, passaient ainsi, tous les 225 ou 230 m, dans des blocs de pierre carrée, munis de tuyaux verticaux servant de regards ; De Montauzan 1909, pp. 192-193 ; sur les siphons : Hodge 1992, pp. 147-160.
[870] De Montauzan 1909, pp. 192-193 ; Hodge 1992, pp. 30-45, p. 241 et p. 395, n. 2 (pour les *Marmormuffen*), pp. 240-241.

usages ressemble à celui, moderne, de la distinction ente chaux aérienne et chaux hydraulique.

H.-O. Lamprecht, spécialiste allemand des mortiers anciens, écrit qu'il faut tenir compte de plusieurs facteurs lorsque l'on fait le liant pour l'*opus caementicium* : la chaux, et les adjuvants hydrauliques. On admet conventionnellement que Vitruve conseille le calcaire le plus blanc pour produire la meilleure chaux pour le bâtiment. Mais pour H.-O. Lamprecht, cette remarque ne peut s'appliquer qu'à la chaux aérienne, puisqu'une chaux hydraulique ou très hydraulique, exige, comme matière première, un calcaire argileux, donc impur et coloré [871].

Il n'avait pas été constaté que le calcaire compact de Vitruve était un calcaire silico-alumineux et c'est pour cela qu'on en déduisait que le raisonnement de l'architecte était faux. Or, celui-ci recommande ce type de calcaire précisément pour l'édification des murs, ce qui suppose un caractère fortement hydraulique, tel qu'exigé par H.-O. Lamprecht. Il est curieux qu'on n'ait pas fait plus attention à la constatation de Vitruve indiquant, qu'au cours de la cuisson, les pierres calcaires perdent un tiers de leur poids (*circiter tertia parte ponderis*) : on se serait aperçu que notre architecte connaissait et préconisait l'usage de cette chaux hydraulique pour le bâtiment.

La distinction entre la chaux hydraulique et la chaux aérienne (distinction des chaux pour le gros oeuvre et pour les enduits) est reprise par les auteurs postérieurs à Vitruve. Mais avec Pline le Naturaliste, on remarque un élargissement de la liste des calcaires qui fournissent essentiellement de la chaux aérienne : le texte plinien reflète une standardisation du matériau. On constate alors, que, depuis Caton jusqu'à Palladius et Faventinus, il y a une modification dans la description des calcaires qui doit être le reflet de l'évolution de la technique des liants : la chaux aérienne prend le pas sur la chaux hydraulique.

Or, la présence de chaux hydraulique dans les mortiers antiques reste à confirmer et il faudra attendre que des méthodes complémentaires d'analyses soient mises au point par des archéomètres. Pourtant, ceux-ci ont analysé des enduits et des mortiers de type *opus signinum* en utilisant non pas un seul type d'analyse (comme la microscopie optique), mais tout un ensemble (microscopie optique ; microscopie électronique à balayage ; microsonde électronique ; analyse chimique quantitative ; diffraction aux rayons X ; absorption aux infrarouges). Ils ont pu déterminer grâce à cela, que le liant d'*opus signinum* renferme, en plus de la calcite, des silicates d'alumines hydratés provenant de la réaction pouzzolanique entre la brique pilée (*testa*) et la chaux [872]. On attendra pour la chaux hydraulique que les méthodes archéométriques soient au point, s'il le faut en utilisant les techniques d'analyse pour l'*opus signinum*.

---

[871] Lamprecht 1996, pp. 44-45.
[872] Rassineux, Meunier 1989.

Saxum est usité avec l'adjectif *quadratum* pour dénoter la pierre de taille et un bloc équarri : en 1, 2, 8, dans cette nomenclature, on peut opposer *silex* (lave, calcaire dur) à *saxum quadratum*, qui est plus facile à tailler [873].

L'adjectif *saxeus* est employé une seule fois dans Vitruve. Avec le substantif *sensus* « sens », ils forment tous deux la lexie complexe *saxei sensus*. *Sensus* désigne par métonymie « l'esprit, l'intelligence », alors que *saxeus* est utilisé sous un sens figuré. *Saxei sensus* traduit νόῳ πέτρος « pierre dans son cœur ». *Saxei sensus* signifie « esprit pétrifié », c'est-à-dire « esprit aux sens paralysés, esprit insensible ». *Saxei sensus* est synonyme de l'adjectif plinien *hebes* et ces deux unités lexicales se distinguent de *insipiens*, qui est plus général et qu'on peut considérer comme l'hyperonyme d'*hebes* et de *saxei sensus*. Le contexte vitruvien et plinien permet de déterminer que l'eau de l'île de Chio a des effets enivrants, comme des substances alcooliques.

[873] Lugli 1957, pp. 41-43.

21. Sil - ᾿ΩΧΡΑ - Vsta

1. Etymologie de *sil*, d'ὤχρα et d'*usta*

᾿Ωχρα (-ης , f.) « ocre, teinte jaune d'origine minérale » est dérivée de l'adjectif ὠχρός « jaune pâle », qui a donné des composés comme ὠχρο-μέλας « brun tirant sur le jaune (d'un malade qui a la jaunisse) », et d'autres dérivés comme ὦχρος (m.) « pâleur ». Concernant l'étymologie, on est en présence de plusieurs hypothèses :
— un substantif neutre ὦχρος aurait remplacé dans le texte homérique un plus ancien * ὦχος à côté de l'adjectif ὠχρός ;
— ὠ-χρός (avec un préfixe ὠ-) qu'on rapproche du sanskrit *vy-ā-ghrá* « tigre » avec une partie radicale diversement expliquée. Ces deux hypothèses n'ont pas la faveur de P. Chantraine [874]. Le terme ὤχρα (*ochra*) est usité entre autres par Dioscoride (5, 93, 1 ; Pseudo-Dioscoride Euporista 1, 192, 1) et Théophraste (Lap. 49-53). Vitruve est le premier auteur latin à en user dans la littérature latine et Isidore de Séville (Orig. 19, 17, 13), le dernier. Ainsi, *ochra* possède deux acceptions : « ocre attique » (Vitruve, Celse, Pline, Dioscoride) et « ocre » (Celse, Pline l'Ancien, Oribase, Isidore de Séville) [875].

Sīl (*-lis*, n.) « sil, ocre jaune ». Ce nom n'a pas d'origine établie, mais on trouve un adjectif dérivé *sīlāceus , -a, -um* « de sil ». Peut-être est-ce le même mot que *sil*, *sili*, *-lis* autre forme nominale de *sesilis* « tordyle, plante ombellifère » [876]. *Sil* « ocre » apparaît avec Vitruve et est usité par Pline le Naturaliste.

Vsta (*-ae*, f.) « ocre brûlée, céruse cuite » est un dérivé du participe passé du verbe *ūrō* (*-is*, *-ēre*, *ussī*, *ustum*) « brûler ». *Vsta* serait alors le participe passé devenu substantivé de *terra usta* « terre brûlée ». Il apparaît avec Vitruve et Pline le Naturaliste est le dernier à en user. *Vsta* possède deux acceptions : « ocre cuite » (Vitruve, Pline l'Ancien) et *cerussa usta* « céruse cuite » (Pline l'Ancien).

---

[874] Pour la critique de ces hypothèses : Chantraine 1984, *s. v.* ὠχρός , p. 1306.
[875] *T. L. L.* IX, col. 411, l. 34-57.
[876] Cf. σέσιλις *et* σέσιλι : Glare 1977, VII, *s. v.* sil, p. 1760 ; Ernout, Meillet 1985, *s. v.* sil, p. 625.

2. Ὤχρα , *sil* et *usta* chez Vitruve

Ὤχρα « ocre jaune » : 7, 7, 1 [877].

Sil « sil, ocre » est usité cinq fois : 7, 7, 1 (bis) / 7, 11, 2 / 7, 14, 1 (bis).
— *sil atticum* « sil attique » 7, 14, 1 (bis) [878].

Vsta « ocre rouge brûlée » : 7, 11, 2 [879].

2.1. *Sil* « ocre » et *ὤχρα attica* « ocre jaune » (7, 7, 1)

L'ocre est une poudre colorée en jaune par la goethite (hydroxyde de fer de formule générale FeOOH), ou en rouge par l'hématite (oxyde de fer de formule générale Fe_2O_3). Il est mélangé à de la silice, du calcium, du magnésium, de l'aluminium et des impuretés (sulfates, carbonates, silicates, etc.). Les archéomètres font la distinction entre la goethite et l'ocre jaune d'après un critère de pureté : la première peut être plus ou moins pure, alors que la seconde contient toujours une proportion d'argile (kaolinite) [880]. Ainsi, une ocre est constituée par la fraction fine (kaolinite et oxyde de fer) obtenue après élimination de la partie grenue d'un sable ocreux.

Les nuances de l'ocre vont du jaune clair au rouge, en passant par le jaune foncé et le jaune brun, selon la plus ou moins grande teneur en oxyde ferrique. 90 % du tonnage disponible est composé d'ocres jaunes [881]. Cette échelle de couleur fait de ce pigment une teinte qui fut utilisée par les artistes grecs, comme le rapporte le Naturaliste (33, 158-160 ; 35, 30) [882]. En peinture romaine, la variété jaune est la teinte la plus employée [883].

Il est donc normal que Vitruve (7, 7, 1) mentionne l'ocre (*sil*), qu'on appelle ὤχρα (*ochra*) en grec. C'est la première couleur naturelle avec laquelle il commence le chapitre portant sur les pigments extraits du sol : « On le trouve en beaucoup d'endroits et, par exemple, jusqu'en Italie. Mais celui qui était le meilleur, l'attique, on ne l'a plus aujourd'hui,

---

[877] Callebat, Fleury, 1995, p. 201.
[878] Callebat, Fleury, 1995, p. 202.
[879] Callebat, Fleury, 1995, p. 206.
[880] Delamare 1987 a, p. 337 ; Béarat 1997, p. 25.
[881] Delamare 1987 a, p. 337.
[882] *Pline XXXV*, pp. 167-168, n. 1.
[883] Rouveret 1989, pp. 260-261. H. Béarat (1997, p. 25) fait la liste des pigments jaunes qu'on a retrouvés dans la peinture romaine : outre les oxydes de fer (goethite, limonite, ocre jaune, terre d'ombre et certaines marnes), on a ensuite la litharge (PbO), appelée scorie de plomb, l'orpiment (As_2S_3), l'or et la jarosite ($KFe_3(S0_4)(OH)_6$) ; on peut également évoquer des couleurs jaunes d'origine végétale employées pour falsifier le sil attique, ou la malachite.

pour la raison que voici: il y avait à Athènes un personnel d'esclaves affectés aux mines d'argent, et l'on creusait des puits sous la terre pour découvrir l'argent; lorsque, au cours de ces travaux, on venait à trouver une veine d'ocre, on la suivait tout comme si c'eût été de l'argent. Aussi les anciens avaient-ils en abondance une ocre excellente dont ils se sont servis pour la finition de leurs ouvrages. » [884]

2.1.1. Extraction de l'ocre attique dans les mines d'argent selon Vitruve

— *specus sub terra fodere ad argentum inuenire* « creuser des puits sous la terre pour découvrir l'argent ».
— *uenam* (*ochrae*) *forte inuenire* « trouver par hasard une veine d'ocre ».
— *uenam persequi nihilominus uti argentum* « suivre la veine comme si c'était de l'argent ».

Les phases d'extraction selon notre architecte se font donc en trois étapes. Pour dénoter l'ocre attique dont il est question dans ce passage, Vitruve utilise l'adjectif *attica*. L'expression désignative à deux termes devrait être *ὤχρα attica*, qui est la transcription de l'équivalent grec ὤχρα Ἀττική (Dioscoride 5, 93, 1 ; Pseudo-Dioscoride *Euporista* 1, 192, 1). *Sil atticum* n'est pas usité ici, mais par Pline (*Nat*. 33, 158 ; 35, 50). L'ocre attique est une qualité surfine d'une terre jaune foncé, friable et sans gravier. Cette facilité d'exploitation, alliée à une granulométrie fine, faisait donc du sil attique une ocre recherchée [885]. De plus, ce sil est un produit secondaire d'extraction de la mine d'argent. *Sil* est le terme générique pour l'ocre jaune [886]. Le lexème *fodina* « mine » est employé seulement en composition comme ici avec *argentifodinae*. *Specus* désigne aussi le « puits » ici et en 10, 16, 9 [887]. La notion de « sil attique », utilisée par Vitruve puis par Pline (*Nat*. 33, 158), si elle était quelques siècles auparavant une appellation d'origine, reste pour ces auteurs un label qualitatif, même si on ne l'exploite plus à leur époque.

---

[884] Vitr. 7, 7, 1: *Primum autem exponemus, quae per se nascentia fodiuntur, uti sil, quod graece ὤχρα dicitur. Haec uero multis locis, ut etiam in Italia, inuenitur ; sed quae fuerat optima, attica, ideo nunc non habetur, quod Athenis argentifodinae cum habuerunt familias, tunc specus sub terra fodiebantur ad argentum inueniendum. Cum ibi uena forte inueniretur, nihilominus uti argentum persequebantur ; itaque antiqui egregia copia silis ad politionem operum sunt usi.* Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[885] Delamare 1987 a, p. 341.
[886] André 1949, *s. u.* silaceus, p. 159 et p. 291 ; Forbes 1965, p. 226; Augusti 1967, pp. 93-95 et p. 98 ; Reinach, Rouveret 1985, Paris, p. 10, n. 9.
[887] Cf. Halleux, Yans 1990, p. 26.

2.1.2. Les mines du Laurion et l'extraction du sil attique

D'une manière générale, l'ocre jaune est produite à partir de la limonite et de sables ocreux. La limonite est une roche fibreuse dont la couleur va du jaune pour les variétés terreuses, au brun pour les variétés compactes. Elle est formée de goethite, de lépidocrocite et d'oxydes de fer non cristallisés [888]. On tire aussi l'ocre des sables ocreux. Ceux-ci sont des mélanges de sable de quartz, de minéraux argileux (surtout de la kaolinite) et d'oxydes métalliques colorés. Ils sont teintés en jaune par la goethite, en jaune-brun par le mélange goethite - bioxyde de manganèse et en rouge par l'hématite. Leur composition varie selon la localisation des carrières par la proportion des constituants, la nature des argiles et par certaines caractéristiques des oxydes de fer colorés [889].

Vitruve signale l'extraction du sil attique qui était la meilleure des ocres à cause de sa qualité surfine. Dioscoride (5, 93), et Pline (*Nat*. 33, 158) lui accordent aussi leur préférence : pour Dioscoride, le sil attique est l'ocre la plus légère, car elle est une terre jaune foncé, friable et sans gravier. D'après le Naturaliste, elle était utilisée par les peintres Polygnate et Micon. La description de Vitruve sur l'extraction du sil attique correspond aux mines du Laurion, au sud-est de l'Attique. Celles-ci fournissaient du plomb, de l'argent, du mercure, de l'ocre, du zinc, de la litharge et d'autres minéraux. Les ouvriers, généralement des esclaves, travaillaient dans des conditions difficiles en risquant la suffocation ; ils creusaient le sol en suivant les veines irrégulières d'argent et recueillaient l'ocre au passage : Théophraste (*Lap*. 52) mentionne toute la pénibilité de cette extraction. On a retrouvé dans la mine de Sakiri, entre autres, les traces de l'exploitation du sil. Les mines furent particulièrement exploitées aux V^{e} et IV^{e} s. *a. C.* [890] et, mais le rendement de l'activité minière baissa régulièrement dès la fin de la guerre du Péloponnèse. Au temps de Vitruve, puis au I^{er} s. *p. C.*, l'ocre est épuisée et l'on n'exploite plus que les scories pour en extraire le plomb restant.

2.1.3. Méthodes traditionnelles d'extraction de l'ocre

Les textes anciens, comme la notice vitruvienne, ne permettent guère de se faire une idée précise de l'industrie ocrière dans l'Antiquité. La technique de fabrication des ocres marchandes au XIX^{e} siècle donne sans doute une appréciation de l'exploitation dans

[888] Mottana 1993, n° 93.
[889] Delamare 1987 a.
[890] C. Conophagos, *Le Laurion antique et la technique grecque de la production de l'argent*, Athènes, 1980; H. Kalcyk, « Der Silberbergbau von Laureion in Attika », *Antike Welt*, 1983, 14, 3, pp. 21-22; *Vitruve VII*, pp. 153-154, n. 3.

l'Antiquité [891]. C'est pourquoi il est instructif de la décrire en France, vers 1900, où elle atteint son apogée. Les deux tiers de la production française viennent de la région d'Apt, et le reste, de celle d'Auxerre.

L'abattage de la roche se fait en carrières souterraines à Auxerre, ou à ciel ouvert à Apt. Elle est conduite aux ateliers de traitement situés en un lieu où l'eau est abondante. Une production de 1000 tonnes par an consomme environ 1 m^3 d'eau par minute. Lorsque la fraction sableuse est faible (Auxerre), le broyage de la roche, qui est compacte, donne une ocre brute jaune, et sa cuisson, des ocres rouges brutes. Le rendement dépend évidemment de la qualité du minerai. A Puisaye, 1 m^3 de sable ocreux fournissait 1,15 t de sable de quartz et 1 tonne d'ocre jaune de qualité moyenne. A Apt, le même volume de sable ocreux ne donne que de 80 à 300 kg d'ocre fin.

Si la fraction sableuse est importante, comme à Apt, le sable ocreux abattu est broyé puis mis en suspension dans l'eau afin d'être envoyé dans de longs caniveaux dallés spécialement aménagés de telle sorte que le sable s'y dépose durant les 150 m du trajet. La suspension jaune restante aboutit dans un long bassin de décantation dont le fond, dallé, ne possède pas de joints étanches. La suspension jaune arrive par un coin supérieur et dépose progressivement des sédiments de plus en plus fins, si bien que se décantent des ocres de qualité grandissante. Lorsque le bassin est plein, la suspension est dirigée vers une cuve identique, et on laisse l'eau s'évaporer dans le premier. Dès que le dépôt est sec, on peut extraire l'ocre à la bêche en respectant les différentes qualités de finesse.

La pâte obtenue est soit triturée pour avoir des ocres jaunes surfines, soit préparée pour être transformée en ocre rouge. A cette fin, des « brioches » (20 x 10 x 10 cm) sont placées dans un four à bois et y sont maintenues jusqu'à l'obtention de la teinte désirée. Après cuisson, les brioches sont broyées finement et tamisées.

2.2. La fabrication de l'ocre rouge (*usta*) par calcination de l'ocre jaune (7, 11, 1)

L'ocre rouge est plus rare que la jaune, puisque celle-ci constitue 90 % du tonnage disponible : la majorité du pigment rouge est donc obtenue artificiellement par coction. Ce procédé est connu depuis la préhistoire et des Grecs durant l'Antiquité, car Théophraste (*Lap*. 54) la décrit [892]. En 7, 11, 1, Vitruve expose le procédé de calcination de l'ocre rouge artificielle (hématite désordonnée) à partir de l'ocre jaune (goethite, limonite) : « L'ocre brûlée (*usta*), qui rend de grands services pour la peinture des enduits, se prépare ainsi : on calcine une glèbe d'ocre jaune de bonne qualité (*gleba silis boni*), jusqu'à ce qu'elle soit

[891] Delamare 1987 a, pp. 338-339.
[892] Onoratini, Périnet 1985.

incandescente dans le feu (*in igni candens*), puis on l'éteint avec du vinaigre (*aceto*), et elle prend une couleur pourprée (*purpureo colore*). » [893]

2.2.1. Préparation de l'hématite désordonnée (*ustam temperare*) d'après Vitruve

Matériaux

— *gleba silis boni* : brioche d'ocre jaune de qualité fine [894],

— *acetum* : vinaigre.

Mode opératoire

— *glebam silis boni coquere ut sit in igni candens* « calciner une brioche de goethite de bonne qualité, jusqu'à ce qu'elle soit incandescente dans le feu » (800 et 1000 °C) [895].

— *glebam autem aceto extinguere* « éteindre la brioche avec du vinaigre »,

— *glebam efficere purpureo colore* « obtenir une glèbe de couleur pourprée ou grenat ».

Le mode opératoire vitruvien est présenté de manière elliptique, puisque notre auteur n'indique pas dans quel récipient se fait la calcination, et la liste des matériaux est réduite à deux composants : l'ocre jaune, préparée sous forme de « brioche » (*gleba silis*), et le vinaigre.

D'un point de vue chimique, le but de la calcination est d'obtenir une hématite désordonnée ou cristallisée (sesquioxyde de fer, Fe_2O_3) à partir d'une goethite. Durant sa cuisson, la goethite, entre 260 et 1000 °C, se transforme en hématite désordonnée (oxyde de fer mal cristallisé) [896]. Entre 260 et 1000 °C, la couleur de l'ocre est rouge vif, ce qui correspond à *color purpureus* « grenat, rouge vif » [897]. La montée en température vers 900-1000 °C a pour conséquence de transformer le calcaire, que l'on n'a pas éliminé, en chaux vive. C'est pourquoi on « éteint la brioche avec du vinaigre » après la calcination, car celui-ci dissoudra la chaux vive [898]. La montée en température et l'usage du vinaigre sont des procédés pour garantir une ocre rouge artificielle convenable.

Glaeba est employée avec *calx* « chaux » pour dénoter en 7, 2, 1, le bloc de chaux (*glaeba calcis*) et en 2, 5, 1, on trouve la lexie complexe *calx extincta* « chaux éteinte ». L'association des deux unités lexicales *glaeba* et *extinguere*, qu'on retrouve dans le champ

---

[893] Vitr. 7, 11, 1: *Vsta uero, quae satis habet utilitatis in operibus tectoriis, sic temperatur : gleba silis boni coquitur, ut sit in igni candens ; ea autem aceto extinguitur et efficitur purpureo colore.* Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

[894] Delamare 1987 a, pp. 338-339.

[895] Moore 1995, p. 59.

[896] Delamare 1987 a, pp. 333-335 ; Béarat 1997, p. 25 et pp. 27-30.

[897] André 1949, pp. 90-102.

[898] Augusti 1967, pp. 139-141. *Les alchimistes grecs I*, pp. 31-32, et pp. 223-224 ; Halleux 1974, p. 183; *Vitruve VII*, pp. 174-175, n. 1-2.

notionnel de la chaux, pour former *glaebam extinguere* « éteindre une brioche », indique la présence probable de chaux dans la motte après la coction [899]. Dans ce passage, *sil* est le terme générique pour désigner l'ocre jaune naturelle, par rapport à *usta* qui est l'ocre rouge cuite.

2.2.2. Comparaison avec Pline, Théophraste et les données archéologiques

La notice vitruvienne est insuffisante pour rendre compte de la cuisson de l'ocre. Le texte latin le plus complet se trouve chez Pline (*Nat*. 35, 35), dont la source principale est Théophraste (*Lap*. 53-54). Le procédé est le suivant : des vases de terre neufs sont recouverts d'argile et mis dans un four ; quand ces vases deviennent rouge incandescent par la chaleur, au fur et à mesure que les récipients sont plus chauds, la couleur de l'ocre devient toujours plus obscure et semblable au charbon de bois incandescent. Pour Théophraste, l'ocre calcinée doit avoir une formation semblable à l'ocre rouge. S. Augusti constate l'exactitude de la conclusion du savant grec sur la similarité de formation entre l'ocre cuite et l'ocre rouge. Pour la coction, on peut prendre des creusets en argile réfractaire, ou des pots neufs qu'on emploiera un minimum de fois pour éviter leur casse lors d'un choc thermique. R. Halleux explique que ces pots sont neufs, car ainsi ils n'absorberont pas d'autres substances [900]. Cette remarque peut s'appliquer à l'argile dont on enduit les creusets. En effet, comme l'ocre est un oxyde de fer, utilisé généralement comme fondant, on revêt alors l'intérieur des pots d'une argile qui empêchera l'ocre de fondre et donc de coller au moment de la cuisson [901].

Les études d'H. Béarat sur les pigments de peintures romaines en Suisse montrent l'existence d'ocres calcinées en dessous de 500 °C. Parmi les ocres trouvées dans les peintures murales, il y a d'abord un brun orangé (hématite désordonnée et maghémite), lequel a été obtenu par chauffage modéré de l'ocre brune (goethite et lépidocrocite). Ensuite, un orange (hématite désordonnée) a été préparé par cuite de l'ocre jaune à basse température (< 450 °C) [902]. Pour obtenir des couleurs plus sombres, il est d'usage de monter au-dessus de 500 °C, mais il est possible d'abaisser ce seuil de température. Ainsi, la pratique industrielle du XIX^{e} siècle, confirmée par des travaux de laboratoire, montre que l'ajout d'un chlorure (sel de cuisine NaCl, chlorure de potassium) ou d'un iodure de potassium à raison de quelques pour cent, fait descendre significativement la température. La transformation de l'hématite désordonnée en hématite passe alors de 700 à 430 °C [903]. La cuisson de l'ocre jaune

[899] Sur les traductions *gleba* et *extinguere* en italien: Augusti 1967, p. 143.
[900] *Les alchimistes grecs I*, p. 34.
[901] Pour S. Augusti, Pline suggère que l'argile serve de couvercle, ce qui ne lui semble pas approprié : Augusti 1967, pp. 85-86 et 138-139.
[902] Béarat 1997, pp. 27-29.
[903] Delamare 1987 a, p. 335.

permet donc, selon le degré de température, d'obtenir des couleurs allant de l'orange à un brun très obscur.

3. Conclusion

Nonobstant *rubrica* « ocre rouge », le sens « ocre » regroupe trois autres lexèmes qu'utilise Vitruve. D'abord ὤχρα (*ochra*) est une référence directe à l'exploitation des mines du Laurion en 7, 7, 1 : l'unité lexicale complexe devrait être *ὤχρα attica*, même si le premier terme ὤχρα est sous-entendu, mais notre architecte préfère se servir de *sil* pour désigner l'ocre attique. Enfin, comme l'ocre rouge est rare, la cuisson de goethite peut se faire, généralement dans l'Antiquité, à partir de 250 °C dans des creusets d'argile. Vitruve précise qu'il faut cuire des brioches d'ocre de bonne qualité (*gleba silis boni*) et les éteindre avec du vinaigre. Cela signifie que la coction s'est faite vers 800 - 900 °C. Toutefois, on pourrait supposer l'ajout d'un agent de réduction de température, comme un sel ou un iodure. Qu'il y ait ou non ajout, le résultat est appelé par Vitruve *usta* « ocre rouge brûlée » (7, 11, 2) et par Pline l'Ancien *rubrica*. Le Naturaliste signale en 35, 38, un produit qu'il dénomme *usta*, qui est à la fois la céruse chauffée (oxyde de plomb), que Vitruve (7, 12, 2) appelle *sandaraca* [904], et le sil marbré cuit. Sous le signifié *usta*, Pline semble donc associer deux produits différents : l'ocre cuite et la céruse calcinée.

[904] Augusti 1967, p. 90.

22. Silex - siliceus

1. Etymologie de *silex* et de *siliceus*

Silex, *-icis*, m (f. en poésie) « pierre, roche » ; il dénote une sorte de lave, donc une roche dure qui servait dans la construction des maisons, le pavage des routes, etc. *Silex* a aussi le sens de « roche, grande ou petite », « pierre à feu », « caillou ». *Silex* est souvent joint à *lapis*, par exemple dans Plaute (*Poen*. 291). Dérivés : *siliceus* « rocheux, de silex », *silicarius* (-ii, m.) « paveur ». L'étymologie de *silex* n'est pas sûre [905].

2. Usage et sens de *silex* et de *siliceus* avant Vitruve

On trouve *silex* d'abord chez Plaute (*Poen*. 291), et enfin dans l'œuvre d'Isidore de Séville (*Orig*. 19, 10, 12 et 14). *Siliceus*, quant à lui est mentionné d'abord par Laevius (*Carm*. 9, 16), dans une citation d'Aulu-Gelle (19, 7, 6) et enfin par Siculus Flaccus (*Agrim*. p. 103) [906]. *Silex* a huit acceptions en y incluant les usages architecturaux: « pierre, roche dure » (Afranius, Lucrèce, Cicéron, Catulle, Virgile, Tite-Live, Ovide, Pline l'Ancien, Stace, Hygin), « morceau isolé de roche » (Caton, Lucrèce, Virgile, Ovide, Celse, Pline le Naturaliste), « silex pour le feu » (Virgile), « silex coupant » (Catulle), « couteau de silex (*lapis silex*) » (Tite-Live) ; métaphoriquement « absence d'émotion ou de sentiment » (Plaute, Cicéron, Catulle, Tibulle, Properce).
Silex a deux sens architecturaux :
— « pierre de voie » : Tibulle (1, 7, 60), Tite-Live (12, 27, 5 ; 10, 47, 4 ; 41, 27, 7) ;
— « pierre dure de construction » : Caton (*Agr*. 15, 1 ; 18, 3).

Siliceus a deux acceptions : « de pierre dure » (Pline l'Ancien, Siculus Flaccus) et métaphoriquement « qui a un cœur de pierre, dur » (Laevius, Aulu-Gelle).

Avant Vitruve, *silex* est un terme polysémique courant qui est synonyme partiel de *lapis* et de *saxum*, lesquels ont une fréquence plus grande. *Silex* est usité pour désigner des roches dures, des rochers, des pierres, voire des falaises. *Silex* peut entrer en composition

[905] Ernout, Meillet 1985, *s*. *v*. silex, p. 625.
[906] Glare 1980, pp. 1761-1762.

avec un autre substantif : *lapis silex* (Plaut. *Poen* 291 ; Cato *Agr*. 18, 3 ; Liv. 30, 43, 9) et *saxum silex* (Liv. 1, 24, 9). Chez Lucrèce (1, 571), les « roches dures » sont des éléments de la Nature. *Silex* a une polysémie plus restreinte que *lapis* et *saxum* : silex pour le feu, instrument coupant. Pour l'édification, l'ambivalence sémantique se distribue ainsi : une pierre de construction et de pavement (silex, lave, etc.). Concernant l'adjectif *siliceus*, la seule référence avant Vitruve est celle de Laevius (*Carm*. 9, 16), qui donne un tour métaphorique dans le syntagme *quis tam siliceo* « qui serait assez dur ».

3. *Silex* et *siliceus* chez Vitruve

Silex « silex, pierre dure, roche dure » : 1, 5, 8 / 2, 5, 1 / 2, 8, 4 / 2, 8, 5 / 8, 1, 2 / 8, 6, 14. *Silex* est usité six fois.

— *saxum silex* « roche dure, roche siliceuse » : 8, 1, 2.

— *silices ordinarii* (ou bien *ordinaria ex silicibus*) /*ordinaria de silice* « pierres dures assisées » 2, 8, 4-5.

Siliceus « de silex, de pierre dure, de roche dure » se trouve deux fois.

— (*lapidicinae*) *siliceae* « carrières de roches dures, de roches siliceuses » : 2, 7, 1.

— *saxa silicea* « roches dures contenant du calcaire » 8, 3, 19 [907].

3.1. *Silex*, *siliceus* et la géologie (2, 7, 1 ; 8, 1, 2 ; 8, 3, 19 ; 8, 6, 14)

Quelques-unes des occurrences de *silex* et toutes celles de *siliceus* se trouvent dans le discours géologique vitruvien, lesquelles se répartissent dans le livre II et VIII. Les occurrences *saxum silex* (8, 1, 2) et *saxum siliceum* (8, 3, 19) ont déjà été traités dans *Saxum*.

3.1.1. (*Lapidicinae*) *siliceae* « carrières de pierres dures » (2, 7, 1) : leur nature et les indices de difficulté de taille de la pierre selon l'AFNOR

Vitruve (2, 7, 1) donne sa liste des carrières (*lapidicinae*) exploitables autour de Rome, et d'Italie. Il les classe en fonction de leur cohérence (*molles*, *temperatae*, *durae*) : *lapidicinae molles* (*circa Romae*) « tufs volcaniques tendres » (entre autres, les tufs rougeâtres de Saxa Rubra, de Monterverde, de Grotta Oscura, de l'Anio, de Paglia, de Fidènes, les tufs de Fidènes, et le pépérin des monts Albains), *lapidicinae temperatae* « pierres calcaires moyennement dures » (travertins de Tivoli, calcaires de San Vittorino et de Soracte),

[907] Callebat, Fleury 1995, p. 35.

lapidicinae siliceae « carrières de pierres dures ». Pour cette dernière catégorie, il n'indique ni la localité ni la composition des carrières de roches dures. Néanmoins, la littérature archéologique mentionne plusieurs pierres pouvant se référer à la catégorie *silex*. On a d'abord le silex, formé de silice crypto-cristalline, puis les laves, comme les basaltes, les andésites, et les trachytes. A cette liste, on peut aussi ajouter les granites, les calcaires compacts et les dolomies. Si notre architecte classe les carrières selon leur degré de cohérence, il est possible de déterminer approximativement l'induration d'un *silex* vitruvien.

- ***Attribution des indices de taille (Afnor) aux pierres dures***

L'échelle de « coefficient des difficultés de taille » a déjà été évoquée (cf. *saxum*). Voici un autre tableau des roches utilisées dans le bâtiment, où l'on compare les caractéristiques du granite, des calcaires (dont le marbre), des diverses espèces de grès, du silex et du basalte [908]. Nous leur avons attribué un coefficient de taille d'après la norme AFNOR et surtout suivant leur résistance à la compression.

[908] Il s'agit de la norme de l'industrie américaine : http://www.coldspringgranite.com/comparing_granite_to_other_build.htm . L'industrie italienne : http://www.tecnologos.it/Articoli/articoli/numero_002/MURATURA.asp. Pour le silex maastrichtien d'Eben-Emael (Belgique) : http://www.pierresetmarbres.be/fr/html/fichespierres/pdf . Les données sont américaines, italiennes et belges : il s'agit de données générales qui ne s'accordent pas parfaitement avec la norme Afnor.

Pierre	**Indice de taille supposé**	**Masse volumique kg/m3**	**Résistance à la compression Mpa (1 Mpa ≈ 10 kg/cm2)**	**Porosité** *%*
Calcaire de basse densité	3	1760	12	12
Grès	5	2000	28	8
Calcaire de moyenne densité	6	2160	28	7, 5
Travertin	7 à 8	2200 à 2500	40 à 45	
Marbre	7 à 8	2590	52	0, 2
Calcaire de haute densité	7 à 8	2560	55	3
Grès quartzitique	8 à 9	2400	69	3
Silex maastrichtien (Belgique)	10 à 11	2450	plus de 100	Non indiquée
Granite	10 à 12	2560	131	0, 4
Quartzite	11 à 13	2560	138	1
Basalte	11 à 14	2800 à 2900	100 à 300	0, 11

Pour les calcaires (de basse et moyenne densité) et le grès, le coefficient de taille attribué correspond bien à la masse volumique et à la résistance à la compression d'après la norme Afnor, mais dès qu'il s'agit du marbre, l'attribution devient problématique et alors, celle-ci se fait surtout à partir de la résistance à la compression, qui nous a semblé plus significative que la porosité. Les données des pierres sont américaines et italiennes, et la correspondance que nous faisons est purement indicative : nous avons conscience que notre classement est fait de compromis.

En tout cas, ce classement permet de constater qu'à partir de l'indice 7, une roche peut être qualifiée de *silex* : il s'agit, par ordre croissant, des calcaires denses (calcaire compact, travertin, marbre), du grès quartzitique, du silex, du granite, du quartzite et de la lave (basalte). On peut supposer que les *lapidicinae siliceae*, que mentionne Vitruve, sont des roches d'indice 7 au minimum (de *ferme* à *froide*).

Traditionnellement, dans une carrière, on extrait un bloc par le procédé du *délitage* lorsque la roche est très dure. En profitant de sa stratification naturelle, on entre de force, dans des failles (naturelles ou artificielles), des coins (souvent métalliques), lesquels les

agrandissent et font ainsi détacher un bloc, car le point de rupture suit le clivage naturel de la roche. La forme de la pierre sera plus ou moins irrégulière. Cette méthode est remplacée par le marteau-piqueur, d'emploi plus moderne, mais le principe reste le même. La difficulté d'extraire des pierres froides ou dures implique une moindre production que d'autres fermes ou tendres. Toutefois, on peut penser que les carrières localisées dans le septième chapitre du livre II par le théoricien et constituées de roches de duretés diverses, connurent une intensité productive caractérisée par un transport des blocs sur une certaine distance pour les propriétaires des carrières proches de Rome, lesquelles pouvaient fournir dans le contexte de la spéculation immobilière de l'époque républicaine, des pierres de construction : le spéculateur et promoteur le plus connu est Crassus [909]. A l'inverse, on peut supposer que les carrières de roches dures eurent une exploitation plus limitée dont l'usage fut surtout circonscrit à leur région d'origine : on pourrait ainsi expliquer l'absence de noms de localités pour les *lapidicinae durae*.

3.1.2. Le *silex* des citernes signiennes (8, 6, 14)

En 8, 6, 14, pour les murs des citernes signiennes, Vitruve indique que le moellon (*caementum*) doit être tiré d'une pierre dure (*de silice frangatur*) et qu'il ne pèsera pas plus d'une livre (*ne grauius quam librari*) soit 328 g environ. A Segni, site réputé pour l'*opus signinum*, le bassin d'eau de pluie et le Capitolium (temple de Junon Moneta) sont faits de calcaires et de roches volcaniques indurées, de couleurs grises et noires. Celles-ci appartiennent à la zone des volcans albains, qui sont situés non loin de Segni. Ces pierres furent utilisées autant dans la construction du Capitolium (Fig. 24, 26 et 27) que pour la citerne. Celle-ci est en fait creusée dans le banc calcaire et elle est recouverte d'un parement en appareil orthogonal : les blocs sont faits de « tuffo » volcanique gris/noir. Entre la roche évidée et le parement, il y a un *opus caementicium* d'une soixantaine de centimètres de largeur, composé d'une chaux hydraulique, possédant quelques pour cent de tuileau – ce pourcentage reste à déterminer et ne semble pas apporter une hydraulicité au liant – et de moellons calcaires posés en carreau (*a taglio*).

A l'épreuve d'une lame d'acier, le calcaire de Segni se révèle plus dur que le « tuffo ». La muraille ceinturant la ville antique est en appareil polygonal calcaire. On trouve un exemple à la porte Saracena qui est située à quelques hectomètres en aval du Capitolium (Fig. 22-23). Un échantillon calcaire est prélevé au voisinage et est cassé par terre afin d'avoir un poids équivalent à la livre romaine. On obtient ainsi un modèle de moellon (*caementum*) qui correspond à la description vitruvienne. Cette pierre est-elle un *silex* ? En calculant le rapport entre la masse (338 g) et le volume (136 cm^3) (méthode volumétrique), on mesure

[909] Gros 1978, pp. 63-65.

une densité de 2,485 (2485 kg/m^3). Sur l'échelle des difficultés de taille, la densité du calcaire de Segni est équivalente à celle du travertin : son indice serait entre 7 et 8. On trouve des traces d'extraction entre la porte Saracena et la poterne 4 [910]. Ces carrières sont en amont de la muraille. On extrayait les pierres avec des coins de bois (2 a et b) ensuite, on les dégrossissait comme le montre le bloc laissé sur place dans la carrière 2 b et enfin on les finissait avant de les poser dans la muraille.

La nature du moellon que l'on tire du *silex* de Segni, pour les murs de la citerne rappelle la description faite des blocs parallélépipédiques des appareils isodomes et pseudo-isodomes grecs : en 2, 8, 6, Vitruve parle des *caementa proprietate spissa et solida* « moellons de texture compacte et cohérente ».

3.1.3. *Saxa silicea*/*saxa silices* : pierres dures et roches calcaires (8, 1, 2 ; 8, 3, 19)

Vitruve (8, 3, 19) écrit : « Lorsque les roches de silex, que ni le fer ni le feu ne peuvent à eux seuls désagréger, ont été fortement échauffées par le feu, elles éclatent et se désagrégent si on les arrose de vinaigre (*Non minus saxa silicea, quae neque ferrum neque ignis potest per se dissoluere, cum ab igni sunt percalefacta, aceto sparso dissiliunt et dissoluuntur*). » [911] Ce texte rappelle celui de Tite-Live (21, 37, 2-3) sur le franchissement des Alpes, qui a été étudié dans *Saxum*. Il avait été mentionné que les commentateurs de cet extrait avaient mis l'accent sur les techniques minières. Dans un autre passage, le Naturaliste (*Nat*. 33, 71) utilise *silex* et non pas *saxum silex* ou *saxum siliceum* pour l'extraction de minerais : « Dans les deux types de mines on rencontre des barrières de *silex* ; on les fait éclater avec du feu et du vinaigre. Mais comme, dans ce procédé, la vapeur et la fumée rendent les galeries suffocantes, on choisit plus souvent de briser les couches de *silex* avec des concasseurs armés de 150 livres de fer. On évacue les débris à dos d'homme, de jour et de nuit, en se les passant de proche en proche dans l'obscurité ; seuls les derniers de la chaîne voient la lumière du jour. Si le banc de roche (*silex*) paraît trop étendu, le mineur en suit le côté et le contourne. Et pourtant, on estime que dans la roche (*in silice*) le travail est plutôt facile. » [912] *Silex* n'est pas traduit ici, car la nature de la roche dure n'est pas précisée : il peut s'agir d'une variété de silice ou d'autres pierres d'indice 7 à 14. Pour casser les roches, les mineurs se servent de masses de fer de près de 50 kg : ce sont des machines concasseuses (*fractariae* sc. *machinae*).

Saxum silex est un syntagme nominal où deux noms sont accolés pour désigner une roche dure, qui peut être un silex, une pierre siliceuse, une lave, et un calcaire dur. *Saxum*

---

[910] Les carrières sont notées 2 a, 2 b, 2c sur la carte archéologique : Cifarelli 1992 ; pour la carte : p. 25 ; pour les carrières 2a, b et c : p. 2, n. 83, p. 39.
[911] Trad. L. Callebat.
[912] Trad. H. Zehnacker.

siliceum qualifie plus particulièrement une roche calcaire siliceuse, une roche contenant du calcaire, un calcaire compact. *Silex* peut être toute pierre d'indice de taille de 7 à 14 (de *dure* à *froide*) : les laves, les calcaires de densité moyenne à haute (marbre, travertin, calcaire compact), les grès quartzitiques, les granites, les silex... Notre architecte n'indique pas de noms de pierres en particulier : le lexème *marmor* n'est pas associé ici avec *silex*. De même, il ne signale aucune localité d'extraction pour les *lapidicinae siliceae*.

3.2. *Silex* et le gros œuvre (1, 5, 8 ; 2, 5, 1 ; 2, 8, 4-5)

3.2.1. Les pierres dures à chaux chez Vitruve (2, 5, 1) et chez le Naturaliste (*Nat.* 36, 174)

Dans *Saxum*, il a été établi la présence d'un calcaire silico-alumineux qui fournit à Vitruve une chaux hydraulique. On rappellera que selon la traduction que l'on peut faire du syntagme (2, 5, 1) *de albo saxo aut silice*, *silex* peut être accompagné ou non de l'adjectif *albus*. Si l'on considère que *silex* est usité sans épithète, il désigne tout calcaire d'indice de taille 7 au minimum, quelle que soit sa couleur. La taxinomie vitruvienne peut catégoriser un calcaire de haute densité, possédant un teint blanc, gris ou jaunâtre : il peut être à la fois *silex* et *albus silex*. De fait, la roche compacte et assez dure (*ex* (*saxo*) *spisso et duriore*) pour le bâtiment et les fondations cadre, par exemple, avec un calcaire contenant autour de 20 à 25 % d'éléments silico-alumineux, qui fournira une chaux hydraulique. Dans cette description, Vitruve n'indique aucune couleur : seules, la dureté et la compacité sont mentionnées. Elle correspond, entre autres, à un *silex* « calcaire dur ».

G. Lugli a repris la distinction vitruvienne entre la chaux pour la maçonnerie et celle pour les enduits, mais il insiste sur la blancheur que doivent nécessairement posséder les calcaires. Selon ses termes, pour le gros oeuvre, on prend du calcaire blanc, compact et dur, appelé « cristallin » : cette description s'applique évidemment au marbre blanc. En effet, celui-ci peut être un *silex*, vu son indice de dureté. G. Lugli ajoute que le travertin peut être aussi qualifié de *silex*, comme matériau de construction et logiquement, il fait concorder cette roche avec la chaux pour les enduits, puisque ce calcaire sédimentaire plein de trous cadre avec la peinture vitruvienne. Pour les enduits, cette pierre était utilisée et non le marbre, car à l'époque d'Auguste, on ne se servait pas encore pour les revêtements de la chaux obtenue par la cuisson du marbre statuaire [913]. La taille du marbre, comme élément de prestige de l'architecture, était rarement pratiquée par les artisans italiques, et il fallut attendre le plan d'urbanisme d'Auguste, pour la Ville, pour que ceux-ci se forment à cette pratique grecque [914]. En fait, l'argumentation de G. Lugli concernant la blancheur est trop restrictive par

[913] Lugli 1957, p. 41, n. 1.
[914] Gros 1983 ; Gros 1989, pp. 126-133.

rapport à une taxinomie vitruvienne qui se révèle en fait plus large.

Pline l'Ancien (*Nat*. 36, 174) donne une liste plus vaste des calcaires que l'architecte théoricien : il condamne l'usage du *silex* et privilégie les pierres fournissant principalement une chaux grasse. Dans *Calx*, il a été indiqué que le classement du Naturaliste reflétait une standardisation de la chaux, due à l'intense activité édilitaire depuis Auguste. Déjà, l'arrivée massive d'esclaves consécutive aux victoires de Rome (secondes et troisièmes guerres puniques ; contre les Grecs et les Macédoniens : 197, 190, 146 *a. C.* ; contre l'Espagne en 133 *a. C.*) a mis à disposition une main-d'œuvre abondante pour l'extraction de la pierre et la taille des moellons. On peut considérer que l'augmentation de la production a amené d'une certaine manière une sorte de standardisation des blocs extraits. A partir de là, les Romains vont ensuite faire de l'architecture « jusqu'alors réservée essentiellement aux sanctuaires et aux fortifications, un art universel, dont le temps d'exécution va devenir incroyablement court. » [915] Au I^er^ siècle *p. C.*, les besoins des grands programmes d'urbanisme entraînent un changement de la technique et la généralisation d'un mortier de type *opus signinum* (Fig. 31-32) ou de type « sable volcanique » (Fig. 5) : cette systématisation de la fabrication des liants suppose une certaine rationalisation du choix des calcaires. Si Pline l'Ancien, Cetius Faventinus et Palladius conservent dans leurs écrits la distinction des chaux pour le bâtiment et pour les enduits, ils donnent une liste plus grande des calcaires que celle de Vitruve : on peut y voir un résultat de la normalisation de la production de la chaux.

Le terme *silex* semble donc accompagner l'évolution de la standardisation des matériaux entre Vitruve et Pline le Naturaliste. Vitruve et Ovide, poète qui a fréquenté la cour d'Auguste, se servent de *silex* pour décrire les pierres destinées à faire de la chaux ; Ovide (*Met*. 7, 107) compare ainsi les redoutables taureaux qu'affronte Jason pour gagner la Toison d'Or : « Voici que les taureaux aux pieds de bronze exhalent de leurs naseaux d'acier les vapeurs de Vulcain, qui par leur contact enflamment le gazon; comme grondent les foyers remplis où la chaux qui dans une fournaise souterraine devient brûlante en se décomposant sous les coulées d'eau dont on l'arrose (*Aut ubi terrena silices fornace soluti / Concipiunt ignem liquidarum adspergine aquarum*), ainsi résonnent, en vomissant des tourbillons de flamme, leurs poitrines et leurs gorges embrasées. » [916] On ne peut pas dire si Ovide calcine dans ses fours de la chaux hydraulique, mais pour Vitruve, c'est le cas. *Silex* englobe donc des calcaires de moyenne et haute densité, pour les chaux aériennes, maigres et hydrauliques.

[915] Adam 1995, pp. 83-84.
[916] Trad. G. Lafaye.

3.2.2. Le matériau *silex* pour la construction (1, 5, 8)

Dans la fameuse liste des matériaux en usage à l'époque tardo-républicaine, le *silex* est présent entre les pierres de taille (*saxa quadrata*) et le moellon (*caementum*). Pour Lugli, dans cette nomenclature, on peut opposer *silex* (lave, calcaire dur, travertin) à *saxum quadratum*, qui est un bloc plus facile à tailler [917]. L'emploi de roche dure est typique des régions rocheuses d'Italie et le *silex* « pierre dure » est traditionnellement utilisé dans les appareils polygonaux des remparts, des bases de bâtiments, des terrassements agricoles : l'exemple de Segni est caractéristique pour une utilisation édilitaire du II^e^ s. *a. C.* Puisque la pierre dure est un trait distinctif des appareils polygonaux, qui sont des murs formés de blocs présentant en général plus de quatre faces de joints, Lugli les appelle *opus siliceum* [918].

3.2.3. Les pierres dures assisées (*Ordinaria ex silicibus, ordinaria de silice seu lapide duro*) (2, 8, 4-5)

Les pierres dures sont employées de manière sporadique chez Vitruve dans des maçonneries. Les deux mentions de leur usage se trouvent en 2, 8, 4-5 sous la forme de « pierres dures assisées ».

En 2, 8, 4, après la description d'une pratique italique de la *structura caementicia* et la mise en évidence de ses défauts, Vitruve veut éviter que le remplissage (*fartura*) en *opus caementicium* ne s'écroule du fait d'un mauvais mortier et que le parement ne fasse de même. Pour résoudre ce problème, il conseille de laisser un vide intermédiaire derrière les orthostates : « […] on fait, à l'intérieur, un remplissage, de deux pieds d'épaisseur, avec des pierres de taille rouges, de la brique cuite ou des pierres dures assisées (*ex rubro saxo quadrato aut ex testa aut ex silicibus ordinariis*), et on lie le mur et les faces de parement au moyen de crampons en fer et en plomb » [919].

Ces maçonneries internes que préconise le théoricien sont en brique cuite, en pierre dure et en pierre de taille de tuf volcanique rouge. Elles sont la solution proposée par Vitruve pour obvier à un mortier de chaux, mal préparé ou vieillissant mal. Le noyau central n'est donc pas un remplissage, mais un appareil constitué de blocs parallélépipédiques semble-t-il, puisqu'on a *saxum rubrum quadratum* « tuf volcanique rouge équarri ». La brique *testa* et le bloc *silex* sont aussi de forme parallélépipédique : on peut avoir une lexie complexe comme *silex* où *quadratus* est sous-entendu. Ces blocs ou ces briques sont *ordinarii* « rangés par ordre, disposés en assises horizontales » L'adjectif *ordinarius* « rangé par ordre, selon une

[917] Lugli 1957, pp. 41-43.
[918] Ginouvès, Martin, 1985, pp. 97-98. Sur les appareils polygonaux dans les cités provinciales comme Arpinum et Segni, cf. Adam 1995, pp. 111-114.
[919] Trad. L. Callebat.

disposition régulière » dérive du substantif *ordo* « rangée, assise » [920]. On a donc une unité lexicale complexe *silices ordinarii* « blocs de pierre dure assisés ». L'adjectif *ordinarius* est en facteur commun avec *silices*, *testa* et *saxum* et mais il s'accorde seulement avec *silices*. Vitruve n'indique pas si ce noyau assisé (de pierre de taille rouge, de brique cuite ou de pierre dure) est mis en place avec un mortier. L'essentiel de la stabilité de ce noyau est expliqué d'après le théoricien par le couvrement des joints montants (*coagmenta*), qui est une caractéristique de l'appareil rectangulaire, c'est-à-dire des blocs parallélépipédiques. Les parements sont des orthostates et ceux-ci ont été placés après la construction du noyau central assisé. Puis celui-ci et les parements sont reliés entre eux par des *ansae*, qui sont des crampons ou des agrafes métalliques réunissant deux éléments conjoints de même niveau. Ces crampons semblent joindre aussi les orthostates entre eux [921]. Ainsi, les blocs assisés, pour les orthostates et le noyau central, et les scellements constituent une véritable chaîne garantissant la solidité des composantes du mur.

En 2, 8, 5, Vitruve présente un cas théorique de maçonnerie grecque qui n'est pas un mur constitué de blocs à joint vifs, mais une structure dont les assises reposent sur du mortier : « Les maçons grecs font des murs isodomes et pseudo-isodomes, en disposant des rangées de pierre dures et d'autres roches cohérentes (*ponunt de silice seu lapide duro ordinaria*). Ils font alterner d'assise à assise les joints montants, comme pour la maçonnerie d'un appareil de briques (*ita uti latericia struentes alligant eorum alternis coriis coagmenta*). » [922] Il s'agit ici d'un appareil rectangulaire qui assure le couvrement régulier des joints verticaux grâce à la superposition alternée des blocs d'une assise à l'autre, selon la technique des *alterna coria*. Ces pierres de taille sont extraites de calcaires compacts ou de marbres qui sont en usage dans l'architecture grecque pour l'*opus quadratum*, ou de lave, etc. La nature dense des blocs employés dans ce texte évite à l'eau du mortier d'être aspirée par les blocs de grande porosité, comme l'explique Vitruve en 2, 8, 3. *Ordinaria* « assises, rangées » est ici un adjectif substantivé au neutre pluriel. *Silex* et *lapis durus* sont synonymes.

4. Conclusion

Par rapport à *saxum*, *silex* possède une polysémie et une fréquence moindres. Les référents géologiques désignent des roches dures, qu'on extrait pour les tailler. Les roches sont ainsi définies par leur dureté et peuvent être des laves, des marbres, des calcaires de moyenne et haute densité, des grès quartzitiques, etc. Elles sont caractérisées par des indices de taille partant de 7 au minimum. Leur densité et leur faible porosité leur permettent de

[920] Callebat, Fleury 1995, p. 44 ; *Vitruve II*, p. 114, n. 4.
[921] *Vitruve II*, pp. 115-116, n. 5-6.
[922] Trad. L. Callebat.

mieux résister à la pression que les autres pierres. Vitruve ne donne pas de carrières localisées de roches dures, il les appelle simplement *lapidicinae siliceae* : on peut supposer qu'elles eurent une exploitation plus limitée dont l'usage fut surtout circonscrit à leur région d'origine. Les pierres indurées sont utilisées comme blocs pour des maçonneries. La chaux représente un autre emploi que celui de la pierre de taille. Ainsi, l'exemple de Segni montre que le calcaire dur est à la fois la matière pour les blocs et la chaux hydraulique. Ce type de calcaire n'est pas désigné par *marmor*, mais par *silex*. *Silex* peut inclure d'autres calcaires durs, mais aussi la dolomie.

Comme lexie complexe, *saxum silex* (8, 1, 2)/ *saxum siliceum* (8, 3, 19) ont le sens « roche de pierre dure, roche de calcaire dur ». *Saxum siliceum* peut qualifier des roches comprenant du calcaire, attaquées par le vinaigre et le feu en premier lieu, puis dégagées par des pics et des coins, le tout selon des techniques minières.

23. Spongia

1. Etymologie de *spongia*

Spongia (*-iae*, f.) « éponge » est la transcription du grec σπογγία « éponge » [923]. En grec, on a une alternance de base nominale σπ- / σφ- (σπόγγος / σφόγγος ; σπογγία / σφογγία) qui est passée en latin : *spongea*, *spungia*, *sfungia* (Isid. *or*. 20, 2,16 ; 12, 6, 60), *sphongia* (Colum. 11, 3, 43 et 45) et *sfongidus* (Oribase) [924]. Les dérivés sont : *spongiola*, *-us* « racine d'asperge, excroissance fougueuse de l'églantier », *spongiosus*, *-a*, *-um* « spongieux, poreux », *spongius*, *-a*, *-um* « spongieux », *spongio*, *-as*, *-are* « éponger ». Tous sont d'époque impériale. En ce qui concerne l'étymologie proprement dite, le mot peut être rapproché de l'arménien *sunk*, *sung* « champignon, chêne-liège », du latin *fungus* « champignon », etc. : il s'agit d'emprunts faits indépendamment à une ou plusieurs langues méditerranéennes [925].

2. Usage et sens de *spongea / spongia* avant Vitruve

Spongia est attesté avec Caton (*Agr*. 13 ; 67, 2 ; 162, 3) et avec Isidore de Séville (*Orig*. 12, 6, 60-62 ; 19, 10, 2 et 11 ; 19, 17, 19) [926] . *Spongia* a sept acceptions : « éponge » (Caton, Varron, Lucrèce, Cicéron, Sénèque, Pline le Naturaliste, Columelle, Martial, Ulpien, Isidore de Séville), « cotte de mailles » (Tite-Live) [927], « racine de plante (asperge, menthe) » (Columelle, Pline l'Ancien), « bédégar, galle spongieuse recouverte de mousse » (Pline le Naturaliste), « champignon, morille » (Pline le Naturaliste), « masse spongieuse du métal fondu, déchet de fonderie » (Pline l'Ancien), « calcaire spongieux, poreux » (Palladius, Cetius Faventinus, Isidore de Séville). La polysémie de *spongia* « éponge » s'explique par l'emploi de la métaphore ou de la catachrèse. Ainsi, l'aspect poreux ou la structure faite de trous explicitent l'utilisation de ce qui est peut-être déjà devenu une métaphore semi-lexicalisée ou lexicalisée.

3. *Spongia* chez Vitruve

---

[923] Chantraine 1990, p. 1040.
[924] Ernout, Meillet 1985, *s. v.* spongia, p. 644.
[925] R. Hiersche, *Untersuchungen, zur Frage der Tenues aspiratae im Indogermansichen*, Wiesbaden, 1964, pp. 207-208 et pp. 229-231.
[926] Glare 1980, p. 1809.
[927] Liv. 9, 40, 3. *Livy IX*, pp. 318-319 n. 1 : le sens de *spongia* n'est pas clairement établi. Il pourrait s'agir d'une cuirasse d'éponge ou d'une cotte de maille.

Spongia « pierre ponce » est utilisée deux fois : 2, 6, 2 et 2, 6, 3 [928].

Pour Vitruve, la pierre ponce (*spongia*), appelée aussi localement « pierre ponce de Pompéi » (*pumex Pompeianus*), est une preuve du passé éruptif du Vésuve. La *spongia* est une roche que le volcanisme a cuite, à l'instar de la chaux calcinée à partir du calcaire (Vitr. 2, 6, 3).

3.1. Observation et théorie du volcanisme à partir de la géologie campanienne : la méthodologie vitruvienne (Vitr. 2, 6, 2-3)

Dans le sixième chapitre du livre II, l'architecte dépeint rapidement les propriétés remarquables (*res admirandas*) de la pouzzolane volcanique de Baïa et son usage pour les constructions maritimes [929]. L'observation de la prise rapide du béton hydraulique est donc l'occasion pour lui de s'interroger sur la nature du volcanisme comme phénomène naturel et d'en faire une digression dans ce sixième chapitre (2, 6, 2-3) : « Qu'il y ait en ces lieux des sources puissantes de chaleur peut être mis en évidence par le fait que, dans les montagnes de la région de Baies, sur le territoire de Cumes, on a creusé des étuves où une vapeur brûlante, issue des profondeurs, s'ouvre là, sous l'effet de la violence du feu, une voie dans la terre à travers laquelle elle se répand : s'élevant dans ces lieux, elle y offre ainsi un moyen excellent de sudation. On rapporte également qu'en un temps ancien les feux brûlants prirent plus d'intensité sous le Vésuve et n'y furent plus contenus, et qu'en conséquence les flammes furent rejetées sur les terres d'alentour. C'est ainsi que les pierres poreuses, dites aussi « pierres ponces de Pompéi », tirent semble-t-il d'un autre type de pierre, calciné, leurs propriétés caractéristiques. Le type de pierre poreuse que l'on extrait de cette région n'apparaît en aucun autre endroit qu'aux environs de l'Etna et sur les collines de Mysie que les Grecs appellent Κατακεκαυμένη (Terre Brûlée), ou encore en tout autre lieu ayant les mêmes propriétés naturelles. » [930]

Pour les Romains du I^e^ s. *a. C.*, le territoire du golfe de Naples n'est pas une région caractérisée par une activité volcanique. Avant l'éruption de 79 *p. C.*, le Vésuve est considéré

---

[928] Callebat, Fleury 1995, *s. v.* spongia, p. 36.
[929] La *ieiunitas* est étudiée plus amplement dans notre étude sur *calx*, à laquelle nous renvoyons le lecteur.
[930] Vitr. 2, 6, 2-3 : *Ardores autem esse in his locis etiam haec res potest indicare quod in montibus Cumanorum Baianis sunt loca sudationibus excauata in quibus uapor feruidus ab imo nascens ignis uehementia perforat eam terram per eamque manando in his locis oritur, et ita sudationum egregias efficit utilitates. Non minus etiam memorantur antiquitus creuisse ardores et abundauisse sub Vesuuio monte et inde euomuisse circa agros flammam. Ideoque tunc quae spongia siue pumex Pompeianus uocatur excocto ex alio genere lapidis in hanc redacta esse uidetur generis qualitatem.* **3.** *Id autem genus spongiae quod inde eximitur, non in omnibus locis nascitur nisi circum Aetnam et collibus Mysiae, quae a Graecis Κατακεκαυμένη nominatur, et si quae eiusdem modi sunt locorum proprietates.* Trad. L. Callebat.

comme un volcan éteint : pour Vitruve, il n'est plus qu'une colline (*mons*) [931]. Puisque les phénomènes éruptifs ne sont plus manifestes, Vitruve cherche donc les traces de ce volcanisme régional de plusieurs manières : les manifestations géothermiques campaniennes, les témoignages, et la géologie locale.

En Campanie, l'architecte (2, 6, 2) constate qu'à Baïes, la présence de sources puissantes de chaleur est attestée dans l'utilisation géothermique de vapeur brûlante pour des étuves creusées (*loca sudationibus excauata*), que les habitants de Baïes utilisent de la même manière que les saunas modernes. Dans ces *laconica* « étuves », écrit notre auteur « une vapeur brûlante (*uapor feruidus*), issue des profondeurs, s'ouvre là, sous l'effet de la violence du feu (*ab imo nascens ignis uehementia*), une voie dans la terre à partir de laquelle elle se répand » [932]. Le philosophe grec du V^e^ s. *a. C.*, Empédocle d'Agrigente, vivement intéressé par les éruptions de l'Etna, avait peut-être explicité les phénomènes volcaniques par l'existence des feux souterrains et Vitruve peut s'en être inspiré (cf. *Bitumen*). Sénèque (*Nat.* 3, 24, 1) utilise l'image des chauffe-bains pour expliquer la géothermie des Champs Phlégréens, signes d'une activité volcanique calme pour Vitruve : « Empédocle pense que le même fait se produit sous terre, et les habitants de Baïa, dont les bains se chauffent sans feu, peuvent attester qu'il ne se trompe pas. Un courant d'air y arrive, que son passage dans une étuve naturelle a rendu brûlant ; il circule dans des conduits et chauffe les parois et les appareils de bain comme ferait un hypocauste. L'eau qu'il traverse ainsi, de froide, devient chaude, elle-même. Comme elle coule enfermée, sa saveur naturelle n'est pas altérée par l'air surchauffé. » [933] Pour les écrivains antiques, l'utilisation de la géothermie des Champs Phlégréens est un fait connu et témoigne de manifestations ignées souterraines.

Les témoignages indiquent aussi de phénomènes éruptifs passés. Ainsi, Vitruve (2, 6, 2) écrit : « […] on rapporte qu'anciennement des feux se développèrent et abondèrent sous le mont Vésuve, et qu'ils lui ont fait vomir des flammes sur les campagnes d'alentour (*Non minus etiam memorantur antiquitus creuisse ardores et abundauisse sub Vesuuio monte et inde euomuisse circa agros flammam*). » On pense qu'il s'est inspiré d'anciens écrits, et plus particulièrement de Posidonius pour sa notice concernant le Vésuve, l'Etna et la Mysie [934].

Enfin, dans le même passage (2, 6, 2), la présence de roches volcaniques et leur aspect sont autant de preuves d'éruption passée du Vésuve. C'est ainsi que les pierres spongieuses (poreuses) (*spongia*) ou « pierres ponces de Pompéi » (*pumex Pompeianus*) tirent leurs

---

[931] Cf. *Vitruve II*, p. 94, n. 2. Pour les textes antiques concernant le volcanisme : Ströhle 1921, pp. 1-53, pour le Vésuve : pp. 26-29 ; pour les éruptions du Vésuve à l'époque préromaine : Scherillo 1977, pp. 81-116 ; Renna 1992.

[932] Sur le thermalisme des Champs Phlégréens : Dubois 1907, pp. 385-414 ; M. Borriello, A. d'Ambrosio, *Baie-Misenum*, Florence, 1979, pp. 9-33; Rakob 1988 ; Amalfitano 1990 ; Nielsen 1990, pp. 158-159 ; Rebuffat 1991.

[933] Trad. P. Oltramare.

[934] *Vitruvio 1*, pp. 183-184, n. 59 ; *Vitruve II*, p. 95, n. 2 ; Strabon 5, 4, 8 rapporte le texte de Posidonius

propriétés caractéristiques d'un autre type calciné de pierre (*excocto ex alio genere lapidis in hanc redacta esse uidetur generis qualitatem*). Dans cette phrase, Vitruve met sur le même plan d'équivalence sémantique deux unités lexicales, l'une simple (*spongia*) et l'autre complexe (*pumex Pompeianus*), pour dénoter la pierre ponce. Il est intéressant de remarquer que les deux lexèmes (*spongia* et *pumex*) auraient étymologiquement la même signification, puisque d'après P. Gros, *pumex* serait un mot indigène (osque ?), qui dériverait de * *s-puma*, terme restitué désignant une éponge [935]. Selon P. Gros, on ne peut pas supposer que Vitruve entend jouer sur l'étymologie. *Pumex* et *spongia* peuvent se substituer l'un à l'autre et la lexie complexe *spongia Pompeiana* est possible. Notre architecte apporte à la conception volcanique aristotélicienne, sa théorie de la *ieiunitas*, qui explique la manière dont des roches subissent le feu des volcans pour les transformer en pierres poreuses et légères (ponce, tuf) ou en poussière (pouzzolane).

On ne sait pas si Vitruve reprend une tradition campanienne des tailleurs de pierres locaux ou s'il innove lexicalement en employant une métaphore, mais cette signification de *spongia* « pierre ponce » apparaît avec lui. *Spongia* a une connotation scientifique par rapport à *pumex*, qui est le lexème courant et ancien : *spongia* est donc le terme géologique pour désigner le référent de la pierre ponce. L'extension du sens de l'éponge à la pierre ponce se base sur l'aspect extérieur, mais il peut s'expliquer également par une proximité géographique : en Campanie, toute l'activité volcanique est proche de la mer.

Pour notre théoricien, le volcanisme du Vésuve et de Campanie est un fait avéré même s'il ne montre plus des signes manifestes d'activité. Mais comment les éruptions peuvent-elles se produire ? Les écrits aristotéliciens sur les mouvements souterrains expliquent que des vents ou des souffles s'engouffrent dans des cavités et des cavernes et qu'ils y activent des flammes, lesquelles constituent le feu volcanique (cf. *Bitumen*). Vitruve semble reprendre cette idée, comme après lui Strabon (5, 2, 10), Pline (*Nat*. 2, 236-238; 3, 92) et Sénèque (*Nat*. 6, 13) [936], et il complète la conception aristotélicienne, avec sa théorie de la *ieiunitas*.

(*Fragmenta*, 38).

[935] Ernout, A. Meillet 1985, *s. v*. pumex, p. 545 ; *s. v*. spuma, p. 644 ; *Vitruve II*, p. 96, n. 3.

[936] V. Bérard, *Les navigations d'Ulysse*, réédit. Paris, 1971, 4, pp. 208 et suivantes ; L. Bernabo Brea et M. Cavalier, *Isole eolie. Vulcanologia, archeologia*, Naples, 1992, pp. 117 et suivantes ; *Vitruve II*, pp. 95-96, n. 2.

3.2. Théorie vitruvienne de la *ieiunitas* et *spongia*

Vitruve (2, 6, 2-3) écrit que la *spongia* est une pierre issue de la calcination d'une autre (*excocto ex alio genere lapidis*). Elle possède donc les mêmes propriétés (*generis qualitatem*), que la chaux vive, le tuf volcanique et la pouzzolane, qui ont en commun d'être semblablement formés par la violence du feu (*consimili ratione igni uehementia formatae*). Cela porte à quatre les substances disposant d'une *ieiunitas* naturelle ou artificielle décrite dans ce sixième chapitre du livre II.

La pierre ponce est un corps que la cuisson a privé d'un des quatre éléments, à l'instar de la chaux vive. Si l'on suit le modèle théorique vitruvien (2, 5, 3), celle-ci possède des pores (*foramina*), signe d'une perte de poids qui est le résultat de la disparition d'un constituant après la cuite. De même, la théorie vitruvienne de la *ieiunitas* devrait expliquer de la même façon l'aspect poreux et la légèreté de la pierre ponce. Malheureusement, pour une raison quelconque, Vitruve ne le dit pas clairement. Tout au plus, indique-t-il que la *spongia* est issue de la cuisson d'une roche : son apparence et sa légèreté légitiment cette explication, conforme à sa théorie de la *ieiunitas*.

La nature de la pierre ponce n'est bien sûr pas celle que Vitruve dépeint. On sait qu'en réalité, elle est un fragment de magma acide jailli des volcans ; cette scorie extrêmement poreuse doit sa texture tendre et non cristalline au fait que les gaz qu'elle contenait, au moment de son émission, se sont tous échappés avant son refroidissement. Sa chimie n'est pas différente des pierres volcaniques les plus dures, telle l'obsidienne [937]. Les ponces peuvent être blanchâtres à l'état naturel, le plus souvent elles sont brun-rougeâtre et ont des couleurs variées (vert, jaune, rouge, rarement bleu). Ces scories étant particulièrement tendres, leur taille est aisée et, au lieu de les suspendre de manière à imiter des stalactites, on peut aussi bien les araser complètement en bossages. C'est pourquoi elles furent le matériau de prédilection des grottes des villas campaniennes et des fontaines de Pompéi [938].

Vitruve écrit que la pierre ponce (*spongia*) est la pierre type d'une coction naturelle. On trouve ce type de roche poreuse aussi bien aux environs de l'Etna, en Sicile, sur les collines de Mysie, en Grèce, ou en tout autre lieu de volcanisme [939]. P. Gros constate le souci scientifique de Vitruve : celui-ci relève les phénomènes volcaniques méditerranéens qui sont

[937] Ginouvès, Martin 1985, p. 40 ; Mottana, Crespi 1993, n°314-315.
[938] Lavagne 1988, p. 412.
[939] Strabon décrit le volcanisme de l'Etna (2, 3, 269 ; 2, 8, 273-274 ; 6, 1, 6, 258); et de la Mysie (13, 4, 1, 628). Sur le volcanisme de l'Etna dans l'Antiquité : Ströhle 1921, pp. 1-22 ; et pour la Mysie : pp. 43-45.

analogues et explique qu'ils ont été formés de la même façon. Ainsi, quel que soit l'endroit où il y a de la pierre ponce, on a la preuve d'un volcanisme passé ou présent [940].

4. Conclusion

Vitruve a enrichi la polysémie de *spongia* avec le sens de « pierre ponce ». Le passage d'« éponge » à « pierre ponce » s'est fait au moyen de la métaphore. Celle-ci porte sur l'aspect de la pierre ponce, qui évoque le squelette léger et poreux de l'éponge. On ne peut pas dire si Vitruve a utilisé le vocabulaire technique des carriers campaniens ou s'il a créé une métaphore semi-lexicalisée. L'extension du sens de l'éponge à la ponce se base sur l'apparence, mais peut s'expliquer aussi par une proximité de la mer en Campanie. Dans le sixième chapitre du livre II, Vitruve fait de *spongia* un terme scientifique, plus précisément géologique pour qualifier une pierre ponce volcanique. *Spongia* acquiert avec notre architecte une connotation savante, tandis que *pumex* est le lexème courant. *Pumex* est donc l'hyperonyme de *spongia*.

Vitruve (2, 6, 2) définit *spongia* (et *pumex*) comme une pierre qui a été calcinée à partir d'une autre (*excocto ex alio genere lapidis*). La ponce est un corps qui a subi la violence du feu (volcanique), comme la pouzzolane (*puluis*) et le tuf (*tofus*). Ces corps, à l'instar de la chaux vive qui est le modèle théorique de la chimie vitruvienne, perdent « atomiquement » un des quatre éléments lors de la cuisson. La disparition d'un constituant laisse des trous (*foramina*, *raritates*) dans la ponce, ce qui explique son aspect spongieux ou poreux. Elle possède une *ieiunitas*, comme la chaux et les roches volcaniques. Son apparence aisément reconnaissable et caractéristique fait d'elle un « marqueur » géologique et universel qui signale la présence d'une éruption volcanique. En somme, trouver de la pierre ponce dans un endroit est le signe d'un volcanisme présent ou passé.

Cetius Faventinus (9), le compilateur de Vitruve, ne reprend pas le sens « pierre ponce » de *spongia*. Il écrit qu'on obtient la chaux par calcination de pierre blanche ou de travertin ou de caillou gris de rivière ou de pierre rouge ou de pierre poreuse (*sfungia*) [941]. Palladius (1, 10, 3) se réapproprie cette notice de Faventinus : « On obtiendra de la chaux en cuisant de la pierre blanche dure, ou de la pierre de Tibur, ou du caillou gris de rivière, ou de la pierre rouge, de la pierre ponce (*spongea*), du marbre enfin. » [942] Comme il a été montré dans *Calx*, cette liste des pierres à chaux semble s'être élargie dès l'époque de Pline l'Ancien. Faventinus et Palladius ajoutent à cette classification la *sfungia* / *spongea* « calcaire poreux ».

Sur cette région de la Grèce : Elmar Schwertheim, *Mysische Studien*, Asia Minor Studien, Habelt, Bonn, 1990.

[940] *Vitruve II*, p. 96, n. 1.

[941] Trad. M. T. Cam.

[942] Trad. R. Martin.

Il ne s'agit pas d'une roche volcanique, car sa présence dans une telle liste serait inopportune. Toutefois, la pépérite (brèche volcanique composée de basalte et de calcaire) contient du calcaire [943], mais il resterait à déterminer si une brèche volcanique alloclastique (brèche d'explosion) peut renfermer un taux de carbonate de calcium susceptible de fournir une chaux au moins exploitable. Dans l'inventaire de Faventinus, il doit s'agir d'un calcaire poreux, c'est-à-dire tout calcaire ayant une apparence spongieuse (tuf calcaire poreux, dolomie vacuolaire, « carniola di Bovegno » des Préalpes de Bergame et de Brecia, des Alpes occidentales franco-italiennes, « poros » de Grèce, etc.) [944].

Cetius Faventinus utilise *sfungia* / *spongea* et se sert comme Vitruve du procédé métaphorique pour qualifier non pas une pierre ponce, mais un calcaire spongieux. La reprise de *sfungia* / *spongea* « calcaire spongieux », par Palladius et Isidore de Séville, fait de ce terme une métaphore lexicalisée ou une catachrèse.

[943] Moret 1967, p. 135 ; Jung 1969, p. 251 : les pépérites sont formés par des granules de verre ayant la couleur et la taille d'un grain de poivre. Ces granules sont dispersés dans une gangue calcaire. Aubouin, Brousse 1975, p. 646.
[944] Blake 1947, p. 314 n. 19 ; Ginouvès, Martin 1985, p. 40 ; Giuliani 1990, p. 164 ; Mottana, Crespi 1993, n° 341.

24. Terra - terrenus - terrosus

1. Etymologie de *terra*, de *terrenus* et de *terrosus*

Terra, *-ae* (f.) « terre », en tant qu'élément (opposé à « mer », cf. *terrā marīque*), « la Terre, planète que nous habitons », « partie de la terre qu'on habite, région, pays », d'où le pluriel *terrae*, *orbis terrarum*. Le terme *Terra* « déesse-mère » est rarement personnifié et divinisé, puisque le nom de la déité est *Tellus*.

Les dérivés et les composés sont nombreux : *terrula* « petite pièce de terre », *terrēnus* « de terre », *terrēnum* « terrain » (langue rustique), *terrēna, -ōrum* « les êtres terrestres », *exterrēnus, subterrēnus, terrester* (*-tris*), *-tris, tre* « terrestre »; *terreus* d'où, *mediterreus*, *subterreus* ; *terrōsus* « terreux », mentionné par Vitruve; *turrulentus* (Prudence) « terreux » ; *terraneus*, dans *exterraneus*, *mediterraneus*, *subterraneus*, etc. L'adjectif *terrēnus* « de terre, terreux » est composé avec le suffixe *–ēnus* de substance et il est formé sur l'adjectif *aenus* « de cuivre » ; *terr-ēnus* n'apparaît pas avant Cicéron et César [945].

En comparaison du latin, on a l'osque *teerrúm*, *terúm* « territorium ». Le latin *terra* serait un dérivé de **ter-es-* ou de **tersā.* On pourrait aussi rattacher *terra* au verbe *torrēo* « sécher, brûler » et on y verrait une ancienne épithète, proprement « la sèche »: on partirait alors de **ters-ā* (cf. *torreō* et l'irlandais *tír* « pays » et « sec »). Bien que non attesté hors de l'italo-celtique, *terra* est ancien si l'on en juge par l'alternance vocalique de *extorris*, qui est d'un type indo-européen connu, mais peu attesté en latin [946].

2. Usage et sens de *terra*, de *terrenus* avant Vitruve

Terra est usitée pour la première fois par Plaute (*As*. 32 ; *Bacch.* 1170 ; *Cur*. 141 ; *Men*. 228 ; *Mil*. 313 ; *Most*. 739 ; *Poen*. 90 ; *Pseud*. 317 ; *Trin*. 947) et enfin par Isidore de Séville (*Orig*. 9, 2, 2 ; 11, 1, 92 ; 11, 1, 114, etc.). On peut regrouper *terra* en dix-sept acceptions environ : « l'élément *terre* » (Ennius, Varron), « Terre-Mère, Déesse-Mère, déesse de la fertilité du sol » (Lucrèce, Varron, Virgile, Tite-Live, Juvénal, Pline l'Ancien, Tacite, Apulée), « la terre, par comparaison avec le ciel » (Plaute, Ennius, Varron, Lucrèce, Virgile, Tacite), « la terre, comme sphère et planète » (Plaute, Cicéron, Lucrèce, Ovide, Suétone), « le monde connu ou habité,

[945] Leumann 1963, pp. 222-223.
[946] Ernout 1949, p. 30 ; Monteil 1986, p. 153 ; Ernout, Meillet 1985, *s. v.* terra, pp. 687-688.

l'univers » (Plaute, Térence, Cicéron, Horace, Tite-Live, Properce, Ovide, Sénèque, Tacite, Isidore de Séville), « séjour des mortels par rapport au ciel où habitent les déités » (Plaute, Cicéron, Horace, Tite-Live, Juvénal), « la surface de la terre, le sol » (Caton, Varron, Andronicus, Térence, César, Horace, Tibulle, Martial, Apulée, Isidore de Séville), « le sol, comme substance solide, la terre, le sous-sol » (Caton, Pseudo-César, Cicéron, Catulle, Virgile, Tite-Live, Pline l'Ancien, Sénèque), « le sol comme source de végétation, la terre cultivée, le sol de culture » (Caton, Accius, Varron, Cicéron, Virgile, Horace, Tibulle, Tite-Live, Sénèque, Pline l'Ancien), « la matière composant le sol (en comparaison avec la pierre) » (Caton, César, Catulle, Virgile, Tite-Live, Quinte-Curce, Celse, Pline l'Ancien), « matériau pour les briques, la poterie, etc. » (Caton, Varron), « le sol, comme lieu de dissimulation ou de funérailles » (Cicéron, Horace, Virgile, Tite-Live), « la partie solide à la surface de la terre, la terre ferme, une étendue de terre » (Plaute, César, Cicéron, Virgile, Tite-Live, Horace, Ovide, Tacite, Pline l'Ancien, Isidore de Séville), « un pays habité par un peuple en particulier, une région, un lieu appartenant à quelqu'un » (Pacuvius, Cicéron, César, Catulle, Virgile, Tite-Live, Properce, Ovide, Tacite, Isidore de Séville) ; métaphoriquement « terre, symbole d'un pays » (Tite-Live), « terre ferme » (Cicéron, Tite-Live), « matière du corps qui doit retourner à la terre après la mort » (Cicéron)…
Terra a deux usages architecturaux :

a) Pour faire le *lutum* « torchis », comme enduit (Caton, *Agr*. 14, 3): *Hae rei materiem … dominus praebebit et ad opus dabit* […] *aquam*, *paleas*, *terram*, *unde lutum fiat*, « le propriétaire fournira le bois d'oeuvre et les matériaux nécessaires, et donnera pour le travail … l'eau, la paille, la terre pour faire l'enduit » [947].
b) Pour faire du pisé, des briques, dans des moules (Varron, *Rust*. 1, 14, 4): *Quartum fabrile saepimentum est nouissimum*, *maceria*. *Huius fere species quattuor*, [...] *quod ex terra et lapillis compositis in formis*, *ut in Hispania et agro Tarentino*. « Le quatrième, clôture industrielle, est le plus récent ; c'est un mur. Il y en a environ quatre espèces, [...] [dont une] est un mélange de terre et de gravier aggloméré dans des moules, comme en Espagne et dans le territoire de Tarente. » [948]

Terrenus se trouve d'abord chez Lucrèce (1, 1085) et dernièrement chez Isidore de Séville (*Orig*. 2, 25, 2-3 ; 6, 18, 2 ; 6, 19, 64 ; 7, 2, 10 ; 7, 6, 3 ; 8, 11, 27 ; 11, 5, 1 ; 11, 5, 4…). *Terrenus* a sept acceptions (en comptant l'adjectif substantivé *terrenum*) : « contenant l'élément *terre* » (Lucrèce, Cicéron, Virgile), « appartenant au monde terrestre et mortel, terrestre » (Horace, Ovide, Stace, Apulée), « appartenant au sol » (Cicéron, Ovide, Quinte-Curce, Stace, Tacite),

[947] Trad. R. Goujard.
[948] Trad. J. Heurgon.

« composé de sol, ou ayant sa consistance, terreux, de terre » (César, Virgile, Tite-Live, Columelle), « appartenant à la terre ferme, terrestre » (Cicéron, Pline l'Ancien, Columelle), « (animal) vivant sur terre » (Cicéron, Quintilien, Pline l'Ancien) [949] ; *terrenum* (au neutre) « terrain, sol, sol cultivable » (Tite-Live, Columelle, Pline le Naturaliste, Suétone).

Avant Vitruve, *terra* est un terme polysémique courant, qui peut désigner la surface de la terre, le sol (cultivé ou non), les régions et les pays, la planète au sens astronomique, la déesse de la fertilité et l'un des quatre éléments. D'un point de vue technique, *terra* dénote l'argile pour faire des poteries, des briques, etc. (Caton, Varron). *Terrenus* hérite des mêmes acceptions que *terra*.

3. *Terra*, *terrenus* et *terrosus* chez Vitruve

Terra « terre, sol, la Terre » est usité cent vingt-six fois : 1, *pr*., 1 / 1, 4, 7 / 1, 4, 10 / 1, 5, 1 / 1, 5, 3 / 1, 6, 9 / 1, 6, 11 / 2, 1, 4 / 2, 1, 5 / 2, 1, 5 / 2, 3, 1 / 2, 3, 1 / 2, 3, 4 / 2, 4, 1 / 2, 4, 1 / 2, 5, 2 / 2, 6, 1 / 2, 6, 1 / 2, 6, 2 / 2, 6, 3 / 2, 6, 5 / 2, 6, 5 / 2, 6, 6 / 2, 6, 6 / 2, 7, 5 / 2, 8, 12 / 2, 9, 2 / 2, 9, 7 / 2, 9, 10 / 2, 10, 2 / 3, 4, 1 / 4, 1, 5 / 4, 9, 1 / 5, 9, 6 / 5, 9, 6 / 5, 12, 3 / 6, 1, 1 / 6, 1, 1 / 6, 1, 5 / 6, 1, 10 / 6, 1, 11 / 6, 8, 5 / 7, 7, 1 / 8, *pr*., 1 / 8, *pr*., 1 / 8, *pr*., 4 / 8, 1, 1 / 8, 1, 1 / 8, 1, 2 / 8, 1, 2 / 8, 1, 3 / 8, 1, 3 / 8, 1, 4 / 8, 1, 5 / 8, 1, 6 / 8, 1, 7 / 8, 2, 1 / 8, 2, 1 / 8, 2, 2 / 8, 2, 3 / 8, 2, 3 / 8, 2, 3 / 8, 2, 4 / 8, 2, 5 / 8, 2, 6 / 8, 2, 8 / 8, 2, 9 / 8, 3, 1 / 8, 3, 2 / 8, 3, 2 / 8, 3, 7 / 8, 3, 7 / 8, 3, 8 / 8, 3, 9 / 8, 3, 9 / 8, 3, 10 / 8, 3, 10 / 8, 3, 10 / 8, 3, 11 / 8, 3, 11 / 8, 3, 12 / 8, 3, 12 / 8, 3, 13 / 8, 3, 13 / 8, 3, 13 / 8, 3, 13 / 8, 3, 15 / 8, 3, 16 / 8, 3, 18 / 8, 3, 24 / 8, 3, 24 / 8, 3, 24 / 8, 3, 25 / 8, 3, 26 / 8, 3, 26 / 8, 5, 3 / 8, 6, 3 / 8, 6, 12 / 8, 6, 12 / 9, 1, 1 / 9, 1, 2 / 9, 1, 2 / 9, 1, 2 / 9, 1, 2 / 9, 1, 3 / 9, 1, 3 / 9, 1, 3 / 9, 1, 4 / 9, 1, 4 / 9, 1, 4 / 9, 1, 4 / 9, 1, 12 / 9, 1, 14 / 9, 2, 2 / 9, 2, 2 / 9, 2, 3 / 9, 3, 1 / 9, 5, 4 / 9, 5, 4 / 9, 5, 4 / 9, 5, 4 / 9, 5, 4 / 9, 6, 1 / 10, 1, 5 / 10, 16, 9 / 10, 16, 10 [950].

— *terra* « *numen* de la Terre » : 4, 9, 1.

— *terra* « terre (l'un des quatre éléments) » : 1, 4, 7 / 8, *pr*., 1.

— *bituminosa terra* « terre bitumineuse » : 8, 3, 9.

— *congestio terrae* « masse de terre, remblai » : 6, 8, 5.

— *exusta terra* « terre brûlée » : 2, 6, 6.

— *e terra maximi grumi* « énormes mottes de terre » : 2, 1, 5.

— *orbis terrarum* « monde entier, le globe terrestre » : 1, *pr*. 1 / 6, 1, 10 / 6, 1, 11 / 8, 2, 3 / 8, 2,

[949] Glare 1980, pp. 1927-1929.

[950] Callebat, Bouet 1984, pp. 1164-1167, *s. v*. terra, terrenus, terrosus. Callebat, Fleury 1995, *s. v*. terra, terrenus, terrosus, p. 36.

6 / 8, 2, 8.
— *terra nigra* « terre noire » : 8, 1, 2.
— *terrae salubrae* « terres saines » : 1, 4, 10.
— *terra subacta cum paleis* « torchis » : 2, 1, 5.
— *terra albida cretosa* « argile kaolinite blanche » : 2, 3, 1.
— *terra pumicosa* « terre poreuse ayant l'aspect d'une pierre ponce » : 2, 3, 4.

Terrenus « de terre, terreux, terrestre » est usité trente-quatre fois : 1, 4, 5 / 1, 4, 6 / 1, 4, 6 / 1, 4, 7 / 1, 4, 7 / 1, 4, 7 / 1, 5, 6 / 1, 5, 7 / 2, 2, 1 / 2, 6, 5 / 2, 6, 6 / 2, 7, 2 / 2, 7, 2 / 2, 7, 3 / 2, 9, 6 (substantif neutre) / 2, 9, 8 / 2, 9, 8 / 2, 9, 9 / 2, 9, 9 / 2, 9, 9 / 2, 9, 10 / 2, 9, 11 / 2, 9, 12 / 2, 9, 14 / 5, 12, 5 / 6, 8, 7 / 8, *pr.*, 2 / 8, *pr.*, 3 / 8, 3, 12 / 8, 3, 26 / 8, 3, 26 / 8, 6, 3 / 8, 6, 12 / 8, 6, 15.
— *terrenum* (*principium*) « l'élément Terre » : 1, 4, 5 / 1, 4, 6 / 1, 4, 7 / 2, 2, 1/ 2, 7, 2/ 2, 7, 3 / 2, 9, 6 / 2, 9, 8 / 2, 9, 9, / 2, 9, 10 / 2, 9, 11 / 2, 9, 12 / 2, 9, 14 / 8, *pr.*, 2 / 8, 3, 26.
— *terrenum* « masse de terre, remblai, sol de terre » 6, 8, 7 / 8, 6, 15.
— *aedificia terrena* « constructions édifiées sur la terre ferme » : 2, 6, 6.
— *fundamenta terrena* « fouilles terreuses de fondations » 5, 12, 5.
— *fructus terrenus* « fruit de la terre » : 8, *pr.*, 3.
— *onus terrenum* « masse de terre, remblai » : 1, 5, 7.
— *opus terrenum* « terrassement d'une fortification » : 1, 5, 6.
— *solum terrenum* « sol terreux de mine » : 8, 6, 3.
— *terrena loca* « sols géologiquement terreux » : 2, 6, 5.
— *terrenus umor* « suc de la terre » : 8, 3, 12.
— *terrenum opus* « terrassement » : 1, 5, 6.

Terrosus « de terre, terreux » est usité trois fois : 2, 4, 1 / 2, 4, 3 / 2, 6, 6. Cet adjectif est connu seulement par Vitruve.
— *harena* (*fossicia*) *terrosa* « sable volcanique terreux (altéré) » : 2, 4, 1 / 2, 4, 3.
— *montes terrosi* « collines terreuses » : 2, 6, 6.

3.1. *Terra*, *terrenus*, *terrosus* et la géologie (2, 6, 2-6 ; 8, 1, 2 ; 8, 2, 3-4 ; 8, 2, 9 ; 8, 3, 1-2 ; 8, 3, 7-8 ; 8, 3, 11 ; 8, 3, 15 …)

3.1.1. *Terra*, *terrenus*, les quatre éléments (8, *pr*. 1 ; 2, 7, 2-3) et les roches

Au moyen de la théorie des quatre éléments, Vitruve décrit, entre autres, les phénomènes chimiques et physiques de la chaux. En 8, *pr*. 1, il mentionne l'histoire des *principia* « éléments premiers » : ils furent développés par des philosophes grecs, comme Pythagore, Empédocle, Epicharme etc. Ces quatre éléments, dont le principe « terre » (*terra*, *terrenum*), sont la base de toute chose et expliquent pourquoi objet, plante ou roche ont telles propriétés plutôt que d'autres. En 8, 6, 12, le sous-sol (*terra*) est lui-même terreux (*ipsa terrena*), et il contient, à partir de l'élément « liquide », les eaux de source (*habetque ex umore aquae fontes*). Concernant les pierres, en 2, 5, 2, les calcaires (*saxa*) possédant le constituant « terre » en majorité sont des roches dures. En 2, 7, 2 et 3, on le trouve encore dans le travertin et de même, sa proportion plus importante dans le *peperino* justifie l'excellente résistance au feu de cette pierre dans une construction.

3.1.2. *Terra* et l'hydrologie (8, 1, 2 ; 8, 2, 3-4 ; 8, 2, 9 ; 8, 3, 1-2 ; 8, 3, 7-8 ; 8, 3, 11 ; 8, 3, 15)

- ***Les cavités internes à la terre (8, 2, 3-4)***

En 8, 2, 3, Vitruve mentionne l'origine des eaux (brouillard, vapeur, humidité), qui est en liaison avec les théories antiques du sous-sol et du volcanisme : « Si les vapeurs, les brouillards, l'humidité naissent de la terre (*ex terra*), c'est, semble-t-il, pour la raison que celle-ci contient en elle à la fois des feux brûlants, des courants d'air prodigieux, des parties froides et une grande quantité d'eau. Par suite, quand le soleil levant vient frapper le globe terrestre (*orbem terrae*) refroidi pendant la nuit et que les souffles des vents se lèvent au travers des ténèbres, les nuées s'échappent des endroits humides vers les hauteurs. Et l'air, surchauffé alors par le soleil, enlève, comme il est normal, son humidité à la terre (*ex terra umores*). » [951]

Vitruve résume ici la théorie des cavités internes de la terre qui a été développée par Aristote (*Meteor*. 1, 13, 349b) et que Sénèque (*Nat*. 3, 7, 8) signale aussi. Le pseudo-Aristote (*Mund*. 4, 395 a-b) indique que la terre renferme en elle des sources, non seulement d'eau, mais aussi d'air et de feu [952]. Notre théoricien ne rapporte guère la théorie de la condensation

[951] Trad. L. Callebat.
[952] Cette idée est très diffusée : Anaxagore DK A 42, Démocrite DK A 97-98 ; Aristot., *Meteor*. 2, 8, 365 b; 2, 8, 368 a; Plat., *Ph*. 112 A; Lucr. 6, 536 sq. ; Virg., *Georg*. 4, 363 sq. ; Sén., *Nat*. 3, 8 ; 3 , 30, 3 ; 5, 4 ,1 ; 5,

interne émise par Aristote (*Meteor.* 1, 13, 349 b ; 2, 7, 8), ni les causes des séismes et des éruptions volcaniques. On sait que les cavités et les souffles souterrains jouent un grand rôle dans le volcanisme (cf. *Bitumen*).

Ce qui intéresse notre auteur (8, 2, 3), ce n'est pas d'affirmer que les tremblements de terre et les volcans sont des phénomènes liés, mais c'est de décrire le cycle de l'eau et de l'expliquer par un exemple pédagogique inspiré des bains : « Dans les étuves, en effet, il n'est pas de voûte qui puisse avoir de source au-dessus d'elle, mais l'air de la partie supérieure, qui est là surchauffé par la vapeur brûlante exhalée des bouches de chaleur, attire l'humidité du dallage, l'entraîne avec lui dans les concavités des voûtes et l'y maintient, pour cette raison qu'une vapeur chaude force toujours sa route vers le haut. Et tout d'abord cette vapeur reste en suspension à cause de sa ténuité, mais aussitôt qu'elle retient condensée une plus grande quantité d'eau, elle ne peut pas la maintenir à cause de sa pesanteur, et l'eau dégoutte sur la tête des baigneurs. Pareillement et de la même façon, l'air atmosphérique, après avoir été pénétré par la chaleur du soleil, absorbe de partout les éléments humides, les élève et les agrège aux nuages. La terre (*terra*), en effet, soumise à une haute température, rejette son humidité de la même façon que le corps humain secrète de la sueur (*sudores*) sous l'action de la chaleur. » [953]

La référence à la sueur (*sudores*) est le premier renvoi dans le livre VIII, à la théorie des correspondances liant microcosme et macrocosme. Aristote (*Phys.* 8, 2, 252 b) l'avait déjà vulgarisée : Ovide (*Met*. 15, 342 sq.) la fait remonter à Pythagore, tandis que Cicéron (*Nat. Deor*. 2, 83) l'attribue aux stoïciens [954]. Nous retrouverons *sudores* en 8, 1, 2.

- ***Le chauffage et l'altération du goût des eaux souterraines (8, 2, 9 ; 8, 3, 1)***

Dans ces deux passages, Vitruve fait le lien entre les feux volcaniques et les eaux souterraines. Les premiers chauffent les terres, tandis que les secondes en les traversant acquièrent de la chaleur. En 8, 2, 9, il écrit : « La chaleur n'est pas un caractère spécifique de l'eau; mais lorsque l'eau froide rencontre sur son parcours un lieu brûlant (*percurrens in ardentem locum*), elle s'échauffe et, par les veines qu'elle a traversées, sort bouillante de la terre (*et percalefacta egreditur per uenas extra terram*). Par suite, elle ne peut pas se maintenir bien longtemps à ce degré, mais en peu de temps se refroidit. En vérité, si elle était naturellement chaude, il n'y aurait pas déperdition de sa chaleur. Elle ne recouvre cependant ni son goût ni son odeur ni sa couleur parce qu'étant peu compacte de nature, elle subit imprégnations et mélanges. » [955] Vitruve pose ainsi le principe que le goût d'une source

---

14, 2 sq ; 6, 7, 2 ; Luc. 10, 247 sq. ; *Aetna* 94 sq.
[953] Trad. L. Callebat.
[954] *Vitruve VIII*, p. 72, n. 3.
[955] Trad. L. Callebat.

s'explique par le fait que l'eau a été chauffée par contact direct ou non par le feu volcanique, et qu'elle a traversé un terrain riche en éléments minéraux. Ces deux facteurs géologiques sont susceptibles d'altérer sa saveur. Mais en 8, 3, 1, il précise qu'il y a quelques exceptions à ce principe : « […] il existe aussi quelques sources chaudes d'où s'écoule une eau d'un goût excellent et si exquise comme boisson qu'elle ne fait regretter ni les sources des Camènes ni la jaillissante eau Marcia. Or ces eaux sont produites naturellement de la manière suivante: lorsque dans le sous-sol, au contact de l'alun, du bitume ou du soufre, le feu est allumé, il porte à haute température la terre qui est au-dessus de lui (*ardore percandefacit terram*, *quae est supra*); et il dégage ainsi vers le haut une vapeur brûlante, de sorte que si dans cette zone supérieure naissent des sources d'eau douce, celles-ci, atteintes par la vapeur, se mettent à bouillonner dans leurs veines et, de cette manière, se répandent sans que soit altérée leur saveur. » [956]

Il ne faut donc pas que l'eau soit en contact avec le feu volcanique ou qu'elle traverse des terrains avec des composants particuliers, pour que sa saveur soit conservée. Dans l'idéal, les vapeurs souterraines doivent chauffer un sous-sol – d'une composition neutre – où l'eau jaillit sans altération de son goût. Vitruve semble mélanger deux observations mentionnées par les Anciens : le changement de nature, tout d'abord, des eaux ayant traversé des terres saturées de minéraux tels que l'alun (Aristot., *Meteor.* 2, 3, 359 b), le soufre, le bitume, le nitre (Sén., *Nat.* 3, 24, 4) et la permanence des qualités de goût attachée d'autre part aux eaux n'ayant pas un contact direct avec le feu qui les réchauffe (Sén. *Nat.* 3, 24, 3) [957].

- ***Catalogue des eaux aux goûts altérés et aux effets surprenants (8, 3, 2 ; 8, 3, 7-8 ; 8, 3, 11 ; 8, 3 , 15)***

Le troisième chapitre du livre VIII est un long développement, qui touche au domaine de l'hygiène des eaux, mais qui est aussi prétexte à un exposé complaisant des *mirabilia aquarum* « propriétés étonnantes des eaux » [958]. Vitruve passe en revue plusieurs sources, qui, en règle générale, ont vu leurs caractéristiques modifiées par les terres ou les sols traversés.

En 8, 3, 2, Vitruve mentionne des eaux sulfureuses d'Acque Albule et d'Ardeatina Solferata : « Il existe aussi des sources froides dont ni l'odeur ni le goût ne sont agréables ; issues des profondeurs du sous-sol elles passent par des zones brûlantes puis, courant longuement au travers de la terre (*per longum spatium terrae*), parviennent refroidies à la surface avec une saveur, une odeur, une couleur altérées (*refrigerati perueniunt supra terram sapore, odore coloreque corrupto*) : ainsi sur la voie Tiburtine l'Albula et, dans la région d'Ardée,

[956] Trad. L. Callebat.
[957] *Vitruve VIII*, p. 89, n. 5. Cf. *Bitumen*.
[958] Cf. *Vitruve VIII*, *Introduction*, p. XV sq., XXVIII sq., XLIV sq. Toutes les traductions mentionnées

avec une odeur identique, les sources d'eau froide que l'on dit sulfureuses, et dans d'autres endroits semblables. » Acque Albule se situe à deux kilomètres au nord de Bagni, près de Tivoli, tandis que la région d'Ardée est identifiée à Ardeatina Solforata à vingt-deux kilomètres de Rome. Acque Albule donne une eau sulfureuse hypothermale, d'une température de 23 °C, et est célèbre dans l'Antiquité pour ses vertus curatives [959].

En 8, 3, 7, en Sicile, « le fleuve Himère, […] après être sorti de sa source, se divise en deux bras; le bras qui s'écoule face à l'Étrurie, traversant une terre au doux suc (*quod per terrae dulcem sucum percurrit*), est d'une exquise douceur, tandis que l'autre bras, qui court au travers d'une terre d'où l'on extrait le sel (*quae altera parte per eam terram currit unde sal foditur*), a un goût salé. » Les deux branches de l'Himère correspondent en réalité à deux fleuves distincts : l'Himère septentrional (*Fiume Grande*) et l'Himère méridional (*Fiume Salso*), le premier de ces fleuves se jetant dans la mer près d'Himera (à 38 km à l'est-sud-est de Palerme), le second, qui coupe la Sicile en son milieu du Nord au Sud, ayant son embouchure à Phintias (aujourd'hui Licata). Le nom italien *fiume salso* « fleuve salé », indique la nature saline de l'eau [960]. En 8, 3, 8, Vitruve rapporte deux exemples de cours d'eau contenant une forme d'huile. On trouve à Soles, ville de Cilicie, des sources, s'écoulant dans la terre au travers de veines grasses (*per pingues terrae uenas*), qui jaillissent huileuses ; de même, les baigneurs du fleuve Liparis ont le corps graissé par l'eau. La ville de Soli (aujourd'hui Mezetlu) était traversée par une petite rivière dont le nom exprimait la nature huileuse, le Liparis [961].

En 8, 3, 11, Vitruve évoque « des sources qui, sortant d'une terre au suc amer (*ex amaro suco terrae*), sont fortement amères : ainsi dans le Pont, l'Hypanis. » Il ajoute : « Ce fleuve garde depuis sa source, sur un cours d'à peu près 40 milles, une saveur exquise; ensuite, lorsqu'il parvient à un endroit situé à 160 milles environ de son embouchure, une petite source absolument minuscule mêle ses eaux aux siennes; quand cette source pénètre en lui, elle rend alors amère l'immensité du fleuve pour cette raison que, traversant une terre et des veines d'où l'on extrait le réalgar, cette eau en prend l'amertume (*ideo quod per id genus terrae et uenas, unde sandaracam fodiunt, ea aqua manando perficitur amara*). » L'extraction du sulfure d'arsenic dans les sols que cette eau traverse peut expliquer cette amertume [962]. En 8, 3, 15, des sources, franchissant des terres « dont les sucs sont nuisibles (*per maleficum sucum terrae*) », se chargent de leur « puissance vénéneuse ». Vitruve donne l'exemple de la source de Terracine, « appelée source de Neptune, qui faisait perdre la vie à ceux qui, non avertis, s'y étaient abreuvés. » Elle se trouve dans une région marécageuse d'Italie [963].

---

dans cette partie pour le livre VIII sont de L. Callebat.
[959] *Vitruve VIII*, p. 404, n. 1 et 2.
[960] *Vitruve VIII*, p. 95, n. 2.
[961] *Vitruve VIII*, pp. 96-97, n. 1.
[962] *Vitruve VIII*, p. 101, n. 1 et 2.
[963] *Vitruve VIII*, p. 109, n. 1.

Toutes ces eaux traversent des terrains, lesquels modifient leur saveur (*sapor*), voire même les empoisonnent, par la présence d'arsenic ou de marécages. Dans les deux cas, Vitruve utilise *sucus terrae* « suc de la terre » pour qualifier leurs propriétés.

- ***Les « sucs de la terre »* suci terrae *(8, 3, 12-13 ; 8, 3, 18 ; 8, 3, 26)***

Si la lexie complexe *sucus terrae* recouvre plus ou moins les caractéristiques d'un sol, Vitruve n'en donne pas une définition précise. En 8, 3, 18, il décrit un suc aigre et acide contenu dans la terre (*acer et acidus sucus subest in ea terra*) que traversent des veines d'eau : « Celles-ci s'imprègnent de cette âcreté. Cette eau âcre dissout les dépôts et concrétions formés par les eaux dans le corps. » Encore une fois, notre auteur insiste sur le principe liant la qualité des eaux à la nature des terrains qu'elles franchissent. C'est donc ceux-ci qui apportent leurs caractères propres aux eaux. Il semble que Vitruve reprenne des dénominations marquant, chez les φυσιόλογοι (*physiologoi*) et chez Théophraste (cf. *C. P.* 6, 1, 1 sq.), les distinctions de saveur pour caractériser cette notion de sucs terrestres : en 8, 3, 18, les épithètes de *sucus*, *acer* « aigre » et *acidus* « acide » correspondent aux adjectifs grecs δριμύς et ὀξύς ; de même en 8, 3, 7, *dulcis* « doux » renvoie à γλυκύς ; en 8, 3, 11, *amarus* « amer » est l'équivalent de πικρός [964].

Pour Vitruve, le vocabulaire des saveurs peut s'appliquer aux sucs terrestres, puisqu'il établit des correspondances analogiques entre les êtres vivants et la terre, entre le microcosme et le macrocosme. Ainsi le théoricien (8, 3, 26) écrit : « Du fait que la nature a assigné à différentes choses une pareille variété dont témoigne le corps humain qui, composé pour partie de terre (*quod humanum corpus est ex aliqua parte terrenum*), contient bien des sortes d'humeurs (*multa genera sunt umorum*) comme le sang, le lait, la sueur, l'urine, les larmes (*uti sanguinis*, *lactis*, *sudoris*, *urinae*, *lacrimarum*) si donc, dans cette minuscule parcelle de terre (*in parua particula terreni sucorum reperientur uarietates*) se rencontrent des saveurs aussi différentes, il n'est pas surprenant que dans la grande masse de la terre se trouvent d'innombrables variétés de sucs (*in magnitudine terrae innumerabiles sucorum*) dont s'imprègne, en traversant leurs veines, le courant de l'eau qui va jaillir aux sources (*per quarum uenas aquae uis percurrens tincta peruenit ad fontium egressus*); et c'est ainsi que les sources se différencient et se diversifient en types particuliers, conformément à la variété des lieux, aux qualités distinctives des régions et aux propriétés dissemblables des terres (*terrarumque dissimiles proprietates*). »

Dans ce texte, on trouve les quatre éléments (dont la " terre " *terrenum*) dans le corps humain et il y a l'assimilation de la terre à un organisme animal (Ovid., *Met.* 15, 342, Sén. *Nat*. 6, 14, 1-3 ; *Aetn*. 98 sq.). A ces conceptions vient s'attacher une physiologie des humeurs

héritée de la tradition médicale grecque. Ce passage vitruvien semble puiser ses idées chez les stoïciens, mais on a affaire ici à des concepts répandus [965]. Sénèque (*Nat*. 3, 15, 1-3) développe tout ceci en un ensemble cohérent en associant l'ancienne théorie des humeurs et les sucs terrestres:

« J'estime que la nature gouverne la terre et qu'elle l'organise à la façon du corps humain, dans lequel il y a à la fois des veines et des artères, servant de vaisseaux, les premières pour le sang, les autres pour l'air. Dans la terre aussi, l'eau et l'air circulent par des canaux différents, et ceux-ci sont tellement formés par la nature à la ressemblance de notre corps que nos ancêtres ont donné aussi le nom de veines à ceux qui servent pour l'eau. **2** Comme, d'ailleurs, nous n'avons pas seulement en nous du sang, mais aussi beaucoup d'espèces de liquides, les uns indispensables à la vie, d'autres viciés et quelque peu plus épais, — la cervelle dans le crâne, la moelle dans les os, les mucosités, la salive, les larmes et une sorte d'humeur qui se trouve dans les articulations et qui, en les lubrifiant, en rend le jeu plus aisé, — la terre aussi contient beaucoup de variétés d'humeurs (*umoris genera complura*). **3** Il en est que la maturité durcit — d'elles proviennent ces mines si appréciées d'où l'avarice humaine tire l'or et l'argent — et d'autres qui perdent leur état liquide pour se changer en pierres. La terre et l'eau, en se putréfiant, donnent naissance à certaines substances, au bitume, par exemple, et à d'autres liquides semblables. Telle est l'origine des eaux qui naissent conformément à la loi et au désir de la nature. » [966]

Sénèque peut donc résumer la théorie vitruvienne: puisque la terre est considérée comme un organisme vivant, lequel naît, croît, mûrit et meurt, les sucs terrestres vieillissent et se durcissent sous forme soit de métaux, soit de pierres [967]. Il donne une définition claire des sucs terrestres : ce sont des humeurs, à l'instar de ce qui existe chez les hommes.

La présence de ces humeurs explique ainsi la diversité des terroirs. Dans un important développement de deux paragraphes (8, 3, 12-13), notre auteur constate: « Ces différences de saveur sont déterminées par la qualité particulière des terrains (*a terrae proprietate*) ainsi que cela apparaît aussi dans les fruits. En effet, si les racines des arbres, des vignes ou des autres plantes ne produisaient pas leurs fruits en tirant leur suc de qualités particulières au terrain (*ex terrae proprietatibus sucum capiendo*), la saveur de tous ces fruits serait identique dans tous les lieux et toutes les régions (*uno genere essent in omnibus locis et regionibus omnium sapores*). » Il énumère ensuite des vins réputés, comme le Protropos, la Méonie, le Catacecaumenites, le Tmolite, le Mamertin, le Falerne, le Cécube : « Toute cette variété existe, écrit-il, parce que les sucs de la terre (*terrenus umor*), après avoir pénétré les

[964] *Vitruve VIII*, p. 114, n. 1 ; Oder 1899, p. 345.
[965] *Vitruve VIII*, p. 128, n. 1 ; Oder 1899, p. 312.
[966] Trad. P. Oltramare.
[967] *Sénèque III*, n. 3, p. 130.

racines de leur saveur caractéristique (*proprietatibus saporis in radicibus sit infusus*), saturent le bois (*enutrit materiam*), au travers duquel ils s'élèvent jusqu'au sommet pour répandre dans les fruits la saveur qui est propre au terrain et à l'espèce (*per quam egrediens ad cacumen profundat proprium loci et generis sui fructus saporem*). » Dans le paragraphe suivant, Vitruve écrit que les sucs terrestres qu'il appelle aussi « humeurs » (*umores*), comme Sénèque, n'expliquent pas tout : « Or ces diversités suivant les régions et les endroits sont dues à la latitude et au mouvement du soleil (*inclinatio mundi et solis impetus*) qui, selon l'éloignement plus ou moins grand de sa course (*propius aut longius cursum faciendo*), donne sa qualité à la terre (*tales efficit terrae*). Et les propriétés des eaux n'agiraient pas ainsi d'aussi semblable manière, non seulement sur ces productions mais aussi sur les ovins et le gros bétail, si les particularités dans la nature de chaque terre n'étaient pas soumises à l'influence régulatrice du soleil (*Vmorisque qualitates nec solum in his rebus, sed etiam in pecoribus et armentis haec non ita similiter efficerent, nisi proprietates singularum terrarum in generibus ad solis potestatem temperarentur*). »

A partir des saveurs amères, notre auteur propose un développement sur l'influence des climats, laquelle vient s'ajouter à celle des sucs terrestres. Ce développement constitue aussi une digression dans laquelle Vitruve reprend la théorie ancienne de l'importance de la latitude sur la variété d'un biotope et par conséquent des types humains qui s'y trouvent. Ainsi, le successeur du Stagirite, Théophraste a appliqué cette conception à la flore et à la faune (cf. *H. P.* 4, 1-5 ; *C. P.* 2, 3-4). De même, Posidonius, semble-t-il, a proposé l'idée (cf. Strab. 2, 2, 3 sq. ; 3, 4, 15...) qu'on retrouve un biotope identique sous une même latitude [968]. En 8, 3, 12, le passage sur les différentes qualités d'un vignoble et donc des vins (déjà traité chez Théophraste, *Hist. Plant.* 2, 5, 7) contient une reprise du thème de la prépondérance du terrain sur la nature de l'eau (cf. 8, 1, 2). L'influence combinée des sucs terrestres, de l'eau et du climat sur l'écologie et les hommes est une idée récurrente que Vitruve développe un certain nombre de fois : 6, 1, 1 ; 6, 1, 3-5 ; 6, 1, 12 ; 8, 3, 24-25 ; 8, 3, 27. En 6, 1, 5, Vitruve explique ainsi les diversités physiques et morales entre les peuples du nord et du midi par la différence de hauteur du ciel au-dessus d'eux, explication fondée sur la vieille croyance selon laquelle le nord est plus élevé que le sud.

- **Terra nigra** « *terre noire* » ***(8, 1, 2)***

Vitruve avait déjà traité en 8, 1, 2, le thème de l'influence du terrain sur l'eau : « Dans la terre noire (*terra nigra*), d'autre part, on trouve des suintements (*sudores*) et de fines gouttes qui, rassemblées après les intempéries hivernales, se déposent dans les endroits compacts et

[968] La théorie posidonienne est partiellement reconstituée à partir des textes suivants : Diod. 2, 48-53 ; Manil. 4, 711 sq. ; Pt. *Tetr.* 2, 1 ; Oder 1899, p. 317 sq. ; *Vitruve VIII*, p. 102, n. 1.

consistants ; ces eaux-là ont un goût excellent » [969]. La lexie complexe *terra nigra* semble dénoter une terre riche et grasse, et dans le passage vitruvien, on pourrait reconnaître divers types de sols : terrains isohumiques, sols brunifiés, terrains relevant de la classe des vertisols [970]. *Sudores* a déjà été étudié en 8, 2, 3-4. Pour les auteurs latins, la fausse étymologie (*udor* « eau » et *sudor* « sueur ») mentionnée par Varron (*Ling*. 5, 24) prouve la continuité d'une tradition philosophique largement vulgarisée depuis les Grecs. Il est donc tout à fait normal que Sénèque (*Nat*. 3, 15, 7) le signale comme terme technique pour les sourciers (*aquileges*) : « Les sourciers appellent " sueur " ces gouttes qui jaillissent par la pression du sol ou que la chaleur fait sortir (*sudorem aquileges uocant, quia guttae quaedam uel pressura loci eliduntur vel aestu euocantur*) » [971]. Ces sourciers (*aquilices*, *aquileges* ou *aquilegi*) étaient constitués en une corporation surtout développée en Etrurie (cf. Pline *Nat*. 31, 44, etc.). Vitruve se sert encore de *sudor* en 8, 1, 4 dans le cadre d'une expérience de recherche d'eau.

Le champ notionnel géologique de *terra* intègre les sucs terrestres, lesquels dérivent de la théorie médicale des humeurs, et les eaux. Ces *humores* et ces *suci* apportent pour l'essentiel les propriétés des terroirs et donc conditionnent la morphologie d'un biotope. Ce sont eux qui influencent le goût et les qualités des eaux. Ces particularités des terres s'ajoutent au climat (latitude du soleil) et à la théorie des quatre éléments: ce sont leurs effets combinés qui donnent la diversité de la faune et de la flore. Ils constituent la base théorique permettant d'expliquer la variété des arbres dans les chapitres neuvième et dixième du livre II. Ce qui se passe dans le sous-sol (séismes, feux volcaniques) détermine la vie des êtres vivants (faune, flore, hommes) à la surface.

[969] Vitr. 8, 1, 2 : *Terra autem nigra sudores et stillae exiles inueniuntur quae, ex hibernis tempestatibus collectae, in spissis et solidis locis subsidunt; haec habent optimum saporem.*
[970] Aubert, Boulaine 1967, p. 51 sq. ; *Vitruve VIII*, p. 53, n. 4.
[971] Trad. P. Oltramare.

3.1.3. *Harena* (*fossicia*) *terrosa* « sable volcanique altéré » (2, 4, 1 ; 2, 4, 3)

En 2, 4, 1 et 3, Vitruve s'étend sur la manière de choisir le sable volcanique (*harena fossicia*) et ensuite sur la raison pour laquelle il faut l'extraire peu de temps avant son usage avec la chaux : « Le sable volcanique doit pouvoir se prêter au corroyage du mortier et ne pas être mêlé de terre *(ut ea sit idonea ad materiem miscendam neque habeat terram commixta*). Ensuite, le meilleur sable volcanique idoine pour un mortier est celui qui crisse quand on le frotte dans la main (*Ex his quae in manu confricata fecerit stridorem erit optima*) ; celui, en revanche, qui est terreux n'accrochera pas (*quae autem terrosa fuerit non habebit asperitatem*). Si l'on jette par ailleurs du sable sur une toile blanche que l'on secoue ensuite pour le chasser, et si ce sable ne la tache pas et n'y laisse pas de terre, il sera d'un bon usage (*Item si in uestimentum candidum ea coniecta fuerit, postea excussa uel icta id non inquinarit neque ibi terra subsiderit, erit idonea*). Si les sables volcaniques restent trop longtemps inemployés avant usage, une fois extraits, ils se désagrègent sous la brûlure du soleil, de la lune ou du gel et deviennent terreux (*Si enim exemptae diutius iacent, ab sole et luna et pruina concoctae resoluuntur et fiunt terrosae*). »

Pour un usage cimentier, le sable volcanique ne doit pas être mêlé de terre (*terra commixta*) : il doit être « propre ». Notre auteur indique donc deux épreuves pour reconnaître le sable volcanique (*harena fossicia donea*) du sable terreux (*terrosa*). Ces deux tests discriminent les granulats ayant trop de particules fines (en dessous de 0,25 mm). Pour s'en débarrasser, Vitruve pourrait conseiller de laver ces arènes, à l'instar du sable marin, mais il n'en dit rien. De toute évidence, il préfère extraire du sable volcanique qui ne contient pas de particules fines, car ce type de matériau est plus facile à mélanger à la pâte de chaux. Pourtant, on trouve dans les mortiers républicains, de la poussière volcanique mêlée au sable pyroclastique : preuve qu'on se contentait d'un simple tamisage pour les granulats et qu'on ne considérait pas la présence de fines comme une gêne. Aux yeux de Vitruve, l'arène volcanique possède une « nature grasse » *pinguitudo*, car elle a quand même des éléments granulométriques minuscules. S'il y en a trop, l'*harena fossicia* est dite *terrosa* « terreuse », comme celle qu'on extrait en surface.

Pour Vitruve, ce sable terreux n'est pas idoine pour un liant à l'inverse du propre. D'où peut-il venir ? L'arène pyroclastique terreuse, qui est altérée par les intempéries, peut se trouver au niveau du sol de circulation de la carrière où elle est extraite. D'après les carriers, il faut éliminer une couche superficielle, appelée *découverte*, laquelle est parfois elle-même recouverte de terre et modifiée par les rigueurs climatiques et les infiltrations végétales. Ce sol ne fournit pas le roc ou le sable propre à être exploité. Cette découverte peut elle-même comporter une couche inférieure utilisable pour produire des cailloux d'empierrement ; la couche supérieure, couverture de sédiments au-dessus de la roche

solide, est souvent dénommée *mort-terrain*. Le travail de découverte étant achevé, le carrier ayant mis à nu la masse rocheuse, l'exploration et l'exploitation peuvent commencer [972]. Vitruve connaît l'action des éléments atmosphériques sur le sable fraîchement extrait (*si enim exemptae diutius iacent, ab sole et luna et pruina concoctae resoluuntur et fiunt terrosae*). C'est pourquoi il peut appeller *harena* (*fossicia*) *terrosa* le sable altéré de la découverte.

3.2. *Terra* et le chantier (2, 1, 5 ; 2, 3, 1 ; 6, 8, 5)

3.2.1. *E terra maximi grumi* « de très grosses mottes de terre » 2, 1, 5

En 2, 1, 5, Vitruve brosse le tableau des habitations de terre des Phrygiens : « Ceux-ci habitent des régions de plaine pauvres en forêts, et ne disposent pas de bois : ils choisissent des buttes naturelles, ils y ouvrent des excavations en leur milieu, percent des passages et élargissent ces espaces autant que le permet la nature du lieu. Liant, par-dessus, de grosses branches les unes aux autres, ils forment un cône qu'ils recouvrent de roseaux et de sarments, et ils entassent d'énormes mottes de terre sur ces habitations (*e terra maximos grumos*). Ce type de couverture assure ainsi des hivers très chauds et des étés très frais. » [973]

Les Phrygiens étaient un sujet d'étude de la part de Posidonius [974] et de Varron (*Sat. Men.* 131 ; 228 ; 403 Astbury ; *Ling.* 9, 44 ; *Rust.* 1, 2, 7 ; 2, 1, 5 ; 6, 3 ; 11, 12). Sur le plan archéologique, ce type de cabane est documenté sur une aire très importante [975]. En effet, la cabane creusée, plus que construite, est attestée en Phrygie du premier millénaire avant notre ère : ces ouvrages, à la fois en creux et en élévation, peuvent servir d'habitation, de sanctuaire, de tombe ou d'hérôon [976]. Vitruve décompose leur édification ainsi :

— *eligere tumulos naturales* « choisir des buttes naturelles »

— *eosque medios fossura distinere* « séparer par une fouille le milieu de ces buttes »

— *itinera perfodere* « creuser des chemins d'accès »

— *dilatare spatia, quantum natura loci patitur* « élargir les espaces autant que le permet la nature du lieu »

— *insuper stipites inter se religare* « relier entre elles des perches »

---

[972] Adam 1995, pp. 24-25.

[973] Vitr. 2, 1, 5: *Phryges uero, qui campestribus locis sunt habitantes, propter inopiam siluarum egentes materiae eligunt tumulos naturales eosque medios fossura distinentes et itinera perfodientes dilatant spatia, quantum natura loci patitur. Insuper autem stipites inter se religantes metas efficiunt quas harundinibus et sarmentis tegentes exaggerant supra habitationes e terra maximos grumos. Ita hiemes calidissimas, aestates frigidissimas efficiunt tectorum rationes*. Trad. L. Callebat.

[974] *Posidonius*, frg. 277 a et 292.

[975] Cf. Ferri 1960, pp. 69-70.

[976] E. Akurgal, *Phrygische Kunst*, Ankara, 1955, pp. 87-93 ; E. Simpson, *The Phrygian Artistic Intellect*, in *Phrygian Art and Archaeology*, New-York, 1988, pp. 24-42; J. Clayton Fant, *Cavum antrum Phrygiae*,

— *metas efficere* « faire des cônes »
— *quas harundinibus et sarmentis tegere* « couvrir ces cônes de roseaux et de sarments »
— *exaggerare supra habitationes e terra maximos grumos* « accumuler par-dessus ces habitations de très grosses mottes de terre ».

Les habitations phrygiennes sont donc en partie creusées dans les collines et bâties. La construction se fait d'abord en excavant la colline puis en bâtissant sur le sommet égalisé un cône (*meta*). P. Gros qualifie comme remarquables les restitutions de Claude Perrault (édition du *De architectura* de 1684) et de Giovanni Antonio Rusconi (*Della architettura*, 1590) et elles semblent avoir été confirmées par les fouilles archéologiques. Sur le plan formel, ce type de logement peut être creusé dans des sols tendres, comme le tuf, le loess ou la lave poreuse, et établi généralement sous des climats chauds et secs. Il protège de la chaleur diurne et amortit les différences de température entre le jour et la nuit grâce à un effet de volant thermique de la masse de terre. Le creusement artificiel de cavités dans le sol a adopté une direction horizontale. Un volume troglodytique plus ou moins complexe était ainsi créé. L'espace intérieur était le plus souvent inspiré de celui des constructions environnantes; il en était en quelque sorte le négatif. Dans beaucoup de cas, on peut observer que la cavité est dissimulée par une construction avancée s'y appuyant, simple auvent ou extension couverte. Dans un creusement horizontal, les volumes et les espaces ne sont pas assujettis aux contraintes constructives des matériaux courants. L'habitation est véritablement sculptée en souplesse dans la masse de terre; aussi n'est-il pas rare de remarquer des formes très irrégulières où les courbes sont prédominantes. Les plans des espaces sont très souvent oblongs ou plus ou moins quadrangulaires [977].

Concernant la lexie complexe *e terra maximi grumi* « très grosses mottes de terre », celle-ci rappelle *glaeba lutea* « motte de terre » (2, 1, 3). *Grumus* « tertre » est un terme peu courant. Festus écrit (Paul. Fest. 96 (86, 4)) *terrae collectio, minor tumulo* « tas de terre, plus petite qu'une colline ». C'est peut-être ici un emploi technique. Cette méthode de construction ne diffère de la *glaeba lutea* (2, 1, 3) que par la dimension de la motte, plus grande. Le procédé de la motte peut être la bauge ou le torchis, dont la terre vient évidemment des déblais excavés des collines (*tumuli naturales*). Les auteurs comme H. Houben et H. Guillaud considèrent que les deux techniques (bauche ou bauge, torchis) sont légèrement différentes, alors que R. Ginouvès et R. Martin pensent que les deux termes sont synonymes.

Abandonnée en Europe, où elle est connue sous le terme de « bauge » (en France) ou de « cob » (en Grande-Bretagne), la construction en « terre empilée » — appelée ainsi par H. Houben et H. Guillaud — est encore d'actualité dans la plupart des pays en développement.

Londres, 1989, pp. 17-47 ; G. De Frankovich, *Santuari e tombe rupestri dell'antica Frigia*, Roma, 1990, pp. 1-202. *Vitruvio 1*, n. 28-29, pp. 174-175 ; *Vitruve II*, p. 70, n. 1.

L'architecture en bauge est aussi modeste que spectaculaire: de simples habitations rurales (Afghanistan) ou des villes aux immeubles de plusieurs étages (Yémen). La terre argileuse est employée à l'état de pâte cohérente, plutôt molle, et chargée d'un dégraissant qui améliore sa cohésion et sa résistance à la traction. Il s'agit le plus souvent de paille ou de balles de grain, mais certaines terres sont parfois très graveleuses, approchant celles utilisées pour le pisé. Pétri par avance, le matériau est façonné en grosses boules empilées ou jetées avec force. On obtient ainsi des murs bâtis en plusieurs couches et très épais (40-50 cm jusqu'à 200 cm), d'aspect monolithique. Les techniques de construction en bauge, multiples, sont assez mal connues. Le problème est la fissuration du matériau au séchage, mais qui peut être évitée.

Or les mottes ne constituent pas un mur, mais plutôt à la fois un parement et un toit, puisqu'on les applique sur un support de roseaux, de sarments et de perches. Dans ce cas, il est possible de plaquer la terre sur ces supports, comme un colombage en bois, un lattis de baguettes de bois entrelacées ou clouées, une structure de vannerie ou de paille tressée [978]. Claude Perrault donne une autre possibilité, quant à la nature de ce *grumus* : du gazon. Cette technique consisterait alors en des blocs de terre découpés avec de la pelouse de prairie comme en Amérique du Nord, puisque la Phrygie est pauvre en forêt [979]. Il pourrait s'agir également de la terre paille, technique qui sera détaillée *infra*. *Grumus maximus e terra* peut donc dénoter soit la « terre empilée », soit le torchis, soit des blocs découpés de terre et de gazon. *Terra* désignerait ici par synecdoque le *lutum* (eau, paille, terre et d'autres éléments : bouse et urine).

3.2.2. *Terra cum paleis subacta* « terre pétrie de paille » 2, 1, 5

Vitruve mentionne en 2, 1, 5, la présence à Marseille, des toitures sans tuiles, faites de paille mélangée à de la terre (*Non minus etiam Massiliae animaduertere possumus sine tegulis subacta cum paleis terra tecta.*).

Vitruve devait avoir vu Marseille, à l'occasion du siège de l'armée de César d'avril à novembre 49 *a. C.* [980]. L'existence dans cette colonie grecque d'habitations en terre est peut-être due à des résidents gaulois : la documentation archéologique vaut surtout pour l'époque médio- et tardo-hellénistique. Un exemple de couvertures en chaume ou en terre est fourni

---

[977] Ginouvès, Martin 1985, p. 49 ; Houben, Guillaud 1995, pp. 164-165.
[978] Houben, Guillaud, 1995, pp. 176, 186-187.
[979] Claude Perrault, *Les dix livres d'architecture de Vitruve*, Paris, 1684, réimprimé, Pierre Mardaga éditeur, Liège, 1988, planche V, p. 33. Houben, Guillaud, 1995, pp. 170-171.
[980] Sur la question de savoir si Vitruve y était vraiment : cf. *Vitruve X*, p. 259 sq. et *Introduction*, p. XXXIV et p. XLV. Sur le siège de Marseille par les troupes de César : Caes. *Civ*. 1, 34-36 ; 56-58 ; 2, 1-16 ; 22 ; Cic. *Phil*. 8, 18-19 ; 13, 32 ; *Att*. 10, 12, 6 ; Strab. 4, 180 ; Liv. *Epit*. 110 ; Vell. Pat. 2, 50, 3 ; Val. Mass. 3 2, 22 ; Lucan. 3, 298-762 ; 4, 245 ; 5, 53 ; *Schol*. 3, 171 ; 301 ; 340 ; 516 ; Plut. *Caes*. 16, 2 ; Suet. *Iul*. 34 ; 68, 4 ; Flor. *Epit*. 2, 13, 23-24 ; Oros. 6, 15, 67 ; Dion Cass. 41, 19 ; 21 ; 25.

par le petit établissement de Martigues [981].

En tout cas, le procédé évoqué par l'architecte peut être une technique de torchis, dite *terre-paille*. Dans cette dernière, la terre sert à lier les brins de paille entre eux. Toutes sortes de pailles conviennent: blé, orge, seigle, froment, escourgeon, mais aussi d'autres fibres comme le foin et la bruyère. La paille est bien cardée; une longueur des brins allant de 15 à 40 cm est la plus adéquate et évite le risque de création de nids propres aux fibres trop longues. Durant la préparation, la terre argileuse est débarrassée des gros granulats ; elle est ensuite dispersée dans l'eau, dans des cuves ou des fûts, à l'aide de crocs ou de manière plus moderne, avec des malaxeurs à hélice jusqu'à obtenir une barbotine, puis elle est remuée à la fourche ; le mélange conserve une allure très paillée. Les dosages classiques sont de 70 kg de paille pour 600 kg de terre pour une masse volumique moyenne de 700 kg/m^3. Cette masse volumique peut varier de 600 kg/m^3 à 1 200 kg/m^3 selon la quantité de terre, la viscosité de la barbotine, le damage du liant dans les coffrages. La terre-paille est utilisée au remplissage d'une ossature de bois, légèrement damée, en parois épaisses de 15 à 30 cm. On n'observe aucun retrait horizontal; un léger retrait vertical peut résulter du tassement du matériau. La préparation et la mise en oeuvre de la terre-paille sont peu sophistiquées et emploient des outils courants. Ce matériau est donc accessible au plus grand nombre. La terre-paille a une grande souplesse de mise en oeuvre, des qualités de durabilité, de résistance aux intempéries et au feu, et d'isolation.

Le procédé permet également la fabrication de toits et de bardeaux. Ainsi, un bardeau est composé d'une couche de paille — visible en toiture — prise en deux couches d'argile dont la deuxième est visible en sous-face. L'argile est préservée de la pluie par la paille qui, elle-même, est protégée du feu par l'argile. L'exécution de ces bardeaux est aisée et économique. Les dimensions varient de 90 cm à 1,20 m en longueur et de 45 cm à 1,50 m en largeur, mais une largeur de 60 cm facilite la mise en œuvre. La masse moyenne de cette couverture épaisse de 20 cm est de 50 kg/m^2 [982].

3.2.3. *Onus terrenum* (1, 5, 7), *terrae congestio* « remblai » (6, 8, 5), *terrenum* « masse de terre » (6, 8, 7)

La terre sur la base d'une construction peut y exercer une pression dont on doit tenir compte. Ayant déjà évoqué en 1, 5, 7 la notion de remblai (*onus terrenum* « masse de terre, remblai »), Vitruve (6, 8, 5) expose les précautions à prendre pour une structure de ce type : « On doit s'inquiéter tout particulièrement des substructions (*substructionum*), parce que la

[981] Cf. J. Chausserie-Laprée, *Le quartier de l'île à Martigues, 6 années de recherches archéologiques*, Martigues, 1984, p. 56 et suivantes ; H. Tréziny, *Imitations, emprunts, détournements : sur quelques problèmes d'architecture et d'urbanisme en Gaule méridionale*, in *Marseille grecque et la Gaule*, Aix en Provence, 1992, pp. 337-349 ; *Vitruvio 1*, *ad. Loc.*, pp. 174-175 ; *Vitruve II*, p. 70, n. 3.

terre amassée là (*terrae congestio*) tend à y causer de multiples dommages. Elle ne peut pas être toujours, en effet, d'un poids égal à celui de l'été, mais, recevant dans la saison d'hiver une grande quantité d'eau venue des pluies, son poids et sa masse augmentent et font éclater et chasser les structures maçonnées (*extrudit structurarum saeptiones*). » [983] Une maçonnerie de soutènement est un mur dont une face est libre, tandis que l'autre reçoit la poussée des terres qu'il est chargé de contenir, réalisant ainsi un changement de niveau de sol. La masse de terre (*terrae congestio*) est un remblai, lequel est un ensemble des matériaux terreux apportés sur un sol naturel afin de le rendre convenable pour la construction [984]. En 6, 8, 7, Vitruve présente une structure de contreforts renforcés par un système de murs intérieurs sur plan en zig-zag, laissant entre eux et le masque des cellules vides. Le remblai que les contreforts contiennent est appelé par l'architecte *terrenum* [985].

4. Conclusion

Terra est un terme courant dans la langue latine et la fréquence de ses occurrences dans le *De architectura* en est la preuve. *Terra* désigne en grande majorité la terre, le sous-sol. Dans un sens géographique, on a *orbis terrarum* « monde entier ». Il y a deux occurrences pour définir la « terre », l'un des quatre éléments, alors que *terrenum* « élément *terre* » en possède un grand nombre (15). Dans un contexte de sciences de la terre, il y a la pouzzolane en tant que *terra exusta* « terre brûlée » et *cinis* « cendre » : celle-ci occupe le haut du classement des matières calcinées, résidus du feu volcanique. Toujours dans ce contexte géologique, *terra* est en liaison avec le champ notionnel de l'hydrologie : *terra* est la terre, où se forment les feux volcaniques, lesquels chauffent les terrains et les eaux souterraines. On y inclut également les sucs de la terre (*terrae sucus*, *terrenus umor*) — concept hérité de la théorie des humeurs — qui apportent avec l'influence du soleil, les propriétés des eaux et des terroirs. En lexie complexe, on trouve *bituminosa terra* « terre bitumineuse » (8, 3, 9), *terra nigra* « terre noire » (8, 1, 2), *terra albida cretosa* « argile kaolinite blanche » (2, 3, 1), et *terra pumicosa* « terre poreuse ayant l'aspect d'une pierre ponce, sépiolite » (2, 3, 4). Les unités complexes désignant les techniques du torchis, ou dérivées du torchis sont *terra subacta cum paleis* « torchis, terre-paille » (2, 1, 5) ; le syntagme *e terra maximi grumi* « énormes mottes de terre » (2, 1, 5) définit un procédé de bauge ou qualifie des blocs découpés. *Terrae congestio* et *terrenum* « remblai » (6, 8, 5) dénotent une masse de terre accolée contre les substructions ou les murs de soutènement. L'adjectif *terrosus* « de terre, terreux » apparaît avec Vitruve sans

[982] Houben, Guillaud, 1995, pp. 184 et 282.
[983] Trad. L. Callebat.
[984] Ginouvès, Martin 1992, pp. 9 et 21. Sur le terme *substructio* « substruction » : Callebat, Fleury 1995, p. 122 ; *Vitruve VI*, p. 241, n. 3.
[985] Sur les contreforts ou *anterides* : Ginouvès, Martin 1992, p. 21 ; *Vitruve VI*, p. 244, n. 1.

doute pour transposer le grec γαίωδης dans un contexte géologique et qualifier le sable volcanique altéré par l'érosion (*harena terrosa* 2, 4, 1 et 3) et les collines terreuses (*montes terrosi* 2, 6, 6), lesquelles s'opposent dans leur nature aux élévations rocheuses (*materia*).

25. Testa - testaceus

1. Etymologie de *testa* et de *testaceus*

Testa (*-ae*, f), « coquille, carapace (de tortue) », a donné par dérivation « toute espèce de vase fait en argile cuite ou terre de potier », ainsi que « tuile, brique », « tesson de tuile ou de poterie », puis à basse époque « crâne, tête ». Le passage du sens de *coquille* à celui de *crâne* a son pendant en grec κόγχος et en germain *Kopf* puisqu'issu de *cuppa*. Outre *testa*, on trouve *testū* (n.) ou *testum*, (*-ī* n.) « couvercle de pot de terre » et « pot en terre ». Les dérivés de *testa* sont peu nombreux : *testula* « fragment de poterie », « lampe d'argile » ; *testeus* (rare et tardif) « d'argile » ; *testāceus* « de terre cuite », *testātim* « en tessons » ; *testicutis* « ayant une écaille en guise de peau » ὀστρακόδερμος (*ostrakódermos*). Dérivé de l'affixe *–eus*, la finale *-āceus* (ou *–c-eus*) de *testāceus* a une valeur sémantique de matière [986].

2. Usage et sens de *testa* et de *testaceus* avant Vitruve

Testa est usité d'abord par Caton (*Agr*. 18, 7) et enfin Isidore de Séville (12, 6, 50-52 ; 12, 6, 55 ; 15, 8, 11 ; 16, 4, 20 ; 16, 4, 25-26 ; 19, 28, 4 ; 20, 4, 4-5). *Testa* a neuf acceptions en y incluant les sens architecturaux : « objet d'argile, pot, vase… » (Properce, Virgile, Horace, Pline le Naturaliste, Martial, Apulée), « éruption rouge de la peau » (Pline l'Ancien), « tesson, fragment de poterie » (Lucilius, Sénèque, Juvénal, Columelle, Tacite), « éclat de dent ou d'os » (Celse, Pline l'Ancien), « partie extérieure d'un coquillage ou d'un escargot » (Varron, Horace, Sénèque, Columelle, Apulée, Martial), « glace, verre » (Ovide, Sénèque).
Testa a trois sens architecturaux :

— « tuile », Cicéron (*Dom*. 61) ;
— « brique », Varron (*Rust*. 2, 3, 6 ; 3, 11, 2) ;
— « poudre de tuileau, poudre d'argile kaolinitique cuite ». Pour le pavement des pressoirs d'huile, Caton (*Agr*. 18, 7) préconise de faire la dernière couche du pavage ainsi : « Répandez dessus de la chaux passée au crible, sur une épaisseur de deux doigts ; faites alors la chape avec des tessons secs ; quand elle sera faite, battez et polissez pour obtenir un bon pavage (*Eo calcem cribro subcretam indito alte digitos duo*;

[986] Ernout, Meillet 1985, *s. v.* terra, pp. 688-689 ; Monteil 1986, pp. 155-156 ; Leumann 1963, p. 206 ; Fruyt 1986, pp. 140-141.

ibi de testa arida pauimentum struito; *ubi structum erit*, *pauito fricatoque*, *uti pauimentum bonum siet*). » [987]

Pour *testaceus*, la plus ancienne mention est celle de Varron (*Rust*. 3, 11, 2) et les dernières occurrences sont chez Isidore de Séville (15, 8, 11). L'adjectif a trois acceptions : « de tuiles, de briques, de tuileaux » (Columelle, Pline l'Ancien, Pline le Jeune), « couleur de brique » (Pline le Naturaliste), « de coquille » (Pline le Naturaliste). Avant Vitruve, Varron (*Rust*. 3, 11, 2) décrit la manière dont doit être fait un *nessotrophion* « lieu pour élever les canards » : « Pour leur séjour, les canards doivent avoir un enclos haut de quinze pieds, comme vous l'avez vu dans la villa de Seius, et fermé par une seule porte. Autour de toute la paroi, à l'intérieur, il y aura un large soubassement, sur lequel seront disposées, le long de la paroi, les niches couvertes ; devant elles, un vestibule, nivelé, avec un revêtement en briques (*Circum totum parietem intrinsecus crepido lata*, *in qua secundum parietem sint tecta cubilia*, *ante ea uestibulum earum exaequatum tectorio opere testaceo*). » [988]

Avant Vitruve, il y a une tradition d'usage de *testa* « brique, tuile cuite », « tuileau » dans les textes littéraires et techniques. Pour *testaceus*, Varron l'utilise dans la lexie complexe *opus testaceum* « mur de briques cuites ».

3. *Testa* et *testaceus* chez Vitruve

Testa « brique, tuile, tuileau, coquille » est usitée dix fois : 2, 5, 1 / 2, 8, 4 / 2, 8, 19 / 5, 10, 3/ 7, 1, 3 / 7, 1, 5 / 7, 4, 1/ 7, 4, 1 / 7, 4, 3 / 7, 13, 3 / 8, 6, 14 [989].
— *testa tunsa* « poudre de tuileaux, tuileau pilée » : 2, 5, 1 /7, 1, 5.

Testaceus « de terre cuite, de briques cuites » se trouve neuf fois : 2, 8, 17 / 2, 8, 18 (bis) / 2, 8, 20 / 7, 1, 4 / 7, 1, 7 / 7, 4, 3 / 7, 4, 5 / 8, 3, 8 [990].
— *lorica testacea* « couverture, protection de briques cuites » : 2, 8, 18.
— *spica testacea* « briquette disposée en épi, en arête de poisson » : 7, 1, 7.
— *structura testacea* « appareil de briques cuites » : 2, 8, 17 / 2, 8, 18.
— *trullissatio testacea* « gobetis au mortier de tuileau » : 7, 4, 3.
— *testaceum pauimentum* « pavement de tuileau » : 7, 1, 4 / 7, 4, 5.
— *later testaceum* « brique cuite » : 8, 3, 8.

---

[987] Trad. R. Goujard.
[988] Trad. C. Guiraud.
[989] Nous ajoutons 8, 6, 14 au nombre des occurrences de *testa*, car nous allons dans le sens de l'analyse de P. Gros sur une nouvelle approche de ce passage où la correction de *testis* en *tectis* par Fra Giocondo, jusqu'ici universellement acceptée, doit être révisée: Gros 2003.

3.1. *Testa* et ses composants (2, 8, 19 ; 8, 6, 14)

3.1.1. *Testa* et les tuiles de récupération (2, 8, 19)

Dans le huitième chapitre du livre II, Vitruve fait un long développement sur les techniques de construction : ce chapitre est en effet le plus long du livre. En 2, 8, 18, pour éviter la ruine d'édifices hors de la ville, lesquels possèdent des murs de briques crues, il recommande que « ceux-ci soient surmontés d'une maçonnerie protectrice de briques cuites (*structura testacea*), d'environ un pied et demi de hauteur et formant une corniche en surplomb. » Au paragraphe suivant, il dépeint la manière dont on doit éprouver la qualité des tuiles de récupération : « Quant à la brique cuite (*testa*) elle-même, personne ne peut juger d'emblée si elle est excellente (*optima*) ou, au contraire, de mauvaise qualité pour la maçonnerie (*uitiosa ad structuram*), car c'est seulement lorsqu'elle a été exposée, sur un toit, aux tempêtes et à la chaleur d'été (*in tempestatibus et aestate*) qu'on peut reconnaître sa solidité (*si est firma, probatur*) ; en effet, si elle n'a pas été faite avec une bonne argile rouge (*creta bona*), ou si elle n'a pas été cuite suffisamment (*parum erit cocta*), elle révélera là sa mauvaise qualité (*se ostendet esse uitiosam*) au contact du givre et du gel (*gelicidiis et pruina tacta*). Celle donc qui ne peut pas résister (*pati laborem*) sur un toit ne peut pas avoir la solidité (*firma*) nécessaire pour supporter la charge (*oneri ferendo*) dans une construction (*in structura*). Ce sont donc essentiellement les murs maçonnés de brique cuite (*testa structi parietes*), faits de vieilles tuiles (*ex ueteribus tegulis*), qui pourront avoir de la solidité (*firmitatem*) ». [991]

La récupération des tuiles est révélatrice du contexte économique et historique de la Rome tardo-républicaine. La spéculation immobilière était telle que les spéculateurs rachetaient à bas prix les ruines des immeubles de rapport et en édifiaient d'autres à leur place à partir des matériaux récupérés [992]. Dans le vocabulaire de ce passage, Vitruve se sert de deux termes, *testa* « tuile, brique » et *tegula* « tuile » et ils se trouvent être ici synonymes. De même, en 5, 10, 2. En 2, 8, 18-19, *tegula* et *testa* « tuile » s'opposent à *later* « adobe » ou plus exactement à *parietes latericii* « murs de briques crues » [993]. Cette synonymie peut aussi s'expliquer par le fait que les tuiles pouvaient être retaillées pour les besoins du chantier au moyen de piques, de hachettes et de ciseaux [994].

---

[990] Callebat, Fleury 1995, pp. 38-39.
[991] Trad. L. Callebat.
[992] Gros 1978, p. 63 sq.
[993] Lugli 1957, pp. 541-542 ; Ginouvès, Martin 1985, p. 40, p. 53, n. 297.
[994] Blake 1947, p. 302. Sur les tuiles romaines : Brodribb 1987, pp. 5-33.

- ***Les bonnes tuiles* (testae) *en bonne argile* (creta bona)*, pour des maçonneries protectrices en briques* (structura testacea) *(2, 8, 19)***

La pratique de la *probatio* « épreuve, test » par exposition aux intempéries est typique de la préparation de la brique crue, dont on doit s'assurer, avant sa mise en oeuvre, qu'elle a séché dans de bonnes conditions. Dans une économie de récupération, cette méthode peut s'appliquer à la terre cuite. Pour A. Boethius, ce passage montre le peu d'expérience de Vitruve concernant le parement de briques cuites, car il semble reprendre l'exposition à l'air, nécessaire durant un certain temps, des pierres extraites des carrières [995]. Nulle part, Vitruve ne mentionne la fabrication des briques cuites et l'ajout d'un élément antiplastique. Leur mode de production ne se différencie guère de celle des adobes. Les syntagmes techniques vitruviens concernent essentiellement la qualité de la tuile, qui doit être constituée d'un bon mélange d'argile rouge, telle la *rubrica* (Vitr. 2, 3, 1). M. E. Blake a remarqué la présence dans la *testa*/*tegula* d'une *harena* volcanique, c'est-à-dire d'un dégraissant minéral résistant à la chaleur. Celui-ci est caractéristique de la région de Rome [996]. Vitruve fait la différence entre les tuiles bonnes et mauvaises de la manière suivante :

Tuile excellente (*testa optima*) pour la récupération

— *testa in tecto conlocata in tempestatibus et aestate* : tuile exposée sur le toit, aux tempêtes et à la chaleur de l'été ;
— *testa ex creta bona esse* : tuile constituée d'un mélange approprié d'argile rouge (*rubrica*) (riche en oxyde de fer) et de dégraissant minéral (volcanique). A l'inverse, la mauvaise tuile peut contenir de l'argile grossière ou être pauvre en oxydes de fer et de dégraissants (calcaire) ;
— *testa passa laborem in tectis* : tuile résistante sur les toits ;
— *testa oneri ferendo esse firma* : tuile possédant de la solidité à la compression (en portant charge).

Tuile mauvaise (*testa uitiosa*) pour la récupération

— *testa parum cocta esse* : tuile peu cuite ;
— *testa uitiosa* (*et*) *gelicidiis et pruina tacta* : tuile défectueuse et atteinte par les gelées et les brumes.

[995] Blake 1947, p. 302.
[996] Blake 1947, p. 301.

Dans tous ces syntagmes, on pourrait substituer *tegula* à *testa* (*tegula ex creta bona esse*, *tegula oneri ferendo esse firma* etc.) et cette commutation ne changerait pas le sens de la phrase de conclusion : *quare maxime ex ueteribus testis tegula structi parietes firmitatem poterunt habere*.

On peut supposer que *creta bona* désigne ainsi un mélange idoine d'une *rubrica* (argile kaolinitique plastique rouge, riche en oxydes de fer), et d'un dégraissant minéral résistant à la chaleur : volcanique [997]. Vitruve ne mentionne pas d'élément antiplastique alors que dans le chapitre troisième du livre II, il signale la présence de paille pour l'adobe. A l'inverse, * *creta uitiosa*, unité complexe que Vitruve n'utilise pas, dénoterait une préparation à base d'argile pauvre en oxydes de fer, comme la *terra albida cretosa* (2, 3, 1) et d'un dégraissant calcaire. Ainsi, le terme *creta* désigne ici, comme *lutum* « torchis » le produit final, c'est-à-dire, le mélange d'argile, d'élément antiplastique minéral et d'eau, qui sera séché à l'air libre avant la cuisson.

Tout ce passage de Vitruve insiste donc bien sur le recyclage commercial de bonnes tuiles. Elles ne sont pas destinées à être utilisées comme agrégats (pouzzolaniques) dans un *opus caementicium* ou un *signinum*. Seule, à la rigueur, la *testa uitiosa* décrite dans ce texte pourrait être une source relativement intéressante de tuileau pour la chaux.

- ***Les différences entre adobe* (later*) et tuile* (testa/tegula*)***

Vitruve (2, 8, 18) écrit que la bonne tuile (*testa*) est faite d'une *creta bona* « une bonne argile ». Même si l'architecte n'en dit rien, le mélange est constitué d'une argile rouge (*rubrica*) et d'un dégraissant volcanique (*harena fossicia*). Si les règles de fabrication de la tuile cuite sont les mêmes que pour l'adobe et le torchis (*lutum*), la seule différence réside dans le dégraissant, qui est minéral (sable volcanique). A Turin, on a trouvé des jarres pleines d'argile, retournées, apparemment pour en drainer l'eau, avant que l'argile ne soit mêlée avec la pouzzolane et le sable [998]. Les éléments antiplastiques minéraux (sable volcanique et siliceux) étaient obtenus en tamisant à maille correcte : on éliminait ainsi les graviers et les impuretés. Si des cailloux calcaires étaient restés dans l'argile, ceux-ci, en se transformant en chaux durant la cuisson, auraient causé la désintégration de la brique. Le sable volcanique (appelé « pouzzolane » par M. E. Blake) est un bon dégraissant pour la terre cuite et on observe qu'il est rouge dans les briques et les tuiles romaines : d'après M. E. Blake, ce fait est à l'origine de la légende qui veut que les anciens et les modernes ajoutent de la terre cuite pilée à la glaise. Or le sable volcanique devient rouge quand il est cuit : d'où l'incertitude de

[997] Blake 1947, pp. 301-303. Le dégraissant peut être aussi siliceux.
[998] Blake 1947, p. 302.

la couleur d'origine de l'*harena fossicia*. Des tuiles récupérées comme briques dans les *rostra augustei* contiennent une « pouzzolane » finement sassée et propre [999].

La présence dans l'argile d'éléments comme le calcium, le magnésium et le fer rend la brique jaune à la cuisson. Ceux-ci vitrifient la céramique plus rapidement et ces briques sont, de ce fait, moins chères à chauffer. Mais celles-ci présentent l'inconvénient d'être moins stables à l'érosion [1000]. A l'inverse, l'argile rouge — possédant moins de carbonate de calcium, mais plus riche en oxyde de fer, ce qui explique la couleur caractéristique de la glaise — est excellente pour les tuiles, car celles-ci résistent davantage aux intempéries. C'est donc la *rubrica* et non la *terra albida cretosa*, qui est l'argile appropriée pour faire des *tegulae*. A ces remarques, on ajoutera aussi les températures et la présence de l'oxyde de fer. Plus la brique sera calcinée à plus haute température (750-800 °C), plus l'oxyde de fer vitrifiera la céramique, moins elle sera poreuse et moins elle sera facile à broyer pour un usage cimentier. L'avantage de la kaolinite est qu'elle devient céramique dès 650 °C : la terre cuite est poreuse et son oxyde de fer ne l'a aucunement vitrifiée. Cet état s'appelle « biscuit » en céramique.

La récupération des tuiles pour en faire des briques est attestée à Rome et à Pompéi, notamment pour une reconstruction rapide de la cité campanienne après le séisme de 62 *a. C.* [1001] Pour les besoins des travaux de chantier, on taille les tuiles. Cela se fait au moyen de pics, ciseaux et de hachettes, et avec des scies à Pompéi. La pièce était cassée ou coupée à la taille appropriée : on trouve ces marques dans les *tegulae* récupérées des *rostra augustei* [1002].

- ***La récupération des tuiles* (testae) *et la spéculation immobilière à l'époque tardo-républicaine***

La récupération de vieilles tuiles, conseillée par Vitruve, est révélatrice du contexte économique de la Rome des dernières décennies de la République. A cette époque, même si la concurrence avec l'*opus caementicium* et l'*opus incertum* est visible, les murs sont en adobes, mais ceux-ci ont peu de valeur commerciale. Vitruve ne semble pas faire confiance aux manufacturiers de briques cuites et se méfie d'une technique récente, qui n'a pas encore fait ses preuves. Toutefois, les tuiles, récupérées pour en faire des briques, constituent un article d'un coût intéressant. De plus, aucune garantie n'existe pour la qualité des briques cuites : la tentation est grande pour un fabricant de ne pas respecter les délais de séchage ou de ne pas cuire suffisamment sa production (*testa parum cocta*). C'est pourquoi, l'apparition de marques

[999] Blake 1947, pp. 295 et 301.
[1000] La présence de carbonate de calcium dans des briques jaunes anglaises (Park Street, St Alban, Londres) a été notée dans une proportion de 8 %, mais on ne sait pas si cette présence est naturelle ou artificielle : Brodribb 1987, pp. 136-138.
[1001] Blake 1947, pp. 295 sq. ; Adam 1995, p. 68.
[1002] Blake 1947, p. 295.

de fabrique sur ces carreaux de céramique, garant d'un label dans la préparation, le séchage et la cuisson, améliore la confiance pour ce procédé nouveau [1003].

La croissance de Rome à la fin de la République a pour conséquence un déficit de terrains à bâtir : l'afflux d'une population souvent démunie a provoqué dans les quartiers populaires un entassement de constructions, sans cesse menacées par les incendies et les écroulements des mauvais bâtiments [1004]. Même dans les quartiers résidentiels, les changements de propriétés dus aux proscriptions syllaniennes ont influé durablement sur le prix des terrains et entraîné des modifications de tout ordre dans l'aspect et la répartition des demeures. On assiste alors à une demande croissante de logements, qui amène une spéculation immobilière au profit de ceux qui achètent les terrains, et de ceux qui ont les matériaux, les entreprises de bâtiment et les liquidités. Il peut arriver qu'un seul homme cumule tout cela. Un exemple fameux est Crassus, homme d'affaire et vainqueur de Spartacus, qui, d'après Plutarque (*Crassus*, 2, 5) vit dans la crise de l'immobilier un marché porteur : « Voyant qu'à Rome les incendies d'immeubles et les écroulements causés par le poids et le nombre des étages étaient un fléau endémique et continuel, Crassus acquit des esclaves architectes et maçons. Lorsqu'il en eut plus de cinq cents, il se mit à acheter les bâtiments incendiés et les maisons voisines que leurs propriétaires, par crainte d'un sinistre possible, lui cédaient à vil prix, de telle sorte que la grande partie de Rome passa en sa possession. » [1005]

Cet état de fait est attesté par Strabon et il s'applique à la première moitié du I^{e} siècle *a. C.* L'âpreté au gain de Crassus, si célèbre à Rome, explique l'importance des moyens mis en œuvre pour ce type d'activité. Strabon décrit les ressources matérielles de la Ville, ressources qui lui permettent de faire face à un tel afflux de population : « Aussi, malgré les dimensions qu'elle a atteintes, la ville peut-elle faire face à tous ses besoins, tant pour son ravitaillement en vivres que pour les fournitures de bois et de pierre requises sans interruption par les effondrements et les incendies, de même que par les ventes et reventes d'immeubles qui se succèdent elles-mêmes sans interruption et qui équivalent en quelque manière à des effondrements volontaires, puisque les nouveaux acquéreurs démolissent les unes après les autres les maisons qu'ils achètent, pour en reconstruire d'autres à leur place. Pour subvenir à ces besoins, donc, Rome dispose des ressources exceptionnelles que mettent à sa discrétion les nombreuses carrières de pierre, les forêts, enfin les cours d'eau utilisés pour les transports, à savoir d'abord l'Aniene, qui vient de la ville latine d'Albe, voisine du territoire des Marses, et va se jeter dans le Tibre en traversant la plaine située au pied de

[1003] Mingazzini 1956-1958, pp. 86-88.
[1004] Gros 1978, pp. 63-65.
[1005] Trad. R. Flacelière et E. Chambry.

celle-ci, puis le Nar et le Ténéas, qui traversent l'Ombrie pour se jeter également dans le Tibre, enfin le Clanis, qui traverse la Tyrrhénie et le canton de Clusium. » [1006]

Cette situation est particulièrement avantageuse pour des propriétaires terriens, dans le Latium et en Etrurie, où les carrières de tuf, de pépérin ou de travertin peuvent être intensément exploitées. Puisque ces possesseurs sont d'ailleurs souvent les mêmes que les spéculateurs immobiliers, on a ici un bon exemple économique de concentration verticale. L'abandon de Rome par Pompée au début de 49 *a. C.* face aux troupes de César, la crainte de nouvelles déprédations, bref, la peur de la guerre civile, tout cela déclenche une chute de la valeur des terrains, et interrompt temporairement la rentrée d'un grand nombre de loyers : l'exode de certains locataires est une manière d'encourager les autres à observer une forme de moratoire imposée par les événements [1007].

3.1.2. Le type d'argile utilisé pour la *testa* de Segni (8, 6, 14)

- ***Rappel de la polémique textuelle concernant 8, 6, 14***

Dans la littérature archéologique, on définit ordinairement l'*opus signinum* comme un mélange de chaux et de tuileau pilé, appelé en italien *cocciopesto* « terre cuite broyée », et utilisé pour l'imperméabilisation des surfaces exposées à l'eau. Cette définition est admise par tous les ouvrages d'architecture et d'archéologie antique. En 1992, l'archéologue italien C. F. Giuliani publie un chapitre sur l'*opus signinum* dans une monographie consacrée à Segni (De Rossi 1992) ; il remet en cause la définition traditionnelle en concluant que l'*opus signinum* est un béton d'une très bonne solidité employé dans la construction des citernes ou des piscines, mais où des *testae* n'entrent pas. Cette conclusion s'appuie sur l'état actuel du texte latin de Vitruve : « Si cependant le terrain est dur ou si les veines sont trop profondes, il faudra alors que les provisions d'eau venues des toits ou d'autres endroits élevés soient recueillies dans des ouvrages maçonnés à la manière de Signia. Or, voici comment on doit procéder pour ces maçonneries de Signia : il faut, tout d'abord, avoir du sable très pur et très rude, puis fragmenter dans la pierre des éclats qui ne pèsent pas plus d'une livre, et faire le mortier en ajoutant la chaux la plus fusante possible dans la proportion de cinq parts de sable pour deux de chaux. Avec des pilons de bois armés de fer, on damera ce mortier dans la tranchée jusqu'au niveau de hauteur prévu. » [1008]

[1006] Trad. François Lasserre.
[1007] Gros 1978, p. 65.
[1008] Vitr. 8, 6, 14 : *Sin autem loca dura erunt aut nimium uenae penitus fuerint, tunc signinis operibus ex tectis aut superioribus locis excipiendae sunt copiae. In signinis autem operibus haec sunt facienda. Vti harena primum purissima asperrimaque paretur, caementum de silice frangatur ne grauius quam librarium, calce quam uehementissima mortario mixta, ita ut quinque partes harenae ad duas respondeant. Eorum fossa ad*

C'est pourquoi, en se basant sur l'état actuel du texte vitruvien 8, 6, 14, C. F. Giuliani propose d'appeler *opus signinum*, la maçonnerie damée décrite dans ce passage et non plus le liant imperméable à base de chaux et de tuileau [1009]. Or cette définition du *signinum* n'est pas satisfaisante : P. Gros suggère de résoudre le problème par l'étude de la tradition codicologique des manuscrits du *De architectura* et par la manière dont Vitruve raisonne dans son traité.

D'abord, en l'état actuel du texte latin, on lit : *tunc signinis operibus ex tectis aut a superioribus locis locis excipiendae sunt copiae* « il faudra que les provisions d'eau venues des toits ou d'autres endroits élevés soient recueillies dans des ouvrages maçonnés à la manière de Signia », mais P. Gros (2003) rappelle que c'est « Fra Giocondo qui, dans son édition fondatrice de 1511, à laquelle nous sommes redevables de tant de corrections palmaires, a cru devoir transformer *testis* en *tectis*, et ajouter un *aut* pour obtenir le texte suivant, de son point de vue plus satisfaisant […]. » Il ajoute : « En d'autres termes la mention des tuileaux (*testae*) qui figurait dans la formule originelle et complétait utilement comme une précision technique le mot *signinum* a disparu pour laisser place à la description redondante des " toits et autres endroits élevés " d'où l'eau est censée ruisseler vers les citernes. Sans parler de la violence codicologique de l'opération, soulignons que la déperdition de sens est notable. » Ainsi si l'on modifie le *tectis* en *testis* et que l'on supprime le *aut* en trop, comme le conseille P. Gros, on a: *tunc signinis operibus ex testis a superioribus locis locis excipiendae sunt copiae* « il faudra que les provisions d'eau venues des endroits élevés soient recueillies dans des ouvrages maçonnés de tuileau à la manière de Signia » ; le sens du passage en est plus satisfaisant.

De plus, le sens d'*opus* chez Vitruve, a un sens plus restrictif que dans la terminologie archéologique: « Vitruve n'envisage pas ici un " appareil ", ou une structure maçonnée, pour la simple raison que le terme *opus* désigne en général dans le *De architectura*, lorsqu'il est accompagné d'un adjectif, un revêtement de terre cuite, de stuc, de menuiserie, ou un système de cloisons de bois, bref un aménagement de superficie, technique ou décoratif, qui de toute façon ne fait que recouvrir ou compléter une construction lourde, un blocage ou un grand appareil. » En outre, notre architecte ne revient pas sur une technique qu'il a eu déjà l'occasion d'expliquer, comme en 7, 1, 3. Enfin, si notre théoricien voulait écrire « voici la manière de construire les maçonneries de Signia », P. Gros fait remarquer qu'il aurait tourné sa phrase autrement : « S'il avait voulu s'exprimer ainsi, il aurait écrit, comme il le fait dans beaucoup d'autres passages prescriptifs qui énoncent directement une procédure : *Opera signina ita* (ou *sic*) *sunt facienda, uti*. Or il écrit: *In signinis autem operibus haec sunt facienda*, ce qui signifie: " dans le cas d'un mortier de *signinum*, voici ce qu'il faut faire… " Autrement dit,

---

libramentum altitudinis, quod est futurum, calcetur uectibus ligneis ferratis. Trad. L. Callebat.

[1009] Sur la *testa* et le *signinum* : Ginouvès, Martin 1985, p. 51, 146 et 148-151; Adam 1995, p. 215 et 253.

il indique quel type de maçonnerie est le mieux adapté pour recevoir ensuite un revêtement d'étanchéité (*opus*) à base de tuileaux (*signinum*). » [1010]

- ***La composition de la* testa *de Signia et des* testae *en général***

Ainsi, on peut désormais inclure le passage de 8, 6, 14, dans le nombre des occurrences de *testa*. Il a déjà été fait mention de la spécificité géologique de la cité de Segni (l'antique Signia). Dans sa conclusion, C. F. Giuliani évoque à peine pourquoi cette citadelle, que nous avons amplement mentionnée avec *Caementum* et *Silex*, a pu perfectionner ou inventer cette technique pour créer des citernes pluviales. D'après Giuliani, la première motivation des habitants fut d'abord le manque de source sur la hauteur de Segni et la seconde est l'utilisation de l'excellent calcaire, qui fournit la chaux locale. Cette conclusion est en partie exacte, mais elle est insuffisante pour tout expliquer.

En effet, l'examen attentif de la géologie de Segni a donné des éléments de réponse sur la question de savoir pourquoi Signia est devenue dès l'Antiquité le site éponyme du revêtement étanche [1011]. Au II^e^ s. *a*. *C*., l'absence de source a conduit la municipalité à recueillir l'eau de pluie dans un bassin de décantation de 21,5 m de diamètre, creusé dans la roche calcaire, et à l'accumuler dans une citerne sise en face du temple de Junon Monéta (l'église San Pietro). Dans la région, les orages d'été sont particulièrement violents et l'on s'aperçoit de toute l'utilité d'un tel dispositif pour une ville fortifiée (Fig. 30) [1012]. Le calcaire compact de Segni fournit une chaux hydraulique et le « tuffo » gris ou noirâtre ne se raye pas aisément au canif. Une analyse de l'argile et du "tuffo" local a été faite par la société cimentière italienne Cementir Spa. L'analyse faite aux rayons X au laboratoire de recherche de Cementir (20 juin 1991) indique que l'argile est une argile kaolinitique de type dickite, avec 10 % oxyde de fer (couleur rouge), alors que le « tuffo » est un matériau constitué d'un mélange de plusieurs zéolithes, phillipsite, analcime, avec 8% à 10% d'alcali (surtout oxyde de potassium K_2O). Le « tuffo », utilisé comme dégraissant dans une brique ou tuile d'argile kaolinitique, est un ensemble de zéolithes dont la réactivité avec la chaux est comparable avec la pouzzolane de Naples [1013]. Signia est donc une ville bénie des dieux de la géologie : elle recèle un calcaire compact — employé vraisemblablement comme chaux hydraulique dans la citerne pluviale près de l'église San Pietro, comme il l'a été montré dans *Saxum* [1014] —,

---

Sur l'opposition entre les partisans du *signinum* comme béton ou enduit imperméable : cf. Gros 2003.
[1010] Gros 2003.
[1011] Observations personnelles lors d'un voyage à Segni en juin 1991 et en août 2006.
[1012] La force de l'orage dans la vallée est impressionnante (fig. 30). Le contraste est saisissant entre la partie ensoleillée de la vallée et le nuage d'orage qui obscurcit le reste de la combe.
[1013] Davidovits 1993.
[1014] Cf. Davidovits 2003.

de l'argile — pour la céramique — et des tufs volcaniques, utilisés comme dégraissant (cf. *infra* pour l'effet du tuileau de Segni avec la chaux).

Dans ce cas, on pourrait supposer que la réputation technique de Segni fût portée par deux méthodes de construction et non une seule : l'*opus signinum* et la maîtrise d'un système hydraulique. En effet, l'édification d'un grand bassin de décantation implique la connaissance des procédés du gros œuvre (*structura caementicia*, *opus signinum*) et d'adduction d'eau : ces deux méthodes devaient être suffisamment connues pour que Vitruve les mentionnât sous la forme d'archétype comme la citerne (8, 6, 14) et la poudre de tuileau (2, 5, 1 et 7, 1, 5). La technique du *signinum* trouve sa mise au point dans le Latium à la même date que l'édification du système hydraulique de Segni, c'est-à-dire au II^e^ s. *a. C.* Ainsi, comme l'explique P. Gros (2003): « Si l'on a pu considérer qu'il s'agissait là d'un traitement de sol imposé par des conditions d'utilisation particulières, on sait aujourd'hui cependant, grâce aux fouilles de *Fregellae*, que le développement de l'*opus signinum* dans l'habitat du Latium dès le début II^e^ s., et peut-être même la fin du III^e^ s. *a. C.*, est une réalité parfaitement attestée: les quartiers résidentiels de cette colonie latine fondée par Rome en 328 avant J.-C, présentent dans leurs phases anciennes un nombre impressionnant de sols de ce type, qui progressivement s'animent de décors géométriques à l'aide de tessères blanches de calcaire. » Comme Signia, Fregellae se situe sur la via Latina mais à l'est de la première. Il faudrait analyser les tuileaux des *signina* de Fregellae, pour déterminer si leurs constituants géologiques proviennent de Signia ou de Fregellae.

D'une manière générale, c'est la kaolinite qu'on retrouve dans les mortiers anciens : c'est ce type d'argile que A. Coutelas trouve dans ses prélèvements des mortiers des thermes du Vieil-Evreux. D. Moore écrit que l'analyse des composants des briques italiennes modernes révèle la présence de kaolinite : d'un point de vue géologique, elle prédomine tout en étant mélangée à d'autres argiles [1015]. Depuis quelques décennies, les recherches de l'industrie cimentière fournissent des comparaisons intéressantes entre les argiles cuites, comme source possible de pouzzolanes artificielles. En comparant la kaolinite, la montmorillonite, la sépiolite, l'illite et la smectite, on s'aperçoit que l'argile kaolinite atteint une température optimale à 650 °C, alors que la montmorillonite et la sépiolite sont bonnes dès 830 °C. Concernant l'illite et la smectite (illite et smectite insterstratifiés), celles-ci gagnent leurs propriétés respectivement à 930 et 960 °C [1016]. Les montmorillonites, les sépiolites et les illites ne sont donc pas de bonnes pouzzolanes artificielles pour la chaux : elles sont moins bonnes, tandis que les argiles illitiques calcinées sont médiocres ou sans

[1015] Moore 1995, pp. 88-92.
[1016] He, Osbaek 1995 ; Coutelas 2003, p. 86.

effet à court terme. Des argiles cuites, seule la kaolinite donne de bons résultats, après calcination entre 650-800 °C.

De plus, on doit considérer les conditions de cuisson dans un four de céramique. Les fours utilisés pour les briques sont identiques à ceux du potier, mais seules les dimensions varient en raison du grand volume de matériaux à traiter au cours de chaque cuite. La partie supérieure du four recevant les briques ou les tuiles (laboratoire) peut être estimée voisine de 800 °C à proximité de la chambre de cuisson et de 550 °C à la sortie supérieure. 450 °C représentent d'ailleurs la limite en deçà de laquelle l'argile ne se solidifie pas et retourne à l'état pâteux en présence d'eau ou pulvérulent à sec [1017]. Cette couche de briques est donc normalement éliminée, car impropre à la construction. Du fait de la variation des températures selon la hauteur du four, la kaolinite, présente partout en Méditerranée, peut, dès 650 °C, constituer une bonne argile pour des objets cuits. Les hautes températures des illites et des montmorillonites, nécessaires pour une bonne réaction chimique avec la chaux, ne font pas d'elles d'idoines pouzzolanes artificielles.

En 1975, M. Frizot constate la grande efficacité chimique de la *testa*, mais ne l'explique pas, quand elle est mêlée à la chaux pour la confection du mortier; on précisera que la réaction chimique, de type pouzzolanique, s'effectue facilement parce que la *testa* est fabriquée avec une argile kaolinitique, ce qui est une caractéristique géologique de l'Italie. De plus, M. Frizot ne dispose pas des modèles chimiques et des moyens sophistiqués d'analyse qui entreront en service quelques années plus tard. Malgré cela, il conclut avec raison : « Les argiles cuites à une température assez basse sont les meilleures [...], alors qu'une argile qui aurait subi un début de vitrification serait inefficace dans cette réaction: l'intérêt du tuileau antique provient essentiellement de la médiocrité de sa fabrication et de sa cuisson; des céramiques sigillées bien cuites ne donneraient certainement pas satisfaction dans un mortier. » [1018] La référence à des « argiles cuites à une température assez basse » désigne indéniablement les kaolinites, lesquelles ont ces propriétés décrites dans la littérature de l'industrie cimentière.

[1017] Adam 1995, p. 66.
[1018] Frizot 1975, p. 316.

3.2. *Testa* et le chantier (2, 5, 1 ; 7, 1, 3 et 5)

3.2.1. *Testa tunsa* : la granulométrie d'une *harena* et le ratio avec la chaux (2, 5, 1 ; 7, 1, 3 et 5)

A l'instar d'*harena* et de *caementum*, l'application de la courbe de Sötenich aux notices (2, 5, 1 ; 7, 1, 3 ; 7, 1, 5) permet d'avoir des estimations quantitatives sur les proportions des matériaux qu'indique Vitruve. Ce sont des approximations, même si l'utilisation d'un standard du II^e^ siècle *p. C.* sur les recettes vitruviennes peut paraître anachronique.

- **Testa tunsa et succreta « *poudre de tuileau broyé et tamisé* » (2, 5, 1)**

En 2, 5, 1, Vitruve donne les proportions générales de la *materia* « mortier, ciment, liant » : « […] Si le sable est de rivière ou de mer, on mélangera deux parts de sable à une de chaux (*si autem fluuiatica aut marina, duo harenae, una calcis coiciatur*). […] Si, comme troisième part, on ajoute au sable de rivière ou de mer des tuileaux broyés et tamisés, on obtiendra par ce dosage un mortier de meilleur usage (*Etiam in fluuiatica aut marina si qui testam tunsam et succretam ex tertia parte adiecerit, efficiet materiae temperaturam ad usum meliorem*). » [1019] Le mortier est corroyé selon la *ratio mixtionis temperaturae* « règle du mélange » (cf. *materia*). Vitruve donne ici la recette de l'*opus signinum* dont le ratio est de deux parts de sable ordinaire et d'une de *testa* pour une part de chaux.

En analysant la notice vitruvienne, on peut dégager aisément le mode opératoire de la poudre de tuileau. Pour broyer, on recourt à des pilons (*uectis*, *pilum ferreum*). Enfin, on passe au crible le matériau fragmenté : cette méthode est mentionnée par Caton, lequel se servait de *cernere* « tamiser » et de *cribrum* « tamis » : *Agr*. 18, 7, *Eo calcem cribro subcretam indito* « répandez dessus de la chaux passée au crible » et 48, 2 *eo terram cribro incernito* « sassez de la terre avec un tamis ».

Outils
— *mortarium* : mortier
— *pilum ferreum*, *uectis* : pilon ferré (ou non)
— tamis, crible, sas (*cribrum*, *cribellum*) [1020]

Matériau

[1019] Trad. L. Callebat.
[1020] Les mots latins entre parenthèses ne se trouvent pas dans le *De architectura*.

— *testa* : tuile, brique, faite d'argile kaolinitique cuite à 650 °C

Ordre des opérations :
— *testam tundere* « broyer la *testa* »
— *testam succernere* « sasser le tuileau »

Tel est donc l'ordre de la chaîne opératoire, qu'on peut déduire du modeste texte vitruvien. Le sassage du tuileau à travers une série de tamis permet d'obtenir un sable de taille normalisée, c'est-à-dire d'une grosseur inférieure à la maille du crible.

Quelle est la *dimension* des grains de *testa* et de l'*harena* ?

Vitruve n'apporte aucune indication granulométrique en 2, 5, 1 pour le sable (*harena*) ou le tuileau (*testa*). Pour être théoriquement utilisable, la poudre de tuileau a une taille équivalente à une *harena*. Dans *harena* et *Materia*, il a été déterminé avec le graphique de Sötenich le ratio massique et volumique du liant : 2 l de sable ordinaire (3kg) + 1 de *testa* (1,5 kg) / 1 l (1,3 kg) de chaux. Pour la commodité de la démonstration, on a adopté la règle qui veut que la dimension maximale d'une charge ne doive pas dépasser 10 % de l'épaisseur d'une maçonnerie (enduit, mur), si l'on souhaite que celle-ci dispose d'une bonne résistance mécanique. On rappellera qu'en deçà de 0,25 mm, on a le *sabulo* et le *puluis* et qu'au-delà de 2 mm, on a affaire à du *caementum* « moellon ».

C'est ainsi qu'en connaissant la densité d'un matériau (le sable tamisé) et le graphique de Sötenich, que l'on peut comparer à un « abaque » de l'industrie cimentière — lequel est une courbe de référence servant à déterminer les dosages des matériaux —, on peut en déduire la quantité et la granulométrie dans les proportions d'agrégats des mortiers de 2, 5, 1. Ces résultats sont, certes, approximatifs, mais ils sont suffisants pour se faire une idée du contingent de granulats à mélanger avec la chaux. Il reste à appliquer cette méthode de calcul à d'autres notices vitruviennes.

- **Nucleus ex testa « *forme de tuileau* » *et* pauimentum testaceum « sol d'*opus signinum* » *(7, 1, 3 ; 7, 4, 5)***

En 7, 1, 3, notre auteur donne la recette du *nucleus* « forme », lequel est un revêtement de tuileau recevant un pavement de circulation : « On étend une forme au tuileau dont le mélange comportera pour trois parties de tuileau une partie de chaux, l'épaisseur de cette couche ne devant pas être inférieure à six doigts (*Insuper ex testa nucleus inducatur mixtionem*

habens ad tres partes unam calcis, ne minore crassitudine [*pauimentum*] *digitorum senum*). » [1021] Sur les sols ordinaires, le *nucleus* protège contre les infiltrations des eaux de lavage et son rôle d'étanchéité est accentué sur les terrasses ou dans les lieux humides. *Nucleus* « noyau » acquiert ici un sens nouveau et métaphorique, car il désigne la couche la plus dure du pavement en raison de sa composition et de sa fonction de support de la surface de circulation [1022].

A la différence de la recette de 2, 5, 1, celle de 7, 1, 3 présente un vrai béton de tuileau dont tous les agrégats (réactifs pouzzolaniques et charges) sont constitués de cet additif. La *testa* broyée, composant le *nucleus* est ainsi un mélange granulométriquement hétérogène de « sable » (*testa tunsa et succreta*), de « gravier » et peut-être d'éléments plus gros, de quelques centimètres. Le ratio du mortier du *nucleus* est identique à celui du *rudus* (3/1) décrit dans le même passage. Dans le syntagme verbal (*nucleus*) *mixtionem habens ad tres partes unam calcis* « (*nucleus*) ayant une proportion d'une partie de chaux pour trois parties (de *testa*) » l'apposition de *unam* à *mixtionem* est habituelle chez Vitruve [1023]. Puis dans le syntagme *ne minore crassitudine* [*pauimentum*] *digitorum senum* « l'épaisseur de cette couche ne devant pas être inférieure à six doigts (11 cm) », on trouve une indication numérique. En additionnant les épaisseurs du *statumen* (en supposant 10-12 cm), du *rudus* (22 cm), et du *nucleus* (11 cm), on obtiendrait 45 cm pour le pavement lui-même. De plus, l'ensemble (solives, plancher, assise et pavage) peut être épais d'à peu près 60 cm, ce qui suppose des murs porteurs et des solives résistants [1024]. Mais là n'est pas le plus important: la donnée la plus pertinente est l'indication d'épaisseur minimum du *nucleus*, qui est de six doigts, soit onze centimètres environ.

En prenant la règle stipulant que la charge granulométriquement la plus grosse est de 10 % de l'épaisseur de la maçonnerie, on peut donc en déduire que la taille de la *testa* la plus volumineuse est de 1,1 cm (plus ou moins). En se référant à la courbe granulométrique de Sötenich, on peut inférer aussi bien la taille des granulats que leurs proportions en poids à ajouter dans le *nucleus*. Ainsi, 11 mm correspondent approximativement à une dimension de grain de plus ou moins 16 mm sur le graphique. Celle-ci coïncide à la moitié en quantité des agrégats de l'« abaque » : 50 % des granulats passant par le tamis sont inférieurs à 16 mm.

Puisque 16 mm sont la taille relative maximum des agrégats du *nucleus*, il suffit de cribler des matériaux et d'éliminer ce qui est au-dessus (le *refus*). Pour obtenir le contingent idoine de *testae* (100 %) pour le *nucleus*, on multiplie par deux les quantités de la courbe de

---

[1021] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[1022] Callebat, Fleury 1995, p. 189.
[1023] Cf. Ferri 1960, p. 25.
[1024] Cf. J. Alarcaõ et R. Etienne, *Fouilles de Conimbriga*, I, Paris, 1977, p. 32 ; Adam 1995, p. 215, et fig. 468-470. Le doigt représente 1/16e du pied ou 1/24e du *cubitus* (ou *ulna*), soit 1,85 cm : A. Segre, *Metrologia e circolazione monetaria degli Antichi*, Bologne, 1928, pp. 140-141; *Vitruve VII*, p. 94, n. 9.

Sötenich: 10 % de dimension inférieure à 0,25 mm, deviennent 20 %, de 20 % entre 0,25 et 2 mm, on obtient 40 %, etc.

Voici la proportion en poids des granulats de *testae* pour le *nucleus*:

— 20 % ont une dimension inférieure à 0,25 mm;

— 40 % entre 0,25 et 2 mm;

— 20 % entre 2 et 8 mm;

— 20 % entre 8 et 16 mm.

Soit en tout : 60 % de tuileaux de la taille d'une *harena* et 40 % de *caementa* de tuileaux.

La part des *testae* qui réagiront avec la chaux appartiendra aux 20 % de dimension inférieure à 0,25 mm. En effet, à de telles dimensions, on sait depuis longtemps que les tuileaux de diamètre inférieur à 75 μm peuvent agir telles des pouzzolanes réactives, jouant sur la rapidité de la prise et augmentant la durabilité du liant [1025]. Même avec leur procédé de broyage rudimentaire, les spécialistes romains pouvaient atteindre une telle taille de grain.

Il reste à calculer la quantité de *testa* nécessaire pour la forme de tuileau, selon les méthodes déjà utilisées (cf. *Caementum*, *Harena*, *Materia*). Pour les commodités du calcul, on reprend la densité moyenne de 1,5 pour tous les agrégats, densité que nous emploierons aussi pour les autres références vitruviennes. Notre architecte indique la proportion de « sable », c'est-à-dire trois volumes de tuileau: trois volumes (ou litres) multipliés par 1,5 de densité font 4,5 kg. Les 60 % de « sable » sont ainsi équivalents à 4,5 kg de tuileau tamisé. Le rapport 4,5/0,6 donne 100 % des granulats de tuileau du *nucleus*, soit 7,5 kg. Ainsi, par simple soustraction, les 40 % de « moellon » correspondent à 3 kg.

Or on doit tenir compte de deux facteurs. D'abord, Vitruve donne un ratio sable/chaux (3/1), mais celui-ci n'est valable que pour la taille du sable (≤ 2 mm), ensuite, les pourcentages en poids de « sable » (60 %) et de « moellon » (40 %) ne sont pas équivalents (comme en 2, 5, 1). Pour trouver le ratio moellon/chaux, on divise la masse des moellons (3 kg) par la densité (1,5): il faut 2 l de « moellon » contre 3 l de « sable ».

Pour faire la forme de tuileau (*nucleus*) d'une épaisseur d'au moins de six doigts (11 cm), Vitruve a besoin de:

— 60 % de tuileau (≤ 2 mm): 4,5 kg en poids et 3 l en volume;

— 40 % de *testa* (> 2 mm): 3 kg et 2 l.

La quantité de chaux totale est de 1,3 kg pour un litre de chaux, car la proportion des *caementa* de tuileaux est calculée en fonction du ratio « sable »/chaux, indiqué par Vitruve.

En 7, 4, 5, notre architecte expose un procédé d'un sol de circulation « fait d'un mortier composite de sablon, de chaux et de cendres sur une épaisseur d'un demi-pied

[1025] Cf. Teutonico, Ashball 2000.

(*inducitur e sabulone et calce et fauilla mixta materies crassitudine semipedali*) » [1026] pour des salles à manger d'hiver. Il écrit : « En dessous de ce sol, réglé et nivelé, on pose un béton (*aut rudus*) ou un pavement d'*opus signinum* (*aut testaceum pauimentum*) dont la pente débouche sur un drain (*ut in canali habeat nares*). » Vitruve indique que l'on a creusé sur *circiter pedum binum* 59,2 cm environ (correspondant à la dimension d'une brique *bipedales*) et que l'épaisseur de sol noir est de *semipedali* soit 14,8 cm. Dans ce cas, le *pauimentum testaceum* est épais de 44,4 cm. Il s'agit ici d'un *opus signinum*, non ce qu'on appelle dans la nomenclature archéologique un *opus figlinum* ou un *opus testaceum*, pour un sol de circulation [1027].

Il reste à appliquer la méthode. Si le *pauimentum testaceum* est épais de 44,4 cm, alors, le plus gros agrégat de tuileau aura une dimension de 4,44 cm. Sur la courbe de l'« abaque », on peut postuler une grandeur équivalente de 4,725 cm (environ). Dans ce cas, la répartition massique des grains de *testa* est :

— 11,764 % ont une dimension inférieure à 0,25 mm,
— 23,529 % entre 0,25 et 2 mm,
— 11,764 % entre 2 et 8 mm,
— 11,764 % entre 8 et 16 mm,
— 23,529 % entre 16 et 31,5 mm,
— 17,647 % entre 31,5 et 47,25 mm.

Le « sable » constitue alors 35,29 %, tandis que le « moellon » est de 64,7 %. Notre architecte n'indique pas le ratio sable/chaux, mais on peut supposer une proportion de 3/1, comme pour le *nucleus*. Ainsi, les 35,29 % de « sable de tuileau » pèsent 4,5 kg, alors que le reste des « moellons » a une masse de 8,25 kg. Les maçons travaillant pour un architecte comme Vitruve se servent d'un volume de 5,5 l de « moellons ». Bien entendu, ces calculs sont théoriques et leurs valeurs sont essentiellement indicatives, car notre auteur ne fournit ni le ratio sable/chaux et ni la présence d'agrégat autre que la *testa*.

- ***Le* rudus nouus *et son pourcentage de tuileau (7, 1, 5)***

En 7, 1, 5, Vitruve expose la fabrication de terrasses extérieures. Celles-ci reposent sur un double plancher transversal, sur lequel on applique un *rudus nouum* composé d'un tiers de *testa*, que nous appellerons *rudus testaceum* par commodité. Vitruve décrit ainsi la confection du *rudus* : « […] à de l'agrégat frais on mêle un tiers de tuileau pilé, et la proportion de chaux pour les mélanges qu'on fera dans l'auge à mortier sera de deux pour cinq (*deinde ruderi nouo tertia pars testae tunsae admisceatur, calcisque duae partes ad quinque*

[1026] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[1027] Ginouvès, Martin 1985, pp. 151-152.

mortarii mixtionibus praestent responsum). » [1028] Puis au paragraphe suivant (7, 1, 6), le *rudus* est étendu sur un hérisson (*statumen*) et le tout bien damé a une épaisseur d'au moins un pied (*Statuminatione facta, rudus inducatur, idque pistum absolutum ne minus pede sit crassum*).

Ce béton est une version plus massive de la recette d'*opus signinum* (2, 5, 1), car on retrouve le fait d'ajouter un tiers de *testa* à l'agrégat. La proportion du *rudus* serait alors de 2 volumes et d'un de *testa*. Mais la tâche se complique quand Vitruve précise le ratio du *rudus testaceum* : 5 volumes de *rudus*, contenant 1/3 de *testa* pour 2 volumes de chaux sur l'aire de mélange. La *ratio mixtionis temperaturae*, « règle de proportion du mélange », que Vitruve avait présentée comme simple, apparaît difficile à mettre en oeuvre: 1,66 l. (5/3) de *testa* pour 3,33 l. de *rudus* sont difficilement quantifiables pour le maçon. Pour résoudre le problème, il faut recourir au dénominateur commun qui est un tiers (5/3 x 3 = 5). 5 volumes de *testa* et 10 volumes d'agrégats font l'ensemble du *rudus* et il faut 6 volumes de chaux. En théorie, Vitruve a raison de mettre un ratio de 5/2, mais en pratique, celui-ci est de 15/6. Comme il a été vu *supra*, le ratio est seulement valable pour le « sable ».

Il reste à calculer la quantité et le volume de granulats dans le *rudus testaceum*. En 7, 1, 6, le *statumen* et le *rudus* font ensemble au moins un pied (0,296 m) d'épaisseur. En supputant un *statumen* de 8 à 10 cm de haut, comme celui qu'on a trouvé dans la pièce I du grand édifice en *opus quadratum* de la terrasse supérieure à Bolsena [1029], le *rudus* peut être épais de 19 à 20 cm.

En prenant une dimension relative maximale de 23,75 mm sur la courbe de Sötenich, on a un pourcentage d'agrégats (tuileau et granulat) en poids pour le *rudus testaceum*:

— 16,666 % ont une grandeur inférieure à 0,25 mm;
— 33,333 % entre 0,25 et 2 mm;
— 16,666 % entre 2 et 8 mm;
— 16,666 % entre 8 et 16 mm;
— 16,666 % entre 16 et 23,75 mm (à peu près).

Il y a donc en poids 50 % de « sable » (tuileau et granulat ≤ 2 mm) et 50 % de « moellon » (entre 2 mm et 23,75 mm). Nous partons du principe que le tiers de *testa* ne se trouve que dans la fraction sableuse, bien que nous puissions l'appliquer à la fraction « moellon ». Selon la méthode de calcul, on obtient :

1) « Sable » (15 l ; 22,5 kg)
— *testa* : 5 l pèsent 7,5 kg ;
— sable : 10 l pèsent 15 kg ;

[1028] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.
[1029] Balland, Barbet 1971, p. 94.

2) « Moellon » (15 l ; 22,5 kg)
3) Chaux (6 l ; 7,8 kg)

On peut ainsi établir le mode opératoire du « rudus testaceum » :

a. pâte de chaux pour 6 volumes : 7,8 kg ;
b. broyage et tamisage de 10 volumes pour obtenir le sable (≤ 2 mm) : 15 kg;
c. broyage et tamisage de 5 volumes de *testa* (≤ 2 mm) : 7,5 kg;
d. concassage et dosage des moellons (entre 2 mm et 23,75 mm) : 15 volumes et 22,5 kg ;
e. *deinde ruderi nouo tertia pars testae tunsae admisceatur* « mélanger à sec 5 parts de *testa* à 10 parts d'agrégat frais »;
f. *calcisque duae partes ad quinque mortarii mixtionibus praestent responsum* « ajouter la chaux (et l'eau) dans la proportion de 15 parts d'agrégats pour 6 de chaux ».
g. appliquer le béton (19-20 cm), sur le hérisson (8-10 cm).

Le ratio vitruvien (5/2) est difficile à mettre en oeuvre du fait du tiers de *testa*. Il faut donc recourir au dénominateur commun pour obtenir un ratio applicable pour le maçon. De fait, le doublement de la proportion de chaux et la présence de *testa* permettent de faire un béton résistant aux intempéries, qui a dans l'absolu un ratio identique au *rudus rediuiuum* (7, 1, 3).

Lorsque Vitruve se donne la peine de mettre une information concernant le poids ou la dimension des agrégats, il est possible de tirer quelques renseignements exploitables de ses prescriptions. C'est ainsi qu'en appliquant une densité moyenne de 1,5 à de la *testa* tamisée et en se servant du graphique de l'« abaque », on peut connaître la quantité massique et la granulométrie des charges. Les ratios granulats/chaux, indiqués dans les livres II et VII, sont sauf indication contraire, de 2/1 et 3/1. Dès que la maçonnerie dépasse les 20 cm, le *caementum* domine dans la répartition massique par rapport à l'*harena*.

- ***Quelques formules chimiques : les réactions de la chaux avec la* testa *de Segni* (8, 6, 14)**

L'extraordinaire réactivité de la *testa* avec la chaux est un fait notoire depuis longtemps pour les architectes et les archéologues, mais on ignorait encore il n'y a pas si longtemps les mécanismes chimiques de cette réaction. Tout au plus, savait-on le rôle important de l'argile kaolinite cuite à 650 °C dans cette réaction. Depuis quelques décennies, les études d'ingénierie civile et aussi l'apport de la résonance magnétique nucléaire (RMN) apportent des éléments de réponse. La RMN n'était pas encore accessible à un archéomètre

comme M. Frizot en 1975, mais elle l'était pour nos analyses des mortiers romains dans le cadre du GEOCISTEM (1995-1997). Ces récentes avancées sur l'*opus signinum* ne sont pas encore suffisamment connues des archéologues et des archéomètres, spécialistes de l'architecture antique. Ces nouvelles connaissances confirment en tout point les données vitruviennes sur Segni.

On sait que des argiles calcinées, seule l'argile kaolinitique donne de bons résultats, après calcination entre 650-800°C. Des études ont été faites dans les laboratoires de recherches pour créer à bon marché des ciments pouzzolaniques dans les pays du tiers-monde à fort ensoleillement, disposant de matières argileuses. Elles reproduisent les liants romains, avec les mêmes composants (chaux/argile kaolinitique cuite) [1030] : ainsi l'étude entreprise à l'INSA de Lyon, Laboratoire de Chimie Physique, par l'équipe de M. Murat (1981-1984) [1031]. Cette équipe donna la confirmation que, parmi les argiles, seules les kaolinitiques, après calcination à 700-800°C, ont un rendement optimal, les argiles illitiques étant pratiquement inefficaces. Les meilleures résistances des mortiers furent obtenues pour des mélanges dans lesquels le ratio argile calcinée / chaux était supérieur à 1. Par exemple, la résistance à la compression durant 28 jours d'un mélange contenant 1 partie d'argile calcinée (*testa*) et 1 partie de chaux est de 10 MPa. Pour 2 parties d'argile calcinée (*testa*) et 1 partie de chaux, la résistance à la compression est de 14,5 MPa. Avec un ratio de 2/1, on retrouve les proportions que M. Frizot avait découvertes avec des ratios moyens (chaux/agrégat) de 2/1 à 3/1 des textes anciens, mais ces ratios n'ont pas la régularité qu'on espère dans les échantillons analysés où les ratios peuvent être inférieurs ou supérieurs à cette marge de 2/1 à 3/1.

Au contact avec la chaux, la *testa* (kaolinite cuite) donne la réaction:

Al_2O_3, 2 SiO_2 (*testa* = argile cuite) + 3 $Ca(OH)_2$ (chaux) + 6 H_2O (eau)
=> 2 $CaO.Al_2O_3.SiO_2.8H_2O$ (gehlénite hydratée = silicate de calcium) + $CaO.SiO_2$. H_2O (tobermorite)

Cette formule confirme que la *testa*, comme céramique pure sans dégraissant quelconque, est déjà une bonne pouzzolane artificielle. Si l'on ajoute à l'argile kaolinitique un dégraissant d'origine volcanique, comme celui que M. E. Blake a décrit, nous avons de meilleurs résultats [1032]. Ainsi, théoriquement, une *testa signina*, préparée d'abord avec les

[1030] En général, on a pu constater que ces mortiers chaux/*testa* atteignent au bout d'un an une résistance de 400-500 bars, ce qui est équivalent aux valeurs du ciment Portland.
[1031] Murat, Bacchiorrini (n°105) ; Murat 1983, pp. 82-85.
[1032] Blake 1947, pp. 295 et 301. En fait, on obtient des réactions de type géopolymérique. A la différence de la simple action pouzzolanique sur la chaux, la présence d'alcali dans le milieu réactionnel transforme le résultat de la réaction chimique : c'est la réaction géopolymérique, dont les produits sont des corps silico-alumineux ayant une structure proche des feldspathoïdes et zéolithes naturelles. Je

matériaux extraits de Segni, (argile + dégraissant volcanique) et ensuite cuite à 700°C-800°C, réagit avec la chaux de la façon suivante, en deux phases:

1) alcalination: échange chaux-alcali en présence d'eau

$K_2O.Al_2O_3.4SiO_2.4H_2O$ (phillipsite = dégraissant) + $2Ca(OH)_2$ (chaux) + nH_2O (eau de délayage)

=> $K_2O.3SiO_2.3H_2O$ (silicate de potasse) + $2CaO.Al_2O_3.SiO_2.2H_2O$ (gehlénite hydratée) + nH_2O (eau de délayage)

2) géopolymérisation [1033] : réaction du silicate de potassium avec l'argile kaolinitique calcinée:

$2[Al_2O_3,2SiO_2]$ (*testa*) + $K_2O.3SiO_2.3H_2O$ (silicate de potasse) + $Ca(OH)_2$ (chaux) + nH_2O (eau)

=> $K_2O,CaO)[2(Al_2O_3).7(SiO_2).5H_2O]$ (feldspathoïde hydratée) + nH_2O (eau de délayage)

L'ajout du dégraissant volcanique de Segni dans l'argile améliore et accélère le durcissement du mortier, et les résistances à la compression durant 28 jours peuvent atteindre 20 à 30 Mpa, ce qui est le double des résultats obtenues avec une *testa*, comme argile pure. Avec ces résultats étonnants, on peut comprendre pourquoi Signia est la référence des revêtements imperméables. Toutes ces formules ne sont pas assez connues des archéomètres et expliquent que ceux-ci ne retrouvent pas exactement la même chose. En effet, Vitruve donne des proportions précises de *testa* au début de la chaîne opératoire du mortier. Quelques millénaires plus tard, les archéomètres prélèvent les mortiers et bétons de tuileau et analysent le contingent restant de tuileau, celui qui n'a pas réagi avec la chaux et ils ne retrouvent pas dans leurs analyses la quantité de *testa*, qui s'est liée avec la chaux. Une meilleure connaissance de ces formules chimiques permettrait de retrouver la part exacte originelle de réactifs pouzzolaniques, laquelle est incluse dans la proportion donnée par notre architecte.

3.2.2. Catalogue de l'emploi du tuileau dans les enduits étanches (*testacea trullisatio*) (5, 10 , 3 ; 7, 4, 1 ; 7, 4, 3)

---

remercie mon père pour m'avoir communiqué les données théoriques sur une *testa signina* « tuileau de Signia ».

[1033] Sur la chimie de l'*opus signinum* et les éléments qu'apporte l'argile kaolinitique: Davidovits, Davidovits 1999 a.

Vitruve énumère dans le quatrième chapitre du livre VII, une liste de revêtements imperméables (enduits et pavements). Déjà en 5, 10, 3, il avait mentionné un enduit de tuileau couvrant l'intrados d'une voûte de bains, et cet enduit était recouvert d'un autre plus ordinaire (stuc ou chaux) (*inferior autem pars, quae ad pauimentum spectat, primum testa cum calce trullizetur, deinde opere albario siue tectorio poliatur*). Mais à la différence des notices techniques évoquées *supra* sur les maçonneries de *testa* pour en tirer des informations, les autres recettes sont seulement descriptives. Vitruve n'a pas envie de revenir sur des techniques qu'il a développées ou a cru développer dans des passages précédents ou qu'il dépeindra quelques livres plus loin.

En 7, 4, 1, Vitruve expose la manière dont on exécute les revêtements dans les lieux humides : « Pour les pièces qui sont au rez-de-chaussée, dans le bas des murs, au-dessus du pavement, sur une hauteur de trois pieds environ, on emploiera pour le gobetage et les couches dressées un mortier de tuileau au lieu de mortier de sable, afin que cette partie des enduits ne soit pas gâtée par l'humidité (*Et primum conclauibus, quae plano pede fuerint, in imo pauimento alte circiter pedibus tribus pro harenato testa trullissetur et dirigatur, uti eae partes tectoriorum ab umore ne uitientur*). […] Cela fait, ce mur recevra, au mortier de tuileau, le gobetis et les crépis dressés; après quoi l'on passera les couches de finition (*His perfectis paries testa trullissetur et dirigatur et tunc tectorio poliatur*). » [1034] Comme pour les enduits ordinaires, ceux de tuileaux sont composés d'un gobetis (*testa trullissetur*) et d'une ou de plusieurs couches dressées et réglées (*et dirigatur*). Le gobetis de *testa* est appelé en 7, 4, 3, *trullissatio testacea*. Si l'on suppose que la taille du tuileau correspond à celle d'une *harena* standard (jusqu'à 2 mm) chez Vitruve, avec un ratio 3/1, on retrouve les pourcentages massiques et les volumes des agrégats du *nucleus* de 7, 1, 3 ou du *signinum* de 2, 5, 1. Si le ratio est de 2/1, on a les volumes *harena fluuiatica*/*calx* de 2, 5, 1. Evidemment, une granulométrie de 2 mm constitue ici une approximation théorique, puisque la taille maximale de l'agrégat dépend de l'épaisseur mesurée de la couche d'enduit.

[1034] Trad. B. Liou et M. Zuinghedau.

3.2.3. Discussions : d'où vient la *testa* qu'on met dans la chaux et pourquoi la technique du tuileau ne s'est-elle pas universellement répandue ?

- ***D'où vient la* testa *qu'on met dans la chaux ?***

Dans une discussion sur la nature du tuileau (ou terre cuite architecturale pilée) qu'on trouve dans la chaux, A. Coutelas mentionne la diversité de provenance des agrégats de tuileaux qu'il a trouvés dans ses analyses : « 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. » [1035] A. Coutelas a raison d'insister sur la récupération des tuileaux, pour l'immense majorité des maçonneries de tout venant. On doit se rappeler que les maçonneries concrètes qui sont parvenues jusqu'à nous étaient soignées par leurs constructeurs. J.-P Adam indique ainsi : « On ne saurait parler des constructions médiocres innombrables, puisque celles qui étaient demeurées à l'air libre ont disparu en raison même de leur vulnérabilité. » [1036] Il faut aussi rappeler la diversité des entrepreneurs en Gaule ou en Italie utilisant le tuileau : il y a des chantiers pour construire des habitations privées (plus ou moins luxueuses comme la présence de thermes privées), des infrastructures publiques (théâtres, aqueducs, thermes, arènes…). Ces entrepreneurs ont un budget de construction adaptés à leurs besoins d'où l'immense diversité de la qualité de construction qu'on retrouve sur les sites. La récupération des tuiles ou des briques dans d'autres constructions afin de les réutiliser a déjà été traité par Vitruve (2, 8, 19). Ce recyclage des matériaux, particulièrement la récupération et le broyage de briques et de tuiles comme granulats pour le mortier et le béton, semble une règle courante pour les entrepreneurs antiques. Elle serait généralisable aussi dans certaines proportions aux ouvrages d'urbanisme ou de prestige, mais les artisans y utilisent les bétons et les mortiers spéciaux, qui sont l'affaire de spécialistes et de maîtres d'œuvre qui n'ont pas peur de la dépense (*impensa*).

L'interprétation des auteurs antiques comme sources techniques par les historiens a déjà été évoqué par P. Gros (2003). Pour la *testa* concassée, Vitruve, Pline et Palladius indiquent un principe général, et expliquent à leur lecteur le procédé de l'*opus signinum* lequel se caractérise par l'apport d'une céramique spéciale apportant ses propriétés à la

[1035] Coutelas 2003, p. 427 sq.
[1036] Adam 1995, p. 77.

chaux. Ces auteurs, surtout Vitruve, ne décrivent pas de la maçonnerie destinée à s'écrouler du jour au lendemain, mais ont le souci d'expliquer à leurs lecteurs comment le travail se fait. Evidemment, les *structores* « maçons » et les *domini* « maîtres d'œuvre » sur leur chantier faisaient ce qu'ils pouvaient selon leur budget et leurs besoins. C'est ce décalage, entre les exigences d'un commanditaire et les recommandations vitruviennes pour un travail de qualité, qui fait que l'on ne retrouve pas souvent ces dernières sur un chantier antique ordinaire. Sur le terrain, en fonction des objectifs et des besoins, les artisans appliquaient des recettes de mélange pouvant ou non à voir avec les recommandations vitruviennes.

Plus loin, A. Coutelas poursuit : « 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 […]. » [1037]

D'après ces constatations, on peut avancer plusieurs éléments. D'abord, il serait incongru de broyer de la *testa* exprès pour bâtir un *opus caementicium* de mauvaise qualité. Ensuite, la récupération de matériau s'adapte selon les besoins des artisans pour une maçonnerie médiocre ou durable, laquelle est affaire de spécialistes. Ceux-ci choisissent avec soin leur matière première et l'éprouvent pour savoir ce qu'elle vaut (cf. Moore 1995, sur le test de la chaux). L'existence d'une classe de spécialistes pour les travaux de maçonnerie de gros œuvre ou de finition, — que la littérature archéologique connaît depuis longtemps (cf. les discussions chez Anderson jr. 1997) — implique en effet « un circuit indépendant de fabrication ». Enfin il convient de faire une distinction entre la réactivité chimique du tuileau et ses propriétés mécaniques comme granulat. En effet, dans l'analyse des essais du GEOCISTEM, on a constaté que la réactivité « pouzzolanique » du tuileau dans la chaux s'applique à des particules jusqu'à 0,5 mm (Cf. les résultats dans Davidovits, Davidovits 1999 a) et au-delà de cette magnitude, la particule est un agrégat qui apporte à la chaux une

[1037] Coutelas 2003, p. 429.

résistance mécanique et une propriété rhéologique au mortier et au béton. D'où l'intérêt d'un granulat de tuileau récupéré qui pourrait être plus accessible comme matériau que des pierres ou des moellons, par exemple.

- ***La diffusion problématique de la technique du tuileau***

Dans la littérature archéo-technique, le tuileau est considéré comme une pouzzolane artificielle. Il a été montré *supra* quels étaient ses apports sur la prise de la chaux. On sait que plus un réactif pouzzolanique est broyé fin, plus il apporte de l'hydraulicité au mortier. Pour la poudre de tuileau, plus sa granulométrie est fine (jusquà 0,5 mm), plus elle est réactive avec la chaux, tout en colorant celle-ci (Davidovits, Davidovits 1997). La *testa tunsa et succreta* « poudre sassée de tuileau » apporte aux liants des qualités exceptionnelles. Ce liant s'est imposé dans tout le monde méditerranéen et sa facilité d'emploi aurait dû remplacer tous les autres existant déjà dans la pratique édilitaire gallo-romaine, mais ce n'est pas le cas. Ce problème a déjà été évoqué par des auteurs comme A. Coutelas.

Pour avoir un début de réponse, on commencera par citer Vitruve, pour qui les problèmes de la géologie et donc d'approvisionnement des matériaux de construction sont familiers. En 1, 5, 8, il écrit : « Quant au mur lui-même, on ne doit pas définir d'avance les matériaux avec lesquels il sera élevé et terminé parce que nous ne pouvons avoir en tout lieu les ressources que nous souhaitons. Là il y a de la pierre de taille, du silex, du moellon, de la brique cuite ou crue, il faudra s'en servir. En effet si, à Babylone, disposant en abondance de bitume liquide, ils ont un mur fait de briques cuites liées avec ce produit en guise de chaux et de sable, il n'est pas que toutes les régions, ou les ressources propres de l'endroit, puissent procurer des facilités de ce genre aussi précieuses, de sorte qu'en puisant dans ces approvisionnements tout prêts on puisse avoir un rempart sans défaut construit pour l'éternité. » [1038] Ainsi, la nature ne fournit pas les meilleurs matériaux en tout endroit et Vitruve en avait bien conscience. C'est la géologie locale qui fournit les meilleurs matériaux ou les pires. Concernant la *testa* (tuileau), la Gaule n'est pas l'Italie.

En effet, on rappellera que l'Italie dispose d'abondants gisements d'argile kaolinitique alors que la Gaule en possède beaucoup moins : on y trouve surtout de l'illite. La kaolinite domine dans les argiles italiennes [1039]. L'illite, pour être employée avec la chaux, doit être cuite aux alentours de 930 °C et à cette température, l'oxyde de fer aura vitrifié la brique ou la tuile : elle en sera d'autant plus difficile à broyer. Les ressources en kaolinite sont plus rares en Gaule qu'en Italie et le hasard géologique fait que, parfois, les recettes fonctionnent dans certaines régions où les argiles ont des propriétés pouzzolaniques comparables à celles d'Italie (à Trèves ou dans le Midi de la France par exemple). Quant à

[1038] Trad. P. Fleury.
[1039] Moore 1995, pp. 88-92.

l'Italie, comme le remarque A. Coutelas : « 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. » [1040] En effet, le sable volcanique est une denrée abondante en Italie et on le trouve régulièrement à toutes les époques : dans le cadre du GEOCISTEM, il a été constaté qu'au Capitole d'Ostie, de réfection trajane, le mortier de liaison entre les briques de l'*opus testaceum* est un sable volcanique. L'emploi de poudre de *testa* dans le liant à la place de l'*harena fossicia* est quand même courant à l'époque impériale : à Trèves, dans les thermes impériaux, la *testa* est utilisée en élévation, mais nullement dans les fondations. Dans l'*Urbs* de l'époque républicaine, le sable volcanique est employé, car c'est le sable local.

A la raison géologique qui fait que la kaolinite est moins abondante en Gaule, on peut donc aborder les problèmes d'approvisionnement des matériaux sur le chantier de construction antique. On citera encore une fois Vitruve (1, 2, 8) concernant l'établissement du budget d'un chantier et les vœux d'un maître d'ouvrage pour son chantier : « La *distribution* est la répartition convenable des ressources et du terrain, et dans les ouvrages, un sage équilibre des dépenses grâce à un calcul. On l'observera si d'abord l'architecte ne cherche pas ce qu'on ne pourra trouver ou préparer qu'à grands frais. En effet, il n'y a pas en tous lieux abondance de sable [volcanique] de carrière, de moellons, de sapin, de planches de sapin ni de marbre, mais un matériau dans un lieu, un autre ailleurs et leur transport est difficile ou coûteux. Lorsqu'il n'y a pas de sable de carrière, il faut se servir de sable de rivière ou de sable de mer lavé ; on contournera aussi l'absence de sapin ou de planches de sapin en utilisant le cyprès, le peuplier, l'orme, ou le pin ; les autres problèmes devront être résolus de façon similaire. » [1041] Pour Vitruve, l'architecte antique doit donc trouver un juste milieu pour le budget alloué par le propriétaire : il est tiraillé entre les exigences nécessaires du chantier et celles du commanditaire.

Si en Italie, les architectes antiques ont à leur disposition le tuileau et le sable volcanique et peuvent à loisir utiliser l'un ou l'autre, en Gaule, leurs collègues gallo-romains doivent se contenter ce que la géologie locale leur offre. Sur un chantier d'envergure, l'alimentation en matières premières (*testa*, sable, chaux) 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 (Cf. Anderson jr 1997). En Italie où la kaolinite est courante, l'usage systématique de la poudre de tuileau serait d'un certain coût, mais cette argile en

[1040] Coutelas 2003, p. 430.
[1041] Trad. P. Fleury.

Gaule, du fait de sa rareté, serait beaucoup plus chère qu'en Italie. Ainsi, on peut en déduire que sur un chantier gallo-romain, si on doit utiliser de la *testa* réactive pour des constructions en milieu humide ou de fortes températures, l'architecte la fera venir de loin ou la fera fabriquer exprès pour cet usage : tout cela lui coûtera un certain prix. Il ne pourra donc pas la gaspiller pour autre chose : A. Coutelas constate que dans ce cas, il y a une unique source de « terre cuite architecturale » dans de la chaux. De plus, des maçons indélicats pourront toujours économiser la *testa* réactive ou imiter avec des argiles cuites inadéquates l'aspect d'un mortier hydraulique.

On peut toujours estimer en Gaule le coût de la *testa* pour un chantier de moyenne importance. A. Coutelas écrit ainsi : « Les essais de métrologie, effectués par Pascal Vipard pour la *domus* du " Bas-du-Vieux " (Calvados), nous permettent d'illustrer la quantité nécessaire de sable naturel pour monter les murs d'un édifice de taille : entre 14 et 52 m^3 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. » [1042] A une échelle supérieure, pour des constructions municipales ou impériales, dans le cadre d'une politique d'urbanisme, le coût de la *testa* est moindre, car le commanditaire (administration municipale ou impériale) a les moyens de ses ambitions : à Rome, d'après les échantillons de mortiers prélevés par notre équipe du programme européen de recherche GEOCISTEM dans la citerne des thermes de Trajan (Fig. 34), outre les murs, les voûtes et le sol sont fait d'*opus signinum* [1043].

La géologie gauloise rend donc difficile une extension de la technique de la *testa* comme en Italie. Comme le remarque A. Coutelas : « 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 »). » [1044]

Pour A. Coutelas [1045] le tuileau peut être de récupération et n'a pas été généralisé en Gaule. Nous avons montré qu'il ne pouvait pas réagir à cause de la nature minéralogique de l'argile illitique ; il n'est pas étonnant de constater que la technique de *testa* en Gaule n'a pas connu un grand développement comme en Italie ou dans d'autres pays méditerranéens. Le corpus d'échantillonnage d'A. Coutelas est donc le reflet de la pratique édilitaire gallo-romaine. Comme la kaolinite n'est pas aussi répandue qu'en Méditerranée, il fallait en Gaule éventuellement l'importer : mais tous les chantiers n'avaient pas les moyens d'en acheter ou d'en faire venir. Vitruve parle des pratiques italiques, qui ont la chance d'avoir une contrée

[1042] Coutelas 2003, p. 430.
[1043] Cf. Davidovits, Davidovits 1999 a.
[1044] Coutelas 2003, p. 431.
[1045] Coutelas 2003, p. 430 sq.

généreuse en ressources. En outre, la pratique italique comme la pose Vitruve bénéficie de la générosité du *dominus*, qui peut ou non disposer des moyens financiers de son projet. Les usages édilitaires vitruviens sont donc exigeants qualitativement. La réalité archéologique ne dément pas les conseils de Vitruve : ceux-ci ne sont qu'une possibilité parmi d'autres pour le commanditaire ou *dominus* qui fournit les moyens et les matériaux.

3.3. Usage de la brique cuite (*testa* et *testaceus*)

3.3.1. *Structurae testaceae* « maçonneries de briques cuites » (2, 8, 4; 2, 8, 17-18)

Sous la lexie complexe *structura testacea*, Vitruve regroupe des maçonneries de briques cuites. Il évoque en 2, 8, 4 (*ex testa aut ex silicibus ordinariis*) un remplissage de briques cuites assisées. En 2, 8, 17, pour répondre aux besoins de constructions à étages, notre architecte conseille d'élever « ces bâtiments avec des piliers en pierre, une maçonnerie à parement de briques, des murs en moellons. » Il poursuit : « […] ils sont planchéiés en de très nombreux étages et offrent ainsi une distribution extrêmement utile en habitations ». [1046] D'après P. Gros, la *structura testacea* peut désigner le parement en briques (*testae*) d'un *opus caementicium*, celui des *parietes caementicii* : « […] cette indication témoigne de la connaissance que Vitruve avait des techniques de son temps et constitue, après un si long panégyrique de l'*opus latericium* fait de briques crues ou semi-cuites, la reconnaissance des vertus de la brique cuite. » Pourtant, « […] le fait qu'au § 19 Vitruve n'envisage en fait de *testae* que des tuiles usagées indique cependant qu'il n'a pas encore une idée très claire de la spécificité de ce matériau, qui connaîtra dès le début de l'époque impériale le développement que l'on sait. » [1047]

En 2, 8, 18, Vitruve indique la manière de protéger un mur d'adobe de la pluie : « Les murs sont surmontés d'une maçonnerie de briques cuites, d'environ un pied et demi de hauteur, établie sous les tuiles et formant une corniche en surplomb (*Summis parietibus structura testacea sub tegula subiciatur altitudine circiter sesquipedali habeatque proiecturas coronarum*). Quand les tuiles de la toiture sont brisées ou enlevées par le vent (*Cum enim in tecto tegulae fuerint fractae aut a uentis deiectae*), et que les eaux de pluie peuvent se déverser par là (*qua possint ex imbribus aquae perpluere*), cette couverture de briques empêche que le mur ne soit endommagé (*non patietur lorica testacea laedi laterem*): la saillie de la corniche fait

[1046] Vitr 2, 8, 17 : *Itaque pilis lapideis, structuris testaceis, parietibus caementiciis altitudines extructae contignationibus crebris coaxatae cenaculorum ad summas utilitates perficiunt disparatationes*. Trad. L. Callebat.

[1047] *Vitruve II*, pp. 146-147, n. 7 ; sur le développement de la brique cuite : Blake 1947, pp. 294-295 ; Lugli 1957, p. 529 sq. ; E. De Albentiis, *La casa dei Romani*, Milan, 1990, p. 119 et suivantes, fig. 19 ; Adam 1995, pp. 157-163.

dévier l'écoulement et, de cette manière, conservera intacte la maçonnerie des murs de brique crue (*sed proiectura coronarum reiciet extra perpendiculum stillas et ea ratione seruauerit integras parietum latericiorum structuras*). » [1048]

Dans ce passage, le théoricien fait une distinction claire entre les murs d'adobes (*latericii parietes*) et une maçonnerie de briques cuites (*structura testacea*). Vitruve appelle cette *structura testacea* une *lorica testacea* « protection de briques cuites », car ce surplomb, sous le toit et installé au sommet du mur d'adobes, a pour but de protéger la brique crue des intempéries. Selon P. Gros, Vitruve donne ici la définition du *stillicidium* : c'est, dans une couverture en appentis ou à double pente, l'avant-toit dont l'inclinaison facilite l'écoulement des eaux pluviales et dont le surplomb éloigne celles-ci du nu vertical (*perpendiculum*) du mur. Le terme *lorica* se trouve en 7, 1, 4, pour dénoter une chape protectrice, c'est-à-dire une couche provisoire de mortier de chaux et de sable recouvrant une couche de poudre de marbre et destinée à préserver les pavements achevés de toute éclaboussure ou des rayures occasionnées par les pieds d'échafaudages pendant qu'on applique les enduits [1049].

3.3.2. *Pauimenta testacea tiburtina* : les mosaïques de briques de chant à la mode de Tibur (7, 1, 4 et 7)

En 7, 1, 4, il décrit les pavements de briquettes disposées en épi, à la mode de Tibur (*testacea spicata tiburtina*) : « Ceux-ci doivent être dressés avec soin, afin qu'ils ne présentent ni creux, ni bosses saillantes, mais une surface rigoureusement aplanie grâce au ponçage et au contrôle de la règle (*sunt diligenter exigenda, ut ne habeant lacunas nec extantes tumulos, sed extenta et ad regulam perfricata*). » [1050] La lexie complexe *pauimenta testacea spicata tiburtina* « pavements de briquettes disposées en épi, à la mode de Tibur » contient l'unique occurrence du verbe *spicare* « disposer en forme d'épi » et le premier usage métaphorique connu de ce verbe dans le contexte des pavements dans le *De architectura*. Connues dans la littérature archéologique sous le nom d'*opus spicatum*, les briquettes disposées de chant en épi - ou en arête de poisson ou en chevrons - sont mentionnées pour les pavages extérieurs sous l'appellation *spica testacea* « briquette disposée en épi, en arête de poisson » en 7, 1, 7. Soit entières, soit fragmentaires, les briques cuites, plus friables que la pierre, sont juxtaposées de chant, suivant un assemblage en chevrons afin de leur assurer un bon calage. Cette mosaïque de briques se trouve dans les pièces domestiques et dans celles où le sol peut se trouver en contact avec un liquide (huile, vin) ou de l'eau (entrepôt, bains, etc.). Il existe plusieurs exemples d'*opus spicatum* à Ostie, à la villa Hadriana (grands Thermes), à la maison

[1048] Trad. L. Callebat.
[1049] *Vitruve II*, p. 149, n. 3 ; Callebat, Fleury 1995, p. 192.
[1050] Tad. B. Liou et M. Zuinghedau.

des Vestales, etc. [1051] L'adjectif *Tiburtina* « de Tibur » est probablement une appellation caractéristique, une « épithète géographique devenue typologique », d'après P. Bruneau [1052].

3.3.3. Pourquoi Vitruve ne parle-t-il pas plus des briques cuites ?

On a reproché souvent à Vitruve de trop parler des adobes au détriment des *testae*, alors que les premières ne sont plus employées à l'époque du *De architectura* que dans des constructions rustiques ou sommaires et qu'elles ne comptent plus, à Rome et en Italie, en milieu urbain au nombre des matériaux usuels. En fait, l'usage de la brique cuite est attesté assez haut dans le I^er^ s. *a. C.* mais son emploi reste assez sporadique. Comme l'écrit P. Gros, l'*opus latericium* dénote une structure unitaire faite de briques crues assisées, aux joints alternés : « à ce titre il entre aux yeux de Vitruve dans la série des appareils probes où la façade exprime clairement la structure elle-même, et où le liaisonnement des assises, tant en hauteur qu'en épaisseur, assure la cohésion de l'ensemble. » [1053] La brique cuite est seulement un parement parmi d'autres et, à l'époque de Vitruve, elle est circonscrite aux parties de bâtiments au contact de l'humidité (thermes, tombeaux, égouts, latrines, corridors souterrains) : un des exemples les plus caractéristiques se trouve au tombeau de Caecilia Metella, daté des années 50-40 *a. C.* De même, on la trouve aussi dès le milieu du I^er^ s. *a. C.*, sur l'hémicycle des Rostres du Forum des environs de 45 *a. C.* [1054], puis elle se développe avec force sous la forme de l'*opus testaceum* pour devenir le parement courant jusqu'au Bas-Empire et au-delà (Basilique de Maxence et cathédrale de Ravenne) (Fig. 31-32 et 35-36).

4. Conclusion

Testa et *testaceus* ont des sens s'appliquant à l'argile cuite, sauf en 7, 13, 3, où *testa* désigne une coquille. En lexie complexe, *testaceus* avec *structura* et *lorica* qualifie des maçonneries de briques cuites: pour Vitruve, celles-ci n'ont pas encore fait leurs preuves comme maçonnerie « noble » et c'est pourquoi il en parle si peu. Mais en 7, 4, 3, *trullissatio testacea* est le « gobetis de tuileau » et non pas un enduit de briques. La grande majorité des occurrences de *testa* se trouve dans le champ notionnel du mortier et du béton.

Dans l'unité lexicale complexe *testa tunsa et succreta* « kaolinite cuite broyée et sassée », le référent minéralogique est l'argile kaolinitique cuite à partir de 650 °C. Seule

[1051] Becatti 1953, pp. 258-259 ; Ginouvès, Martin 1985, p. 152 et planche 41, fig. 8; Carandini 1985 (vol. 1), p. 75 ; Adam 1995, fig. 541, pp. 252-253 ; Callebat, Fleury 1995, p. 193 ; *Vitruve VII*, pp. 97-98, n. 8.
[1052] P. Bruneau, « D'un *Lacedaemonius orbis* à l'*aes Deliacum* », *Recueil Plassart*, Paris, 1976, pp. 15-45 (liste p. 28-31) ; Bruneau 1988, p. 41, n. 75 ; *Vitruve VII*, pp. 97-98, n. 8.
[1053] *Vitruve II*, *Introduction*, pp. XLIX-LI.

celle-ci réagit avec la chaux, comme une pouzzolane artificielle, comme l'ont montré les expériences de mélange de la chaux et des argiles cuites. A la température de 650 °C, la céramique n'est pas vitrifiée par l'oxyde de fer et elle est facilement broyable au pilon. La dimension de la poudre de tuileau est celle d'un sable normalisé (≤ 2 mm). L'indication d'épaisseur de couche pour une maçonnerie par Vitruve et la comparaison avec la courbe de Sötenich donnent des informations sur la quantité en poids de *testa* à mélanger avec la chaux. De la sorte, pour une poudre de tuileau d'une mesure maximale de deux millimètres, le pourcentage massique de particules fines (≤ 0,25 mm) est de 33,33, tandis que la granulométrie supérieure (≤ 2 mm) est de 66,66 %. Au-delà, la dimension du *caementum* « moellon » varie : entre 2 mm et 16 mm pour un *nucleus* (7, 1, 3), entre 2 et 47 mm pour un *pauimentum testaceum* (7, 4, 5) et la taille se situe entre 2 et 23 mm pour le *rudus nouum* (7, 1, 5). Encore une fois, nous rappellerons que ces chiffres sont des estimations, qui permettent de se faire une idée des quantités, dont Vitruve ne parle pas dans ses notices.

Le tuileau est le constituant principal de l'*opus signinum*, qui lui apporte résistance et dureté. Le *signinum* est une épithète géographique devenue typologique si l'on reprend l'expression de P. Bruneau. A Signia, l'environnement géologique est riche d'une argile kaolinitique, avec 10% oxyde de fer (couleur rouge) qui justifie cet usage devenu typologique dans la terminologie de l'architecture romaine. Le *signinum* est un béton ou un mortier imperméable et sa conception est l'affaire de spécialistes. Ceux-ci connaissent et choisissent donc une *testa* de qualité qu'ils peuvent faire fabriquer pour l'occasion. Vitruve insiste bien sur l'excellence des matériaux et sur la nécessité de bien les préparer : la démarche vitruvienne est qualitative dans le livre II. Cela signifie que le commanditaire est capable de payer pour un tuileau cuit à dessein pour être ensuite broyé et incorporé dans un *opus signinum*. Le maître d'ouvrage fait alors appel à une équipe d'artisans spécialisés pour la sélection des matériaux et la réalisation de travaux spécifiques, comme les sols, les enduits, etc.

S'il n'est pas question d'envisager une récupération de briques ou de tuiles pour du tuileau pouzzolanique, à l'inverse, la récupération de *testae*, comme brique ou tuile, est patente en 2, 8, 18 : le recyclage des matériaux de maçonnerie s'inscrit dans le contexte immobilier de la fin de la république romaine. Les qualités que Vitruve recherche dans ce passage pour les *testae* sont essentiellement l'inverse de ce qu'il veut pour les mortiers: la *testa* « brique, tuile » doit être bien cuite et résister aux intempéries. C'est donc la *rubrica* et non la *terra albida cretosa*, qui est l'argile appropriée pour faire des *tegulae*. En effet, l'argile rouge, possédant moins de carbonate de calcium, mais plus riche en oxyde de fer, explique la couleur caractéristique de la glaise, et cette argile est excellente pour les tuiles, car celles-ci

---

[1054] Sur les briques cuites : Lugli 1957, p. 529 sq. Blake 1947, p. 276 sq. ; Mc Whirry 1979 ; F. Coarelli, *Il Foro Romano, II. Periodo repubblicano e augusteo*, Rome, 1985, p. 253 ; Brodribb 1987.

résistent plus aux intempéries. Plus la brique sera cuite à plus haute température (750-800 °C), plus l'oxyde de fer vitrifiera la céramique, moins elle sera poreuse et moins elle sera facile à broyer pour un usage cimentier, comme la fabrication d'un *signinum*.

26. Tofus

1. Etymologie de *tofus*

Tofus, *i* (n.) (*tophus*, *tufus*) « tuf, pierre, pierre spongieuse » est attesté depuis Virgile. Les dérivés attestés sont: *tofaceus* (*-facius*, *toficius*) « de tuf », *tofinus* (*-neus*) « de tuf », *tofosus* « spongieux comme le tuf » : tous sont d'époque impériale. On a rapproché *tofus* de l'étrusque *tupi*, mais on a objecté que le maintien de *-f-* intervocalique comme dans *sulfur*, et l'alternance *ō*/*u* attesterait plutôt une origine dialectale, campanienne ou indigène [1055]. Pourtant, une présence étrusque est connue aussi en Campanie. Le terme *tupi* est connu sur un mur de la tombe de l'Orque II où sont dépeintes des scènes infernales et la lexie complexe *tupi sispes'* est interprétée de diverses manières par les étruscologues : « pierre de Sisyphe », « châtiment de Sysiphe » ou encore « démon de Sisyphe ». La signification exacte de *tupi* est énigmatique à cause de la partie manquante de la fresque qui est abîmée [1056].

2. Usage et sens de *tofus* avant Vitruve

Tofus est attesté depuis Virgile (*Georg*.2, 214) et pour la dernière fois chez Pline (*Nat*. 31, 48). Il a une seule acception : « tuf, roche » (Virgile, Ovide, Stace, Frontin, Pline l'Ancien) [1057].

3. Usage de *tofus* chez Vitruve

Tofus « tuf » est usité cinq fois : 2, 6, 1/ 2, 6, 3 / 2, 6, 6 / 2, 7, 1 / 8, 6, 3 [1058].

— *tofus albus* « tuf blanc calcaire de Vénétie » : 2, 7, 1.

— *tofus exsurgens* « tuf qui apparaît » 2, 6, 1.

— *tofus niger* « tuf noirâtre » : 2, 7, 1.

— *tofus ruber* « tuf rouge » : 2, 7, 1.

[1055] Cf. Eva Fiesel and Paul-Max Groth, *Studi etruschi*, n°6, 1932**,** pp. 261-272 et *Rev. Philol*., 3e série, VIII, 1934, p. 230.

[1056] Walde, Hofman 1982, p. 687, *s. v*. tofus. Ernout, Meillet 1985, p. 693, *s. v*. tofus. Pour l'étrusque : M. A. Rizzo *et alii*, *Pittura etrusca al museo di Villa Giulia*, De Luca edizioni d'arte, Roma, 1989, p. 155 ; Pallatino 1992, p. 516; Aversa 1994, p. 54, *s. v*. tupi.

[1057] Glare 1982, p. 1945.

3.1. La formation volcanique du *tofus* et la « jéjunisation » de cette roche (2, 6, 1 et 3)

En 2, 6, 1, Vitruve décrit la manière dont les pierres et la pouzzolane sont formées sous terre par le feu volcanique : « Ce feu souterrain et la vapeur des flammes qui se répand, brûlante, à travers les veines de cette terre la rendent légère, et le tuf qui se forme là est dépourvu d'humidité quand il apparaît (*Igitur penitus ignis et flammae uapor per interuenia permanans et ardens efficit leuem eam terram, et ibi quod nascitur tofus exsurgens, est sine liquore*). » [1059] Le feu souterrain brûle les roches du sous-sol pour en faire des cendres, suivant le principe de la *ieiunitas*. Dans le même passage, le théoricien explique pourquoi cette formation des roches volcaniques réagit si bien avec la chaux, lorsqu'on bâtit les môles : « Mais lorsque donc trois matières constituées, suivant un principe identique, par la puissance du feu se retrouvent dans un même mélange, la pénétration brutale de l'humidité les fait s'unir les uns aux autres et, durcis par l'humidité, ils [tuf, chaux, pouzzolane] forment rapidement un bloc que ni les vagues ni la force de l'eau ne peuvent désagréger. » [1060]

Les trois corps en question sont la pouzzolane, le tuf et la chaux, bien que Vitruve ne mentionne pas cette dernière. Comme la pouzzolane, qui est une cendre (*cinis*), et la chaux vive, le tuf a subi le feu et a perdu l'un des quatre éléments, qui est l'eau (*liquor*). Comme le commente P. Gros: « La puissance du feu et la faculté plasmatrice de cet élément sont ici, une fois de plus et avec une pertinence toute particulière, rappelées avec force. » [1061]

Tofus exsurgens « tuf qui gonfle » (Choisy), « tuf qui apparaît » (Callebat) est difficile à traduire. Le verbe *exsurgo* « se lever », « sortir », « s'élever », croître, grandir », « reprendre des forces, se ranimer » a une polysémie variée, mais ici il pourrait signifier « apparaître », c'est-à-dire « apparaître en surface ». En effet, Vitruve explique qu'après une cuisson sous terre, le tuf doit surgir des profondeurs terrestres par un phénomène d'élévation géologique pour être finalement exploité par les hommes. On retrouve cette idée pour l'origine souterraine du bitume : le bitume de la Mer Morte, explique Strabon (16, 2, 42), est d'abord une motte de terre que le feu a liquéfiée, puis ce bitume liquide est expulsé à la surface de la mer, où, à cause de l'eau froide, il se solidifie, ce qui permet aux habitants de l'exploiter. La nature de ce *tofus exsurgens* est difficile à déterminer : on ne peut pas dire si Vitruve fait référence à un phénomène volcanique précis (éruption, magma visqueux…) ou s'il imagine simplement, dans sa théorie du volcanisme, comment la roche peut monter à la surface de la terre. En 2, 6, 3, Vitruve rapproche les manifestations de cuisson volcanique et de calcination du calcaire: « Si l'on trouve donc, dans ces lieux, des sources d'eau bouillante et, dans toutes

---

[1058] Callebat, Fleury 1995, p. 36.
[1059] Trad. L. Callebat.
[1060] Trad. L. Callebat.
[1061] *Vitruve II*, p. 95, n. 5.

ces excavations, des vapeurs chaudes, si, comme le rapporte les Anciens, ces mêmes lieux ont vu la force du feu toucher les terres alentour, tout porte à croire que la violence du feu a ôté son humidité au tuf et à la terre, comme elle le fait à la chaux dans les fours (*uidetur esse certum ab ignis uehementia ex tofo terraque, quemadmodum in fornacibus ex calce, ita ex his ereptum esse liquorem*). » [1062] C'est le même phénomène qui intervient, aussi bien dans la nature que le four à chaux: « la faculté plasmatrice » du feu.

3.2. Typologie des *tofi* (2, 6, 6 ; 2, 7, 1) pour les pierres de taille et les moellons

En 2, 7, 1, Vitruve énumère des carrières (*lapidicinae*) italiques qu'il classe selon la dureté et la couleur des roches. A la fin de cette liste, on en vient au *tofus*, dont on ignore la dureté : il classe donc ce type de roche en dernière place. Il écrit : « Il y a aussi un fort grand nombre d'autres sortes [de pierres] (*Sunt etiam alia genera plura*) comme en Campanie, les tufs rouges et noirs (*uti in Campania rubrum et nigrum tofum*); dans l'Ombrie, le Picenum et dans la Vénétie, le tuf blanc, qui se débite même à la scie dentée comme le bois (*in Vmbria et Piceno et in Venetia albus, quod etiam serra dentata uti lignum secatur*). »

Les carrières (*lapidicinae*) fournissent les pierres de taille (*saxum quadratum*) et les moellons (*caementum*). Selon la nature géologique des pierres (calcaires, tufs volcaniques, etc.), on trouve différentes indurations (*disparibus et dissimilibus uirtutibus*). Dans la catégorie du *tofus*, que mentionne Vitruve, on trouve essentiellement deux types de roches : les pierres volcaniques et les calcaires.

Tofus ruber et tofus niger (*in Campania*) dénotent les tufs volcaniques de Nocera et d'Herculanum [1063]. Ces tufs volcaniques légers et poreux furent employés sous l'Empire pour alléger les voûtes concrètes (Panthéon, Minerva Medica). Le tuf fin et compact de Nocera remplaça au III^e^ s. *a. C.* un calcaire du Sarno, qui avait la particularité de durcir après extraction. Le tuf de Nocera était une bonne pierre à bâtir, mais elle était trop coûteuse à exploiter. A Pompéi, le dépôt supérieur de laves et des scories (appelé *cruma*) au sommet de la lave fondamentale était léger et poreux et fournissait des moellons pour les murs et les voûtes.*Tofus albus* (*in Vmbria et Piceno et in Venetia*) qualifie le calcaire de Vénétie, appelé aussi *biancone* (Fig. 37). Bien qu'étant un calcaire compact, il est blanc et il peut être travaillé facilement avec un outil. Son grain est fin et il a servi de revêtement pour décorer les édifices vénitiens à l'époque moderne [1064]. Vitruve réunit sous une même taxinomie de « tuf blanc » trois pierres de couleur semblable que le théoricien fait venir de trois régions voisines (Ombrie, Picenum et Vénétie) de la Péninsule. Ce tuf appartient aux productions d'une

[1062] Trad. L. Callebat.
[1063] Blake 1947, p. 48 ; Lugli 1957, p. 318 ; *Vitruve II*, p. 103, n. 13.
[1064] Mottana, Crespi 1993, n°339.

région qu'il semble bien connaître, puisqu'il y situe la fameuse *larix* (2, 9, 13-16), l'arbre résistant au feu [1065]. Il resterait à déterminer si le *biancone* est identique aux tufs calcaires du Picenum et d'Ombrie.

Le *biancone* peut se rayer facilement: il peut donc être débité à la scie. Dans une carrière, on peut se servir d'une scie avec une précision qui est à peine supérieure à celle obtenue la plupart du temps à l'aide des coins, mais on évite ainsi tout risque de mauvaise découpe. Il peut arriver de trouver des pierres débitées aux coins, abandonnées à la suite d'une déviation considérable de la ligne de rupture, déviation provoquée par un clivage interne non perceptible en surface. C'est pourquoi, pour fractionner une roche coûteuse comme le marbre, les tailleurs de pierre ont souvent préféré la scie dont le travail est infiniment plus long, mais sans mauvaise surprise.

Lorsque la pierre à débiter est relativement tendre, la lame de l'outil est dentelée et rien ne la distingue des scies à bois. Pour les roches plus dures, on utilise une lame lisse avec un abrasif, comme du sable. Dans les deux cas, le carrier prépare une ligne du débit à la pointe, afin d'éviter que la scie ne dévie pas. Pendant l'opération, on verse de l'eau le long de la rainure pour refroidir l'échauffement du fer. Traditionnellement, l'ouvrier se sert de la scie dite *passe-partout*, munie d'une poignée de traction à chaque extrémité ; la tension discontinue de la lame et sa trajectoire, soumise au rythme régulier des mouvements des carriers, ont laissé sur la pierre des traces à ressauts caractéristiques. Normalement, celles-ci disparaissent lorsqu'on effectue la finition du bloc. On les retrouve soit sur les faces postérieures des blocs taillés, faces qui ne sont pas visibles lorsque le bloc est à sa place dans le mur, soit sur les pierres non ravalées abandonnées sur les chantiers de taille ou de construction. Pour les blocs de très grandes dimensions, la lame était maintenue en tension par un cadre de bois, que l'on pouvait suspendre à un portique pour les plus grandes des scies, à l'instar des carrières de Dokimion. La *serra dentata* de Vitruve fait partie de l'outillage du bûcheron et du charpentier : on peut penser à la scie de long qui permet de suivre un tracé rectiligne sur de grandes longueurs et qui se manie à deux [1066].

Pour avoir une échelle de dureté (au sens des constructeurs) d'une roche *tofus*, on peut citer la description des roches volcaniques (Vitr. 2, 6, 6) : la pierre volcanique du *carbunculus* est par nature plus tendre que le tuf, et de plus grande cohésion que la terre (*materiae potestas mollior quam tofus*, *solidior quam terra*). Le *carbunculus* est donc une roche peu indurée, de moins grande cohésion que le tuf volcanique. Sur l'échelle d'indice de dureté

[1065] Vitruve *II*, p. 103, n. 14; Corso 1983.
[1066] Martin 1965, p. 152, note 10, signale une stèle romaine publiée en 1913 et malheureusement perdue, représentant un débitage de bloc à la scie ; J. Röder, « Dokimion », *Jahrbuch des Deutschen archäologischen Institut*, 86, 1971, fig. 64, p. 304 et suivantes ; J.-L. Goodman, *The History of woodworking Tools*, Londres, 1976, p. 110 sq. ; Adam 1995, pp. 100-101 ; *Vitruve II*, p. 103, n. 14.

(AFNOR B. 10. 001.), le *tofus* volcanique et sédimentaire de 2, 7, 1, commencerait à partir de 3, et sa résistance à la compression débuterait à 7,6 Mpa. En 2, 7, 1, le *tofus* apparaît à la fin de la liste des roches pour les pierres de taille (*saxum quadratum*) et les moellons (*caementum*).

Après *lapidicinae*, *tofus* est usité pour cette nomenclature des carrières. Comme *lapis* et *saxum*, l'emploi très large du mot *tofus* ne permet pas toujours une identification précise : il peut désigner des roches tendres ou plus dures d'origine sédimentaire ou volcanique [1067]. Comme pour *lapidicinae*, la notice vitruvienne (2, 7, 1) permet à *tofus* d'accumuler les adjectifs de couleur (*albus*, *niger*, *ruber*) selon un axe paradigmatique [1068].

3.3. Le tuf des canaux souterrains (8, 6, 3)

En 8, 6, 3, pour la construction d'aqueduc, Vitruve conseille d'économiser les travaux de maçonnerie si le terrain le permet : « s'il y a du tuf ou de la roche, on y creuse directement le canal (*si tofus erit aut saxum, in suo sibi canalis excidatur*). » [1069] C'est le cas pour l'aqueduc du vallon de la Faucouderie où l'on a évidé la craie, laquelle peut être considérée comme étant un *tofus*. Les parois y ont une épaisseur entre 20 ou 30 cm, alors qu'ailleurs celles-ci font 60 cm. La section est ramenée de 60 cm de large sur 150 cm de haut à 40 cm sur 120 cm, mais la conduite est toujours couverte par une voûte en plein cintre [1070].

4. Conclusion

Tofus tient la dernière place dans la taxinomie des carrières en 2, 7, 1. *Tofus* désigne des roches tendres ou un peu plus consolidées dont l'indice de dureté de taille commencerait à 3. Pour un motif quelconque, Vitruve n'a pas intégré *tofus niger* et *tofus ruber* dans la catégorie des *lapidicinae molles* « tufs volcaniques tendres ».

De même, pour une raison de dureté de la roche, les tufs calcaires de Vénétie, d'Ombrie et du Picenum ne sont pas classés dans les *lapidicinae temperatae* « pierres calcaires moyennement dures ». Vitruve a peut-être repris une tradition locale de dénomination de ces roches tendres. Ce passage possède le plus grand nombre d'occurrences de *tofus*. En 2, 6, 1, le *tofus* se forme, comme les autres roches volcaniques, par la cuisson d'autres pierres sous terre et par la perte d'un élément : l'eau (*liquor*). Cela donne au *tofus* une *ieiunitas*, une instabilité moléculaire naturelle par laquelle cette roche réagit avec la chaux et la pouzzolane, lesquelles ont aussi une *ieiunitas* pour former un béton sous-marin.

[1067] Cf. Ginouvès, Martin 1985, p. 42-43.
[1068] *Vitruve II*, pp. 100-103, n. 3-14.
[1069] Trad. L. Callebat.
[1070] De Montauzan 1909, p. 295 sq. ; *Vitruve VIII*, pp. 158-159, n. 2.

Conclusion et perspectives générales

Notre recherche lexicographique et technique sur les matériaux minéraux dans le *De architectura* s'est appuyée sur l'analyse d'un corpus de mots, suivant une méthode comparative dont les résultats apportent des informations sur ces matériaux et éventuellement les différentes étapes de leur fabrication. En nous appuyant sur la méthode comparative, nous avons analysé le sens du terme d'après son contexte et nous avons établi des rapprochements avec les données techniques et archéologiques et puis nous avons proposé une ou plusieurs acceptions de ce terme. En même temps, il a été procédé à une réflexion sur les conceptions scientifiques vitruviennes, lesquelles éclairent le contexte où le terme ou la lexie complexe sont usités.

Le vocabulaire de ce corpus est composé essentiellement d'unités lexicales simples (mots) et complexes (expressions désignatives à plusieurs termes). Nous avons vu qu'il est possible d'y trouver des créations ou premiers emplois attestés de termes, des emprunts au grec ou à une tradition technique grecque, des mots de sens nouveau, des termes polysémiques ou monosémiques; l'ensemble de ces caractéristiques peut se recouper dans un certain nombre de mots, par exemple dans l'usage ou le premier emploi des adjectifs à suffixe *-osus* : ceux-ci sont souvent démarqués d'adjectifs grecs, et sont usités par Vitruve dans des contextes savants.

Unités lexicales simples

Les unités lexicales simples comprennent plusieurs catégories. Tout d'abord, les substantifs relevant de la géologie et des pratiques de chantier. Ces lexèmes, polysémiques, dénotent des matières naturelles et des produits issus d'un mode opératoire : *argilla*, *caementum*, *creta*, *harena*, *lapis*, *lutum*, *marmor*, *paraetonium*, *rubrica*, *saxum*, *terra* ; on peut y ajouter deux termes grecs : ὤχρα « ocre » et θειοδοτεῖον « argile verte de Théodotos ». Parmi cette liste de matériaux géologiques et de produits finis, *lutum* « sol, boue, torchis » est un lexème qui renferme une polysémie caractéristique du corpus étudié. Mot courant, il possède néanmoins la signification de « sol ayant des caractéristiques géotechniques » et celle de « torchis ». Vitruve use seulement du substantif *lutum* pour dénoter la bauge, alors que dans la littérature technique latine le torchis est désigné par une unité lexicale complexe comme *lutum paleatum* ou *lutum aceratum*. Il précise un matériau déjà évoqué par le traité agricole de Caton. Les chaînes opératoires décrivant la fabrication du torchis sont dispersées dans le traité d'architecture, et la terre utilisée peut être de l'argile ou de la latérite. De même, *terra*, terme polysémique courant, désigne, entre autres, la terre (monde, globe terrestre), le sous-sol riche en phénomènes géologiques et l'un des quatre éléments dont est composée chaque

substance. *Materia* « matière, sujet, matériau, bois, mortier » possède une polysémie très étendue et on ne comprend pas pourquoi Vitruve s'en sert en 2, 6, 6 pour qualifier « la roche volcanique plus indurée que la terre et plus tendre que le tuf ». Au lieu d'ajouter un sens nouveau à *materia*, il aurait pu utiliser une autre lexie complexe ou en créer une autre comme **lapis carbunculosus* ou **saxum materiosum*.

Après les lexèmes polysémiques dénotant à la fois des matériaux géologiques et des produits finis, on rencontre des substantifs ne désignant que des produits manufacturés (*calx* « chaux », *testa* « tuileau ») et enfin des adjectifs semi-lexicalisés : *reticulata* (*caementa*) « moellons de l'*opus reticulatum* » (2, 8, 1), *minutissima* (*caementa*) « moellons aussi menus que possible » (2, 8, 2 ; 4, 4, 4), *harenosum* (*solum*) « sol sableux de mine » (8, 6, 3), *calculosi* (*uiri*) « hommes atteints de calculs rénaux » (8, 3, 19).

Un certain nombre de termes est obtenu par la dérivation. Des substantifs (unité lexicale simple) ont des dérivés suffixés (adjectifs dérivés et noms). Le suffixe *-arius* renvoie à des réalités variées. Ce suffixe d'adjectif construit des adjectifs de désignation de chose ou de personne. Il forme des adjectifs comme *argentarius* « qui concerne l'argent », *calcarius* « relatif à la chaux ». Des adjectifs se sont substantivés et sont devenus des noms. Sous la forme *-arius*, il entre dans la formation des noms masculins désignant une personne dont l'activité s'applique à ce qu'indique le thème (*marmorarius* « sculpteur sur marbre », *lapidarius* « tailleur de pierre », *legionarius* « légionnaire », etc.). Sous la forme neutre *-arium*, il fournit des noms de récipients (*congiarium* « vase contenant un conge »), d'espace ou de chambre (*granarium* « grenier »), des substantifs d'impôt (*ansarium* « droit d'entrepôt ») ou de pépinière (*pomarium* « verger »). Il sert aussi à désigner le lieu où se trouve ce qu'indique le thème du nom : *sol-arium* « endroit exposé au soleil », *haren-arium* « sablière, carrière de sable ». On trouve une variante *harenaria* « sablière » avec la forme féminine *-aria*, et ce suffixe, dans la langue latine, est utilisé dans une série de termes pour l'extraction de minerai : *aeraria* « mine de cuivre », *ferraria* « mine de fer ». Le suffixe *-atus* donne des formes dénominatives dont la signification principale est « pourvu de ». Il se trouve dans des thèmes en *-a* : *ansatus* « qui une anse » (*ansa* « anse »), *hastatus* « armé d'un javelot » (*hansa* « javelot ») et *harenatus* « qui contient du sable » (*harena* « sable »). Ce suffixe se trouve dans une spécialisation aussi technique que le nom des enduits : *harenatum* « enduit de chaux et de sable ». Le suffixe abstrait *-tio* forme des noms d'action dérivés de verbe. Le substantif formé de cet affixe est issu du participe passé du verbe dont il dérive. Mais le suffixe *-tio* est très productif en latin. Ainsi, l'hapax *harenatio* « application d'un enduit de chaux et de sable », qui insiste sur l'opération de pose de l'enduit, devrait dériver d'un verbe **harenare* « enduire

un mur de chaux et de sable », mais celui-ci n'est pas attesté [1071]. Le suffixe *–culus* a une valeur différenciative qui peut exprimer la notion de diminution [1072].

Les adjectifs de matière sont les adjectifs les plus répandus dans le corpus. Ainsi le suffixe *–eus* a pour valeur la plus répandue, celle d'un affixe de matière [1073] : *lapideus* « de pierre », *luteus* « de terre, d'argile », *marmoreus* « en marbre », *saxeus* « de pierre », *siliceus* « en pierre dure ». Ces adjectifs sont usités dans des contextes architecturaux ou d'autres domaines techniques : *lapideus* est utilisé pour des lexies complexes architecturales (*columnae lapideae* « colonnes de pierres » *lapidea epistylia* « architraves de pierre » (2, 8, 9 ; 3, 3, 5)) et pour des contextes naturalistes (*pars lapidea* « partie pétrifiée d'un roseau » 8, 3, 9). *Saxum siliceum* (8, 3 19) peut qualifier des roches comprenant du calcaire, d'où l'on extrait des blocs à l'aide d'outils de fer, de vinaigre et du feu, selon des techniques minières. Le suffixe *-eus* a une variante en *-aceus*, laquelle a principalement le même sens de matière (*testaceus* « de brique cuite, de tuileau ») [1074]. Le suffixe *–īcius* est un suffixe de matière ancien : *caementicius* « de moellons, composé de moellons ».

Le suffixe de matière *-nus* a été renforcé par un élargissement *-es-*, qui a donné *-es-n-*, puis *–ēn-* : *aenus* « de cuivre » sur lequel a été formé *terrenus* « terreux, en terre » [1075]. Cet adjectif polysémique est utilisé dans de nombreuses occurrences dans le traité vitruvien. *Terrenus* est usité dans des énoncés relevant des sciences de la terre (*terrenus umor* « sucs de la terre » 8, 3, 12) et se retrouve surtout dans des lexies complexes architecturales (*aedificia terrena* « constructions édifiées sur la terre ferme » 2, 6, 6). Les adjectifs en *-eus* et en *-enus* sont courants, souvent anciens (sauf pour *terrenus* qui apparaît avec Cicéron), et les locuteurs latins savaient les décomposer en base nominale et suffixe. Vitruve se sert donc de ces adjectifs qui sont, déjà avant lui, employés dans des traditions techniques.

Les adjectifs en *-osus* expriment l'idée « riche en, pourvu de » [1076]. Des adjectifs en *–osus* peuvent être de création plus récente que les adjectifs en *-eus*, car Vitruve en utilise certains pour la première fois. Des substantifs étudiés (*bitumen*, *calculus*, *creta*, *glarea*, *harena*, *lutum*, *pumex*, *sabulo*, *terra*) ont produit par dérivation de tels adjectifs possédant le suffixe *-osus*, adjectifs qui ont souvent été inspirés du grec. Ainsi, *-osus* sert de suffixe de matière. Beaucoup de ces adjectifs sont usités pour la première fois par notre architecte : *bituminosus* « bitumineux » (ἀσφαλτώδης), *calculosus* « rempli de cailloux, caillouteux » qui a pour

[1071] Leumann, 1963, p. 240.
[1072] Leumann 1963, pp. 216-217 ; pour M. Fruyt, il peut d'autres qualités : métaphoriques ou connotatives : Fruyt 1989.
[1073] A part des adjectifs anthroponymes, toponymes (*Hectoreus*, *Caesareus*) modelés sur le grec *–εῖος* ou d'appellatifs de noms de personne dans la poésie dactylique pour remplacer des adjectifs dont l'usage métrique est impossible : *femineus*, *uirgineus*. Leumann 1963, p. 205-206 ; Fruyt 1987.
[1074] Leumann 1963, p. 206 ; Fruyt 1986 p. 141.
[1075] Le suffixe *-enus* a été étendu à quelques adjectifs, comme *ali-enus* « d'autrui » ou *ser-enus* « du soir ». Leumann 1963, pp. 222-223.
[1076] Leumann 1963, p. 231.

modèle, en grec, soit χαλικώδης, soit ψηφιδώδης, soit λιθώδης ; *pumicosus* « qui ressemble à la pierre ponce, poreux » (correspondant à κισηροειδής ou κισηρώδης) est employé dans la lexie complexe *terra pumicosa* (2, 3, 4) ; *terrosus* « de terre, terreux » a pour modèle le grec γαίωδης : cette création lexicale (qu'elle soit de Vitruve ou non), dans un contexte géologique, était sans doute motivée par le besoin de qualifier le sable volcanique altéré par l'érosion (*harena terrosa* 2, 4, 1 et 3) ainsi que les collines de tuf volcanique altéré et terreux, riches en particules fines (*montes terrosi* 2, 6, 6), lesquelles s'opposent dans leur nature aux collines rocheuses de tuf volcanique tendre (*materia*). On considère que les autres adjectifs en *-osus*, utilisés avant Vitruve ont été aussi formés sur des modèles grecs : *cretosus* « abondant en craie ou en argile » (γυψώδης), *glareosus* « plein de gravier » (ψαμμώδης, ἄμμώδης), *harenosus* « abondant en sable » (ψαμμώδης, ἠμαθόεις), *lutosus* « boueux » (πηλώεις, ἰλυώδης), *sabulosus* « riche en sable fin » (ψαμμώδης, ἄμμώδης). Seul *sabulonosus*, allomorphe de *sabulosus* n'est attesté que chez Vitruve. Tous ces adjectifs sont usités dans des contextes géologiques à l'exception de *lutosus* « boueux », qui indique un état hydrique.

Les adjectifs en *–eus* sont motivés car on sait reconnaître encore à quelle famille de mots ils se rattachent. Ce sont souvent des adjectifs anciens et d'usage courant qui expriment la substance ou l'aspect de la matière. Les adjectifs en *–osus*, exprimant l'abondance de l'élément qu'indique le thème peuvent les concurrencer : *luteus* « d'argile » a pour doublet *lutosus* « d'argile, boueux ». Ces adjectifs en *–osus* peuvent avoir été inspirés de modèles grecs utilisés dans la littérature scientifique. En 2, 3, 1, *lutum*, accompagné d'un adjectif minéral en *–osus*, dénote géotechniquement une argile ou une terre mélangée d'eau, impropre à faire de l'adobe : *lutum calculosum* « sol composé de cailloux », *lutum sabulonosum* « sol sablonneux », *lutum harenosum* « sol sableux », peuvent qualifier des terres alluvionnaires des marécages ou des fleuves. Ainsi, les adjectifs en *–osus*, lorsqu'ils sont utilisés dans un contexte scientifique, qualifient la composition d'un corps tel que *harenosus* « composé de sable ».

Unités lexicales complexes

Si les unités lexicales simples du corpus vitruvien peuvent se présenter sous la forme de substantifs ou d'adjectifs quasi substantivés, une partie importante de ce corpus est constituée en majorité de lexies complexes. On retrouve ici une caractéristique sémantique des vocabulaires techniques. En effet, pour éviter les inconvénients de l'homonymie, et donc une confusion de sens possible, laquelle est un des inconvénients de l'usage d'une unité lexicale simple dans un texte technique, les dénominations des matériaux s'allongent : d'unités lexicales simples, on passe à des lexies complexes à deux termes (voire plus) lesquelles se font sur deux niveaux syntaxiques : substantif + un déterminant (adjectif, nom, participe passé). Dans la majorité du corpus vitruvien, ces lexies complexes désignatives se

composent en général d'un substantif accompagné ou d'un adjectif (caractérisant ou différenciateur indiquant la couleur, l'origine ou la dureté) ou d'un participe passé. Ainsi, à côté de l'hyperonyme, on trouve des groupements structurés d'hyponymes, où cet hyperonyme est employé.

Les matériaux mentionnés par Vitruve peuvent être précisés par divers adjectifs différenciateurs :

- **adjectifs de couleurs** : *harena fossicia* peut être caractérisé par *cana, nigra, rubra* ; *saxum,* par *album, rubrum* ; *terra,* par *albida, rubrica* ; *tofus* par *albus, niger, ruber*, *creta* par *uiridis* et *puluis* par *ruber*. L'usage d'un adjectif chromatique renvoie au procédé direct de désignation car celui-ci décrit des propriétés inhérentes de l'objet (taille, forme, couleur…) et perçues par les sens.
- **adjectifs d'origine** : *harena fossicia* « sable (volcanique) extrait », *harena fluuiatica* « sable de rivière », *harena marina* « sable marin », *pumex Pompeianus* « ponce de Pompéi », *creta selinusia* « craie de Sélinonte », *sil atticum* « sil attique ». L'adjectif d'origine entre dans la catégorie de désignation de type métonymique. Selon ce principe, le matériau à désigner est mis en relation avec une autre entité désignante, qui lui est contiguë dans la réalité : la propriété n'est pas interne au matériau mais se trouve dans son entourage ou son milieu environnant [1077].
- **adjectifs de dureté ou d'état** : *bitumen durum* « asphalte solide », *bitumen liquidum* « bitume liquide ». Plus spécifiquement, Vitruve fait la distinction entre les carrières de pierres suivant le degré de dureté de ces dernières. Cette indication est l'information de base lorsqu'on souhaite exploiter un chantier : *lapidicinae molles* « carrières de tufs volcaniques tendres », *lapidicinae temperatae* « carrières de calcaires moyennement dures », *lapidicinae durae/siliceae* « carrières de pierres dures » (2, 7, 1). Enfin, on peut mentionner l'usage de deux adjectifs évoquant une notion ancienne de dureté binaire, laquelle s'exprime sous la forme de l'opposition sémantique : *sabulo masculus* et *sabulo solutus*. La distinction d'un minéral « mâle » (*masculus*) et « femelle » (*solutus*) est connue depuis les géologues assyriens [1078]. Ces adjectifs expriment une appréciation d'un spécialiste de chantier, où la dureté d'une pierre détermine son usage.

Vitruve peut associer différents adjectifs pour affiner une typologie géologique : pour l'*harena*, l'architecte ajoute à la catégorie *fossicia*, la sous-catégorie chromatique (*rubra*, *cana*, *nigra*). On obtient ainsi des expressions désignatives à trois termes, dont la caractéristique est un jeu d'oppositions différentielles : l'adjectif métonymique (*fossicia*) est complété par un adjectif chromatique.

[1077] Fruyt 1992.
[1078] Callebat 2003, p. 88.

Des unités lexicales complexes du vocabulaire de chantier dénotent des matériaux extraits ou des produits, au moyen d'un participe passé épithète exprimant le résultat d'un processus de fabrication : *fracta caementa* « fragments pierreux, cailloux cassés » (2, 8, 7), *marmor excretum* « calcite sassé » (7, 3, 3) *marmor minutum* « calcite broyé » 7, 3, 8), *testa tunsa et succreta* « poudre broyée et tamisée d'argile kaolinitique cuite » (2, 5, 1). *Materia excocta* « roche ayant subi une érosion ignée » est une exception sémantique, car elle indique le degré de cuisson d'une roche exposée au feu souterrain. On peut mentionner l'utilisation d'*argilla* qui n'est employée que dans le syntagme *argilla cum capillo subacta* « argile malaxée avec du crin, argile pétrie de bourre, torchis de crin ». On peut considérer la lexie complexe et le syntagme *terra subacta cum paleis* « torchis, terre-paille » (2, 1, 5) comme deux définitions par inclusion, dont l'entrée pourrait être * *lutum capillatum*, ou *lutum*. Considérée uniquement dans le cadre du discours vitruvien, *argilla cum capillo subacta* est une locution quasi lexicalisée (5, 10, 2-3 ; 10, 15, 1). Elle a son équivalent dans la lexie complexe grecque d'Athénée le Mécanicien (*Mech*. 18, 12-13) πηλὸς τετριχωμένος (*pêlos tetrichôménos*).

Enfin, Vitruve se sert du deuxième procédé de formation des mots, la composition que l'on oppose à la dérivation. Vitruve peut assembler deux noms pour former une lexie complexe géologique, comme *harena carbunculus* « tuf donnant du sable volcanique » (8, 1, 2) et *saxum silex* « pierre silex, roche dure », qui est synonyme de *saxum siliceum* (8, 1, 2).

Vitruve établit ainsi une typologie des matériaux minéraux, des phénomènes géologiques et des produits, dont le caractère original est de mêler les lexiques d'architecte et de naturaliste. Ainsi, *terra* désigne en grande majorité la terre, le sous-sol (1, 4, 7 / 8, *pr*., 1) et aussi l'un des quatre éléments fondamentaux de la matière. Les « sucs de la terre » (*terrae sucus*, *terrenus umor*), concept hérité de la théorie médicale des humeurs, sont à l'origine, avec l'influence du soleil, des propriétés des eaux et des terrains cultivés (8, 3, 12-13 ; 8, 3, 18 ; 8, 3, 26). Sous la surface du sol, se trouvent les feux de *bitumen* « bitume », de soufre et d'alun qui brûlent les roches, chauffent les terrains et les eaux souterraines. L'architecte classe les roches selon leur degré de cuisson. Il en résulte une distribution minéralogique telle que la pouzzolane est *terra exusta* « terre brûlée » et *cinis* « cendre » (2, 6, 6) : celle-ci occupe le haut du classement des matières calcinées, résidus du feu volcanique. L'*harena fossicia* « sable volcanique », le *tofus* « tuf volcanique » le *pumex* ou la *spongia* « pierre ponce », la *materia* ou le *carbunculus* « tuf volcanique tendre » sont des roches cuites érodées par le feu souterrain qui en a altéré la dureté. Le carboncle a subi le feu souterrain et en a gardé les marques : il est devenu *materia excocta* « tuf volcanique cuit à haute température » (2, 6, 6), car il possède des traces de *uenae* « veines » à travers lesquelles les vapeurs brûlantes des gaz ou du feu ont circulé. C'est pourquoi le *carbunculus*, en tant que sable volcanique, possède des qualités de cuisson naturelle qui font de lui une arène idoine pour réagir avec la chaux. Ces mots ou

lexies complexes (*bitumen*, *terra exusta*, *cinis*, *carbunculus*, *pumex*, *materia*) ont trait aux phénomènes géologiques souterrains, mais ce sont aussi des matériaux de construction.

De plus, dans ses textes didactiques à destination d'un public cultivé, l'architecte se sert de termes courants et les accompagne d'adjectifs à connotation savante (*lutum harenosum, terra albida cretosa*). Vitruve fait aussi preuve d'invention lexicale, puisque certains adjectifs en *-osus* apparaissent pour la première fois dans le traité : *bituminosus*, *calculosus*, *pumicosus*, *terrosus*. Ces adjectifs sont donc fortement motivés sur le plan morphologique, car l'architecte avait besoin d'adjectifs qui devaient renvoyer à une certaine réalité géologique.

La théorie « unifiée » de Vitruve

Tous ces termes différenciateurs, matériels, géologiques, chromatiques, et géographiques révèlent la convergence de deux langages, celui du naturaliste et celui de l'architecte. C'est le signe que Vitruve a une théorie unique sur les phénomènes naturels, laquelle explique, entre autres, les données de la géologie, les observations expérimentales sur la cuisson de la chaux et l'agglomération des composants du mortier. Puisque les phénomènes naturels sont explicables par des lois physiques identiques, il estime indispensable de traiter d'abord des matériaux de construction avant d'aborder les édifices publics et privés au livre III. C'est pourquoi il écrit dans la préface du livre II (2, *pr*. 5) : « […] j'ai pensé qu'il était préférable de ne pas présenter ces questions [d'édifices publics et privés] avant d'avoir traité des matériaux dont on dispose et dont l'emploi, pour la maçonnerie et pour la charpente, permet de mener à bien des constructions, de leurs qualités spécifiques à l'usage et des éléments naturels qui les composent. » Cette définition des matériaux sous-tend deux types de rapports. D'abord, les éléments (air, eau, feu, terre) composent tous les corps physiques et expliquent les propriétés des matériaux. Ensuite, en fonction de celles-ci et selon des exigences des cahiers des charges (*lex operis*), l'architecte assure le choix et le suivi des matériaux les mieux adaptés au chantier par leur qualité, la facilité d'en disposer, leur coût... [1079]

Si la théorie volcanique vitruvienne est en fait une adaptation des concepts grecs atomistes et néo-pythagoriciens, elle n'en demeure pas moins cohérente. Elle correspond à des faits observés dans des régions volcaniques et la longue réflexion sur le volcanisme souterrain, qu'est le sixième chapitre du livre II, sous-tend un Vitruve parcourant les régions volcaniques d'Etrurie et de Campanie et examinant à travers la géologie locale les traces de formation des roches et des tufs pyroclastiques, lesquels donneront l'*harena fossicia*. Il allie dans ce chapitre une théorie qui est le fruit de ses connaissances d'ingénieur civil et de

[1079] Callebat 2003, p. 88 ; trad. L. Callebat.

naturaliste : il décrit la formation du sable volcanique et explique pourquoi les agrégats volcaniques réagissent si bien avec la chaux.

Vitruve ne se contente pas d'énoncer une théorie des quatre éléments, laquelle explique la dureté des différentes roches (2, 7). Dans son esprit, il la prouve par une expérience sur le calcaire. Il démontre que le calcaire a perdu des éléments (eau et air) durant la cuisson et que le poids du bloc n'est pas le même après la cuisson. Il se sert des procédés expérimentaux de validation de la science grecque. Les forces physiques se produisant à l'intérieur du chaufour constituent un modèle d'explication du volcanisme souterrain (2, 6). Vitruve aborde dans la perspective d'un théoricien et d'un praticien la composition des pierres calcaires. Son expérience de la perte au feu du calcaire (2, 5, 3) révèle que la chaux obtenue est moyennement hydraulique (20 % d'argile). En 2, 5, 1, il classe ainsi les pierres calcaires d'après leur usage en maçonnerie : « […] la chaux qui sera faite avec une pierre compacte et assez dure conviendra pour la maçonnerie (*quae erit ex spisso et duriore erit utilis in structura*), celle qui sera faite avec une pierre poreuse, pour les enduits (*quae autem ex fistuloso, in tectoriis*). » La chaux hydraulique obtenue dans l'expérience est donc une bonne chaux pour la maçonnerie (*structura*). Par ce procédé, Vitruve montre qu'il maîtrise les méthodes scientifiques de son époque.

Sa théorie des quatre éléments allie les phénomènes volcaniques et les transformations de la chaux. La notion de *ieiunitas*, qu'on peut comparer à une instabilité chimique, explique le comportement de la chaux, dès la sortie du chaufour, jusqu'à sa carbonatation. C'est pourquoi en 2, 5, 1-2, il donne deux définitions de la chaux, une « traditionnelle » (calcaire calciné) et une « scientifique » : à un niveau « microscopique » et « élémentaire » la chaux vive est un corps plein de trous, que la violence du feu a rendu instable, car n'ayant plus que de la terre, de feu et de la chaleur. Cette substance instable récupère des « éléments » en les puisant dans les agrégats du mortier (7, 3, 7). L'éventail des états successifs de la chaux apparaît dans les lexies complexes. *Calx uiua* « chaux vive (8, 6, 8) est cette matière « vivante », qui brûle ou mord la peau de l'utilisateur. Image expressive et traditionnelle des maçons, elle est synonyme partiel des syntagmes à connotations savantes comme *calx euanida* « chaux sans force » (7, 2, 1-2) et *calx siticulosa* « chaux desséchée » (7, 2, 2), lesquels dépeignent l'état de la chaux à la sortie du four. La chaux éteinte est exprimée avec *calx macerata* (7, 2, 1-2). Il présente la prise de la chaux, des murs, des môles et des enduits dans le cadre de cette théorie. De plus, celle-ci énonce la réalité d'une *ieiunitas* naturelle pour la pierre ponce, la pouzzolane et le sable volcanique, *ieiunitas* qui est nécessaire pour les réactions chimiques d'un béton hydraulique (2, 6, 1 et 4).

Les pratiques de chantier décrites dans le traité d'architecture

Dans le cadre des besoins d'un chantier, Vitruve est bien conscient du coût des matériaux en général qui pourrait interférer avec leur utilisation. Le concept de *distributio* est en quelque sorte le critère d'économie et de la maîtrise du budget alloué par le maître d'ouvrage, comme il le développe en 1, 5, 8 : « On observera [la *distributio*] si d'abord l'architecte ne cherche pas ce qu'on ne pourra trouver ou préparer qu'à grands frais. En effet, il n'y a pas en tous lieux abondance de sable de carrière, de moellons, de sapin, de planches de sapin ni de marbre, mais un matériau dans un lieu, un autre ailleurs et leur transport est difficile ou coûteux. Lorsqu'il n'y a pas de sable [volcanique] de carrière, il faut se servir de sable de rivière ou de sable de mer lavé ; […] les autres problèmes devront être résolus de façon similaire. » [1080] C'est donc au commanditaire de déterminer ce qu'il faudra dépenser comme en 6, 8, 9 : « […] le choix des types de matériaux n'appartient pas à l'architecte, parce que tous les types de matériaux ne se trouvent pas partout, comme je l'ai dit au premier livre. Le propriétaire est maître, par ailleurs, s'il veut décider de construire en briques crues, ou en moellons ou en pierres de taille. C'est pourquoi on prend en compte trois aspects pour apprécier les ouvrages : la qualité de la main d'œuvre, le luxe et l'ordonnance architecturale. » [1081]

Les chantiers antiques obéissaient évidemment à des contraintes économiques et budgétaires, comme Vitruve le définit dans ces deux textes. Sur les chantiers ordinaires ou courants, la documentation archéologique tend à montrer que toutes les étapes du travail, depuis le choix des recettes jusqu'à leur application, prenaient en compte les nécessités de limitation des coûts : ceux-ci obligeaient, la plupart du temps, à s'approvisionner en matériaux dans l'environnement immédiat pour économiser le coût de transport. Vitruve est parfaitement conscient de ces nécessités, qui sont le fondement des contraintes d'un entrepreneur : il conseille de remplacer les matériaux coûteux, par d'autres moins chers (extraction à proximité du chantier ou des matériaux de récupération, comme les tuiles) ou il n'hésite pas à vanter la qualité de la pierre de construction proche de Rome. En cela, les prescriptions vitruviennes d'approvisionnement des matériaux s'appliquent surtout pour l'Italie centrale ou méridionale. Toutefois, la limitation des coûts n'est pas synonyme de limitation de qualité pour notre architecte, bien au contraire. En effet, il précise bien en 6, 8, 9 qu'on juge un ouvrage selon trois critères dont deux s'appliquent aux choix et à l'usage des matériaux : « le luxe et l'ordonnance architecturale ».

[1080] Trad. P. Fleury.
[1081] Trad. L. Callebat.

C'est là qu'il faut encore insister sur la relation entre l'architecte et le commanditaire laquelle est clairement définie par Vitruve : les matériaux sont choisis par le *dominus*, le financier des travaux du gros œuvre et des finitions. Celles-ci constituent une part non négligeable du budget : les matériaux sont donc adaptés à l'usage (tuileau pour l'*opus signinum* comme béton ou enduit, et pigments pour les peintures). Si le *dominus* pouvait payer pour du bleu égyptien, fabriqué dans les ateliers de Vestorius en Campanie, cela signifiait qu'il prenait en charge, directement ou indirectement, le coût financier de son transport à Rome. A une échelle édilitaire supérieure, l'exemple du port de Césarée en Judée montre que les commanditaires n'ont pas hésité à importer la pouzzolane napolitaine depuis l'autre bout de la Méditerranée occidentale plutôt que de se contenter de la cendre volcanique de Santorin, pourtant géographiquement plus proche. Ainsi, si un *dominus* pouvait acheter un matériau de prix, il savait que cela rejaillirait sur le prestige de son ouvrage. A l'inverse, le commanditaire courant pouvait économiser sur les matériaux aux dépens de la qualité du gros œuvre pour reporter le budget sur les matières luxueuses. Mais une telle pratique devait choquer l'architecte qu'était Vitruve, pour lequel le choix d'un matériau même économique - pour la fabrication du torchis - répondait aux mêmes exigences de qualité que les matières premières plus chères.

Le premier critère mentionné pour juger de la qualité d'un ouvrage, en 6, 8, 9 est la « qualité de la main d'œuvre ». L'application de ce paradigme à la préparation des mortiers montre que, pour le gros œuvre ou les enduits, leur fabrication est à quelques détails près, relativement identique, et que, selon les usages, des types de proportions existent. L'image qui se dégage du maçon vitruvien est celle d'un ouvrier (manœuvre ou artisan) bien formé ou bien supervisé et qui applique les recettes de manière rigoureuse. Les méthodes décrites dans le *De architectura* marque le début d'une volonté qualitative des préceptes de chantier qui ira croissante au cours du siècle suivant dans l'architecture concrète. On a souvent mentionné le décalage entre les recommandations vitruviennes et la réalité archéologique, mais il est indéniable que pour les matériaux minéraux et leurs produits, Vitruve a une exigence qualitative.

La lecture seule du traité d'architecture renseigne sur l'origine des matières premières et leur transformation en produits fabriqués, mais il ne permet pas d'envisager l'ensemble des étapes de production depuis l'extraction jusqu'à leur usage sur un chantier. La comparaison entre la science des matériaux, les données archéologiques et enfin le *De architectura* a permis, dans la mesure du possible, de résumer ces étapes de fabrication [1082] :

- l'approvisionnement en matières premières (choix des substances, influence de la diversité de l'environnement géologique) ou les pratiques éventuelles de « récupération » de matière première : tuile usagée, gravats, etc.

[1082] Inspiré de Coutelas 2003, pp. 458-459.

- le traitement des matières premières après prélèvement (pour le granulat : tri, criblage, lavage, concassage, etc.).
- la mise en œuvre : traitements tels que le damage, le polissage, etc.

Dans le domaine des mortiers, il était auparavant difficile d'attribuer un usage technique à des termes, comme *macritas* « nature maigre » ou *pinguitas* « nature grasse », – lesquels sont associés dans le texte vitruvien à *harena* « sable » – ; ils devaient renvoyer à des propriétés ou des concepts liés à ce matériau. Le programme de recherche européen GEOCISTEM a permis de comprendre les contraintes des carrières de sable volcanique ou de pierre et une première familiarité avec les matériaux minéraux. Les résultats des prélèvements archéologiques à Rome et Ostie ont rendu possible une meilleure connaissance de la chimie des réactions du tuileau (*testa*), et du sable volcanique calciné artificiellement avec la chaux. Par exemple, les analyses des spécimens de mortiers d'Ostie (OST 3 et OST 7 G) montrent qu'à l'époque impériale (Claude et Trajan), des sables volcaniques sont cuits pour améliorer la qualité du liant de chaux. L'origine de cette pratique peut trouver son origine dans une constatation de M. E. Blake : la brique cuite romaine peut être constituée d'un bon mélange d'argile rouge, et d'un dégraissant, à l'instar d'un sable volcanique résistant à la chaleur. Par exemple, il appert que la cuisson du sable volcanique comme ajout pouzzolanique à la chaux provient de l'usage de ce sable comme élément anti-plastique dans la brique cuite.

Notre étude a apporté des éléments d'éclairage sur *materia* dont le sens de « mortier » est nouveau dans la littérature technique latine. Puisque *materia* est à l'origine le tronc de l'arbre considéré en tant que producteur de rejetons (grumes, planches), ce mot a pour sens vitruvien le tuf volcanique peu induré qui fournit l'*harena fossicia* ; de même, *materia* désignerait par un raccourci métonymique le sable contenu dans le liant, puis le liant lui-même, puisque, par ce procédé linguistique, *harena* et *marmor* qualifient l'enduit de sable et de marbre. Pline (*Nat*. 36, 176) ne se sert pas de *materia*, mais d'*intrita*, qui vient du verbe *interere* « broyer, mélanger, tremper ». Il appert que l'on peut constituer un cahier des charges, qu'un hypothétique maçon vitruvien pouvait respecter :

- éventail granulométrique vitruvien: *puluis* « poudre, cendre volcanique » (< 63 μm, taille que les ingénieurs antiques ne pouvaient pas mesurer), *sabulo* « sablon » (entre 63 μm et 0,25mm), *harena* (entre 0,25 mm et 2 mm), *caementum* (entre 2 mm et 200 mm) ;
- composition en granulats d'un mortier standard vitruvien pour un volume d'agrégat : 33,33 % de particules inférieures à 0,25 mm (0,5 kg ; 0,333 l) et 66,66 % de particules entre 0,25 et 2 mm (1 kg ; 0,666 l) ;
- proportion massique et volumique en agrégat du béton des citernes en *signinum* (8, 6, 14) : 70 % de moellon (11,66 l) et 30 % de sable (5 l).

A partir des connaissances granulométriques et géotechniques des terrains meubles, il a été possible d'expliquer les termes de *macritas* (2, 4, 3) et de *pinguitas* (2, 4, 1), dont la signification permet de les relier à des pratiques de tamisage. La *macritas* « nature maigre » du sable d'enduit fait référence au fait que l'*harena fluuiatica* (ou *marina*) a été lavée et tamisée : ce type de sable est propre, c'est-à-dire sans particules fines qui rendent le sable « gras » et terreux. Si le sable volcanique contient trop d'éléments fins, ceux-ci peuvent influer trop rapidement sur la prise de la chaux aérienne et le maçon ne peut pas travailler, talocher, ou peindre l'enduit. A l'opposé, la *pinguitas* « propriété grasse » semble s'appliquer au sable volcanique lequel peut contenir beaucoup de particules fines qu'il faudrait tamiser. En effet, depuis l'époque républicaine jusqu'à Auguste, le mortier romain est terreux, ce qui est dû à la présence naturelle, dans le sable, de fines particules volcaniques. L'ajout d'un sassage de l'arène volcanique à la chaîne opératoire distingue le mortier augustéen du césarien et permet une meilleure qualité de sable.

Bilan

Cette enquête sur le vocabulaire des matériaux et leurs produits dérivés corrobore une notion qui était déjà envisagée (cf. Callebat 2003) : ce vocabulaire est un mélange de différents langages : celui du naturaliste, avec sa taxinomie, celui du théoricien géologue et enfin celui de l'ingénieur et de l'homme de chantier. Pour Vitruve, géologie et architecture ne sont pas interchangeables : les sciences de la terre précèdent toujours les applications en construction. On s'aperçoit aussi que Vitruve ne fait presque pas d'invention lexicale. Il se contente d'utiliser des termes courants et de métier déjà en usage pour qualifier des concepts nouveaux. *Materia* illustre à merveille les nouvelles notions scientifiques qu'il associe à ce terme. Initialement, ce substantif ancien et technique appartient au vocabulaire des charpentiers et des bûcherons, et désigne le tronc de l'arbre à partir duquel on tire des planches et d'autres matières premières (branches, etc.). Métaphoriquement, le tronc d'arbre (*materia*) est la « mère » des matériaux du charpentier et par extension de la construction en général. Ce terme de métier a connu un développement sémantique extraordinaire, puisqu'il est passé dans le vocabulaire latin courant sous les sens de « bois, matière, matériau, thème, sujet ». Vitruve ajoute à ces sens devenus courants des acceptions scientifiques issues de la géologie et de l'architecture. Pour lui, la *materia* qualifie le tuf volcanique, qui, comme le bois, devient la « mère » des matériaux du maçon jusqu'à devenir par synecdoque, le mortier de chaux et d'*harena* de la *structura caementicia*, innovation majeure de l'architecture romaine.

Le choix des matériaux selon qu'ils soient naturels ou artificiels se fait en fonction de leurs dimensions et de leur résistance aux éléments, donc de leurs propriétés. Les pierres sont taillées pour être incorporées dans les murs. La taille des matériaux fins nécessite qu'ils soient mélangés ensemble avec un liant ou de l'eau. La combinaison entre les différentes

composantes d'un ensemble permet d'octroyer à ce dernier des propriétés supplémentaires que ne possèdent pas ces mêmes composantes. Vitruve définit cette notion avec le terme *temperatura* « composition équilibrée ». Ce concept s'applique aux éléments d'un mortier ou, à une échelle supérieure, d'une maçonnerie. Même si Vitruve ne parle pas exhaustivement de tous les matériaux minéraux, il en décrit la plupart. Les roches (*lapis*, *marmor*, *saxum*, *silex*) fournissent les moellons (*caementum*), les pierres de taille (*lapis quadratus*, *saxum quadratum*), l'argile (*argilla*, *creta*, *lutum*, *rubrica*), le sable (*harena*, *sabulo*, *puluis*) les pigments (*sil*, *usta*), et le calcaire (*lapis*, *saxum*) pour la chaux. Pourtant, certaines matières sont plus utilisées que d'autres : les fréquences d'occurrences d'*harena* (35) et de *calx* (35) et de *materia/materies* (19) révèlent l'importance du mortier de chaux et sable dans le traité d'architecture. Pour le moellon (*caementum* : 20) et la pierre (*lapis* : 21 ; *marmor* : 21 ; *saxum* : 28 ; *silex* : 6), il en est de même. Pourtant, on sait que Vitruve met en avant des techniques architecturales souvent archaïques (adobes) au détriment d'autres, qui sont pourtant plus fréquentes à son époque (briques cuites), et qu'il avertit des désavantages des procédés d'édification alors que ceux-ci sont maîtrisés depuis longtemps (*opus reticulatum*).

Vitruve reste attaché à des principes architecturaux traditionnels. En regard, les techniques novatrices impliquant une rapidité d'exécution ou de fabrication, seraient considérées par notre architecte comme décadentes, puisqu'elles seraient le signe d'une perte de qualité. De plus, les matériaux énumérés sont communs et traditionnels pour être pris en charge par des propriétaires ou des commanditaires (publics ou privés) responsables de projets de construction ou de restauration.

Malgré ses positions conservatrices par rapport aux techniques édilitaires, Vitruve décrit des procédés qui connaîtront un développement important dans les décennies suivantes. A ce titre, son œuvre est toujours examinée et interprétée à la lumière des nouvelles perspectives et elle demeure une source majeure pour l'histoire de l'architecture et des sciences. Récemment, une étude géologique a obtenu des données précises qui manquaient à la documentation archéologique [1083]. En prenant telles quelles les descriptions vitruviennes des pierres, elle a trouvé des roches (cohérentes et meubles) correspondant aux informations du traité d'architecture et de conclure que les observations de Vitruve concernant les matériaux de construction sont confirmées par les analyses géologiques. Pourtant, il reste à intégrer les résultats particuliers de cette étude dans un ensemble plus vaste, comme l'archéologie, l'architecture antique, l'histoire de la pensée dans les sciences anciennes et les textes techniques antiques. En effet, cette démarche est indispensable sous peine de tomber, pour ceux qui se servent du *De architectura* (archéologues, traducteurs ou historiens de l'art et des sciences), dans les problèmes méthodologiques mentionnés par P.

[1083] M. Jackson, F. Marra, « Roman Stone Masonry : Volcanic Foundations of the Ancient City », *American Journal of Archaeology*, n°110, 2006, pp. 403-436.

Gros (cf. Introduction). Telle a été notre approche que nous voulions généraliste et notre recherche se pose maintenant comme une perspective plus ouverte, car le traité vitruvien et d'autres textes antiques offrent encore un champ étendu d'études où des développements peuvent donc être envisagés dès à présent, pour affiner ce travail dans les domaines de la géologie, des sciences des matériaux et des procédés, de l'archéologie comme celui des humanités.

Bibliographie

Les abréviations qui concernent les textes latins (*e. g.* : Plin. *Nat.* 35, 165) sont celles utilisées dans le *Thesaurus linguae latinae* (abrégé en *T. L. L.*). Celles des revues proviennent traditionnellement de *l'Année Philologique* qui est la base de données de référence dans le domaine des lettres classiques et de l'histoire ancienne. Dans la majorité des cas, nous avons évité d'avoir recours aux abréviations des revues pour les écrire sous leur nom complet de façon que les lecteurs non spécialistes puissent s'y référer plus aisément. Pour la bibliographie, les références comme *Vitruve II* ou *Pline XXXV*, renvoient aux auteurs latins publiés dans la « Collection des Universités de France » (Belles-Lettres), dont nous donnons la référence complète. Les autres auteurs latins ou anciens (Georgius Agricola, les auteurs anciens de la collection anglophone Loeb Classical Library) renvoient aux éditions allemandes, anglaises ou italiennes. Si on retrouve plusieurs auteurs dans un même ouvrage collectif, comme des actes de colloque, la référence de cet ouvrage est abrégée sous la forme des deux éditeurs principaux suivis de l'année de publication : la référence complète de l'ouvrage collectif est classée alphabétiquement avec les autres renvois.

Auteurs latins, grecs

Editions de Vitruve

1) Collection des Universités de France

Vitruve, *De l'Architecture*, *livre 1*, édit. P. Fleury, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1990.
Vitruve, *De l'Architecture*, *livre 2*, édit. Louis Callebat, Pierre Gros et Catherine Jacquemard, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1999.
Vitruve, *De l'Architecture, livre 3*, édit. Pierre Gros, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1990.
Vitruve, *De l'Architecture, livre 4*, édit. Pierre Gros, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1992.
Vitruve, *De l'Architecture*, *Livre 6*, édit. Louis Callebat, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 2004.
Vitruve, *De l'Architecture*, *Livre 7*, édit. Bernard Liou, Michel Zuinghedau et Marie-Thérèse Cam, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1995.
Vitruve, *De l'Architecture*, *livre 8*, édit. Louis Callebat, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1973.
Vitruve, *De l'Architecture*, *livre 9*, édit. Jean Soubiran, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1969.
Vitruve, *De l'Architecture*, *livre 10*, édit. L. Callebat et P. Fleury, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1986.

2) Autres éditions

Auguste Choisy, *Vitruve*, Paris, 1909, 4 volumes (réédité en 2 volumes, Paris, 1971).
F. Krohn, *Vitruvii de architectura libri decem*, Leipzig, 1912.
Vitruvius, *The Ten Books on Architecture*, édit. Morris Hicky Morgan, Londres, 1914.
Vitruvio, *Vitruvi de architectura quae pertinent ad disciplinas archaeologicas selegit, recensuit, vertit adnotationibus instruxit Silvius Ferri [Libri I-VII]*, Palombi, Rome, 1960.
Vitruvius, *On Architecture*, édit. F. Granger, Loeb Classical Library, Heinemann, Londres, 1983.
Vitruv, *Baukunst*, traduction Auguste Rode, introduction Georg Germann, commentaire Andrei Giere, Artemis Verlag für Architektür, München, 1987, 2 tomes.

Claude Perrault, *Les dix livres d'architecture de Vitruve*, Paris, 1684, réimprimé, Pierre Mardaga Éditeur, Liège, 1988.
Vitruv, *Zehn Bücher über Architektur*, édit. C. Fensterbusch, Darmstadt, 1991.
Vitruvio, *De architectura*, édit. Pierre Gros, Antonio Corso et Elisa Romano (traduction et commentaire), volumes 1 et 2, Giulio Einaudi editore, Torino, 1997.
Vitruvi de Architectura, ΒΙΤΡΟΥΒΙΟΥ ΠΕΡΙ ΑΡΧΗΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, édit. P. Lephas, Pléthron, Athènes, 1997-1998.
Vitruvius, *Ten Books on Architecture*, édit. I. D. Rowland, T. Noble Howe, Cambridge, University Press, 1999.

Auteurs latins, grecs et médiévaux cités

Georgius Agricola, *De natura fossilium libri X, die Mineralien*, traduction et commentaire de Georg Fraustadt et Hans Prescher, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1958.
Georgius Agricola, *Schriften zur Geologie und Mineralogie I, Epistula ad Meurerum, De ortu et causis subterraneorum libri V, De natura eorum quae effluunt ex terra IV*, traduction Georg Fraustadt et Hans Prescher, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1956.
Aristote, *Météorologiques*, tome 1, *Livres 1 et 2*, édit. Pierre Louis, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1982.
Caton, *De l'agriculture*, édit. R. Goujard, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1975.
Cetius Faventinus, *Abrégé d'architecture privée*, édit. Marie-Thérèse Cam, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 2002.
Columella, *On agriculture*, édit. E. S. Forster et E. H. Heffner, volume 2 (5-9) Loeb Classical Library, Londres, 1968.
Columelle, *De l'agriculture, livre 3*, édit. Jean Christian Dumont, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1993.
Les agronomes latins Caton, Varron, Columelle, Palladius, édit. M. Nisard, traduction Antoine (Caton), M. Wolf (Varron), Columelle (Sabourreux de la Bonnetterie), Palladius (Sabourreux de la Bonnetterie), Paris, 1851.
Les alchimistes grecs, tome 1, édit. R. Halleux, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1981.
L'Etna, Poème, édit. J. Vessereau, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1923.
The Geography of Strabo, édit. Horace Leonard Jones, Loeb Classical Library, William Heinemann, London, Harvard University Press, Cambridge, 1954.
Hippocrate, *Airs, eaux, lieux*, tome 2, deuxième partie, édit. Jacques Jouanna, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1996.
Livy, *Books 8-10*, volume 4, édit. B. O. Forster, Loeb Classical Library, Londres, 1948.
Lucilius, *Satires*, tome 2 (*Livres 9-28*), édit. F. Charpin, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1979.
Lucrèce, *De la nature*, tome deuxième, édit. Alfred Ernout, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris 1960.
Ovide, *Les métamorphoses*, tome 2, (*6-10*), édit. G. Lafaye, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1928.
Palladius, *De l'agriculture*, édit. Saboureux de la Bonnetterie, Collection Nizard, Paris, 1851.
Palladius, *Traité d'agriculture*, tome premier (*Livres 1 et 2*), édit. René Martin, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1976.
Philostratus, *The life of Apollonius of Tyana*, *The epistles of Apollonius and the treatise of Eusebius*, volume I, édit. F. C. Conybeare, Loeb Classical Library, William Heinemann, Londres, G. P. Putnam's sons, New-York, 1926.
Plaute, tome 4, *Menaechmi - Mercator- Miles gloriosus*, édit. A. Ernout, quatrième édition revue et corrigée, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1956.
Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle, livre 17*, édit. J. André, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1964.
Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle, livre 18*, édit. H. Le Bonniec, A. Le Boeuffle, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1972.
Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle, livre 31*, édit. Guy Serbat, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1972,
Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle, livre 33*, édit. Hubert Zehnacker, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1983.
Pline L'Ancien, *Histoire Naturelle, livre 35*, édit. Jean-Michel Croisille, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1985.

Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle*, *livre 36*, édit. J. André, R. Bloch, A. Rouveret, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1981.
Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle*, *livre 37*, édit. E. de Saint-Denis, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1972.
Pliny, *Natural History, Books XXXIII-XXXV*, Volume 9, édit. H. Rackham, Loeb Classical Library, Harvard University Press, Cambridge, 1968.
Pliny, *Natural History*, *Libri XXXVI-XXXVII*, Volume *X*, édit. D. E. Eichholz, Loeb Classical Library, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1989.
Posidonius, édit. L. Edelstein et I. G. Kidd, volume 1, Cambridge, 1972.
Remains of old latin, Volumes 1-2, édit. E. H. Warmington, Loeb Classical Library, William Heinemann, London, Harvard University Press, Cambridge, Massachussetts, 1956-1957.
Salluste, *Catilina, Jurgurtha*, *Fragments des histoires*, édit. Alfred Ernout, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1980.
Sénèque, *Histoires Naturelles*, tome 1 (*Livres 1-3*), édit. Paul Oltramare, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1961.
Sénèque, *Lettres à Lucilius*, tome 3 (*Livres 8-13*), édit. François Préchac et Henri Noblot, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1957.
Suétone, *Vies des douze césars*, t. 2, Tibère, Caligula, Claude, Néron, édit. H. Ailloud, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1932.
Tertullien, *Contre les Valentininens*, tome 1, texte et traduction, tome 2, commentaire et index, édit. Jean-Claude Fredouille, Sources chrétiennes, les éditions du cerf, Paris, 1980-1981.
Theophrastus, *On Stones*, édit. E. R. Caley, J. F. C. Richards, Columbus, Ohio State University, 1956.
Theophrastus, *De lapidibus*, édit. D. E. Eicholz Oxford, The Clarendon Press, 1965.
Tibulle et les auteurs du Corpus Tibullianum, édit. M. Ponchont, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1924.
Tite-Live, *Histoire Romaine*, tome 11, *Livre 21*, édit. Paul Jal, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1988.
Tite-Live, *Histoire Romaine*, tome 31, *Livres 41-42*, édit. P. Jal, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1971.
Titi Lucreti Cari De Natura Deorum libri sex, édit. Cyril Bailey, volume 2, *Commentary*, *books 1-3*, At the Clarendon Press, Oxford, 1950.
Varron, *Economie Rurale*, *livre premier*, édit. J. Heurgon, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1978.
Varron, *Economie Rurale*, *Livre 2*, édit. Charles Guiraud, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1985.
Varron, *Economie Rurale*, *Livre 3*, édit. Charles Guiraud, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1997.
Varron, *De lingua latina, livre 5*, édit. J. Collart, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1954.
Virgile, *Enéide*, *livres 5-8*, édit. J. Perret, Collection des Universités de France, Les Belles-Lettres, Paris, 1982.

Dictionnaires et encyclopédies

Arnaldo d'Aversa, *Dizionario della lingua etrusca*, Paideia Editrice, Brescia, 1994.
R. Braconnier, J. Glandard, *Nouveau Larousse agricole*, Paris, 1952.
Oscar Bloch, Walther won Wartburg, *Dictionnaire étymologique de la langue française*, huitième édition, Presses Universitaires de France, Paris, 1989.
Carl Darling Buck, *A dictionary of selected synonyms in the principal indo-european languages*, the University of Chicago Press, Chicago, 1988.
L. Callebat, P. Bouet, P. Fleury, M. Zuinghedau, *Vitruve*, *De Architectura*, *Concordance*, Olms-Weidmann, Hildescheim – Zürich – New York, 1984, 2 volumes.
Louis Callebat, Philippe Fleury, *et alii*, *Dictionnaire des termes techniques du* De architectura *de Vitruve*, Olms-Weidmann, Hildesheim, 1995.
P. Chantraine, *Dictionnaire étymologique de la langue grecque*, *Histoire des mots*, Editions Klincksieck, Paris, 1984-1990, 2 volumes.
Collectif, *Thesaurus linguae latinae*, B. G. Teubner, Leipzig-Stuttgart, 1900-1996.
C. Daremberg, E. Saglio, *Dictionnaire des antiquités grecques et romaines*, tome premier, première partie (A-B), Paris, 1877, reimprimée par Akademische Druk und Verlaganstalt, Graz (Autriche), 1962.
C. Daremberg, E. Saglio, E. Pottier, *Dictionnaire des antiquités romaines et grecques*, volume III, 2, Hachette, Paris, 1877-1919.

C. Daremberg, E. Saglio, E. Pottier, *Dictionnaire des antiquités romaines et grecques*, volume IV, 1, Hachette, Paris, 1918.
C. Daremberg, E. Saglio, E. Pottier, *Dictionnaire des antiquités romaines et grecques*, volume V, Hachette, Paris, 1877-1919.
H. Derenbourg *et alii*, *Grande encyclopédie, inventaire raisonné des sciences, des lettres et des arts*, tome 26, Paris (sans date).
A. Erman, H. Grapow, *Wörterbuch der ägyptischen Sprache*, volume 2, Akademie Verlag, Berlin, 1926-1953.
A. Ernout, A. Meillet, J. André, *Dictionnaire étymologique de la langue latine, histoire des mots*, quatrième édition, éditions Klincksieck, Paris, 1985.
H. Frisk, *Griechiesches etymologisches Wörterbuch*, volume II, Κρ-Ω, Carl Winter Universitätsverlag, Heidelberg 1970.
E. Guillaume, s. v. *arena*, *Dictionnaire des Antiquités Grecques et Romaines*, édit. Ch. Daremberg, Edm. Saglio, tome 1, Hachette, Paris, 1877.
P. Larousse, *Grand dictionnaire universel du XIX^e^ siècle*, volume 1, Paris, 1886.
P. Larousse, *Grand dictionnaire universel du XIX^e^ siècle*, volume 2, Paris, 1867.
P. Larousse, *Grand dictionnaire universel du XIX^e^ siècle*, volume 5, Paris, 1869.
P. Larousse, *Grand dictionnaire universel du XIX^e^ siècle*, volume 8, Paris, 1872.
Henry George Liddell, Robert Scott, Henry Stuart Jones, Roderick McKenzie, *A Greek-English Lexicon*, Clarendon Press, Oxford, 1940.
P. W. Glare, *Oxford latin dictionary*, fascicule VI, Clarendon Press, Oxford, 1977.
P. W. Glare, *Oxford latin dictionary*, fascicule VII, Clarendon Press, Oxford, 1980.
H. Hübner, *s. v.* Callenses, in A. Pauly, G. Wissova, *Real-Encyclopädie der klassischen Altertumswissenchaft*, Stuttgart, (1893-1978), 3, 1, 1897, col. 1359-1360.
L'Encyclopédie de Diderot et Dalembert, éditions Redon, Marsanne, cédérom, 2000.
H. Kees, in *Paulys Real-Encyclopadie der classischen Altertumswissenschaft* (1894-1972) édit. A. Pauly, G. Wissowa, XVII 3, 1949.
J. P. Mallory, D. Q. Adams, *Encyclopedia of Indo-European Culture*, Fitzroy Dearborn Publishers, Londres, 1997.
A. Pauly, G. Wissowa, *Paulys Real-Encyclopadie der classischen Altertumswissenschaft*, Stuttgart, 1894-1972.
A. Rich, *Dictionnaire des antiquités romaines et grecques*, Didot, Paris, 1859.
L. Richardson Jr., *A new topographical dictionary of ancient Rome*, Johns Hopkins University Press, Baltimore et Londres, 1992.
A. Walde, J. B. Hofman, *Lateinisches etymologisches Wörterbuch*, 5^e^ édition, Carl Winter Universitätsverlag, Heidelberg 1982, 3 tomes.

Ouvrages de langues

J. André, *Etude sur les termes de couleurs dans la langue latine*, éditions Klincksieck, Paris, 1949.
J. André, « Notes critiques sur le texte de Pline », *Revue de Philologie*, XXXV, 1961, pp. 58-59.
J. André, *Noms de plantes dans la Rome antique*, Paris, 1985.
M. Biffi, « Sul lessico architettonico : alcuni casi controversi di derivazione vitruviana », *Studi di lessicografia italiana*, 16, 1999, pp. 31-161.
E. Bosazzi, *'De architectura' di Vitruvio, Studi sulla lingua,* Editreg, Trieste, 2000.
J-P. Brachet, C. Moussy, *Latin et langues techniques*, Presses de l'Université de Paris-Sorbonne, Paris, 2006.
P. Bruneau, « Philologie mosaïstique », *Journal des savants*, janvier-juin 1988, pp. 3-73.
Louis Callebat, « Le vocabulaire de l'hydraulique dans le livre VIII du *De Architectura* de Vitruve », *Revue de philologie, de littérature et d'histoire anciennes*, XLVIII, fascicule 2, 1973, pp. 313-329.
Louis Callebat, « La prose du 'De Architectura' de Vitruve, » *Aufstieg und Niedergang der Römischen Welt*, tome 2, n° 30.1, 1982, pp. 696-722.
L. Callebat, « Le vocabulaire de l'hydrologie et des sciences auxiliaires dans le livre VIII du *De architectura* de Vitruve », *Voces*, Vol. 1, 1990, pp. 9-22.
J. Collard *et alii*, *Varron. Grammaire antique et stylistique latine,* Publications de la Sorbonne, série "Etudes", 14, Paris, 1978.
A. Ernout, *Les éléments dialectaux du vocabulaire latin*, 2è tirage, Editions Champion, Paris, 1928.
A. Ernout, « Les éléments étrusques du vocabulaire latin », *Bulletin de la Société de Linguistique*, tome 30, 1929, pp. 82-124.
A. Ernout, *Les adjectifs latins en –osus et en -ulentus*, Klincksieck, Paris, 1949.

A. Ernout, F. Thomas, *Syntaxe latine*, éditions Klincksieck, Paris, 1984.
M. Fruyt, *Problèmes méthodologiques de dérivation à propos des suffixes latin en …cus, Les dérivés latins en –ko-*, Klincksieck/Publications de la Sorbonne, Paris, 1986.
M. Fruyt, « L'emprunt suffixal du latin au grec », *Bulletin de la société de linguistique de Paris*, n° LXXXII, Fascicule 1, 1987, pp. 227-255.
M. Fruyt, « Etude sémantique des diminutifs latins : les suffixes *-ulus*, *-culus*, *-ellus*, *-illus*… dé-substantivaux et dé-adjectivaux », in *Actes du 5e colloque de linguistique latine*, édit. M. Lavency et D. Longrée, Cahiers de l'Institut de linguistique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 15, 1-4 1989, pp. 127-138.
M. Fruyt, « Les procédés de désignation dans les noms de plantes en latin », in *Les phytonymes grecs et latins, actes du colloque international tenu à Nice, les 14, 15 et 16 mai 1992 à la Faculté des Lettes, Arts et Sciences humaines, Université de Nice – Sophia Antipolis*, Centre de recherches comparatives sur les langues de la Méditerranée ancienne, L. A. M. A., n°12, Université de Nice – Sophia Antipolis, Nice, 1993, pp. 135-188.
M. Fruyt, « Formation des mots chez Pline l'Ancien et prolongements dans le néo-latin botanique », in Brachet et Moussy 2006, pp. 11-33.
J. B. Hofmann, Anton Szantyr, *Lateinische Syntax und Stilistik*, tome 2, C. H. Beck'sche Verlagbuchhandlung, München, 1963.
Manu Leumann, *Lateinische Laut- und Formen- Lehre*, C. H. Beck'sche Verlagbuchandlung, München 1963.
E. Marini, « La "systématicité" des termes techniques : le cas de la terminologie latine de l'exploitation de la pierre » in Brachet et Moussy 2006, pp. 95-114.
A. Meillet, J. Vendryes, *Traité de grammaire comparée des langues classiques*, 5è édition, Honoré Champion, Paris, 1979.
X. Mignot, *Les verbes dénominatifs latins*, Paris, 1969.
Pierre Monteil, *Éléments de phonétique et de morphologie du latin*, éditions Nathan, Paris, 1986.
R. Rebuffat, « Vocabulaire thermal », in *Les thermes romains, Actes de la table ronde organisée par l'Ecole française de Rome*, Ecole française de Rome, Palais Farnèse, Rome, 1991, pp. 1-32.
A. Schramm, « Zu Vitruvius, II, 3, 1, *Sabulo solutus* und *sabulo masculus* », *Philologische Wochenschrift*, 18, 1930, pp. 557-558.
G. Serbat, Les *dérivés nominaux du latin à suffixe médiatifs*, Paris, 1975.
Keikki Solin, « Zu Vitruv 2, 3, 1, *sabulonosus* und keine Verderbnis », *Hermes*, 100, 1972, pp. 122-124.

Etudes

Etudes sur Vitruve

Marco Biraghi, « Il problema dell'imitazione in Vitruvio », in Ciotta, Folin 2003, pp. 71-74.
L. Callebat, « Les matériaux de l'architecte », in Ciotta, Folin, 2003, pp. 88-94.
Gianluigi Ciotta, Marco Folin et Marco Spesso, *Vitruvio nella cultura architettonica antica, medievale e moderna, Atti del Convegno internazionale di Genova 5-8 novembre 2001*, De Ferrari, Genova, 2003 (2 tomes).
A. Corso, « Territorio e città dell'Italia settentrionale nel *De Architectura* di Vitruvio », *Archeologia Veneta*, 6, 1983, pp. 49-69.
M. Courrent, *L'idée de nature dans le* De architectura *de Vitruve*, thèse de doctorat nouveau régime sous la direction de Louis Callebat, Université de Caen, Caen, 1995.
F. Davidovits, *Les mortiers de pouzzolanes artificielles chez Vitruve, évolution et historique architecturale*, Mémoire de D.E.A (Master 2), Université Paris X-Nanterre, Paris, 1992.
F. Davidovits, « A la recherche du *carbunculus* », *Voces*, 5, 1994, pp. 33-46.
F. Davidovits, « *Circiter tertia parte ponderis* (Vitruve II, 5), l'existence d'une chaux hydraulique dans l'architecture romaine », *Eulimene*, 4, 2003, pp. 9-25.
F. Davidovits, « Notes on the Nature of Creta Anularia and Vitruvius' Recipe for Egyptian Blue », in *Colour in the Ancient Mediterranean World*, (*International conference, 10-13 september 2001, Edinburgh University*), édit. L. Cleland, G. Davies, K. Stears, British Archaeological Report, BAR International series 1267, Oxford, 2004, pp. 16-21.
Anna Decri, « Vitruvio visto dalle ricerche di archeologia dell'architettura: discussione di alcuni esempi », in Ciotta, Folin 2003, pp. 256-259.
J. J. De Jong, H. A. Geertman, *Munus non ingratum, Proceedings of the International Symposium on Vitruvius' De Architectura and the Hellenistic and Republican Architecture, Leiden, January 1987*, Bulletin antieke beschaving - Annual Papers on Classical Archaeology, supplément 2, 1989.

P. Fleury, *La mécanique de Vitruve*, Presses universitaires de Caen, Caen, 1993.
P. Grimal, « Vitruve et la technique des aqueducs », *Revue de philologie, de littérature et d'histoire anciennes*, XXIX, 1945, pp. 162-174.
P. Gros, « L'*auctoritas* chez Vitruve, Contribution à l'étude de la sémantique des ordres dans le *De architectura* », in De Jong, Geertman 1989, pp. 126-133.
P. Gros, « *Munus non ingratum*. Le traité vitruvien et la notion de service » in *Le projet de Vitruve : objet, destinataires et réception du De architectura, Actes du colloque international (Rome, EFR, 26-27 mars 1993)*, Rome, Collection de l'Ecole française de Rome n°192, Ecole française de Rome, Palais Farnèse, Rome, 1994, pp. 75-90.
P. Gros, « L'*opus signinum* selon Vitruve et dans la terminologie archéologique contemporaine », pp. 142-152, in Ciotta, Folin 2003.
P. Gros, *Vitruve et la tradition des traités d'architecture*, Collection de l'Ecole française de Rome n°366, Ecole française de Rome, Palais Farnèse, Rome, 2006.
H. Knell, *Vitruvs Architekturtheorie*, Darmstadt, 1985.
E. Romano, *La capanna e il tempio* : *Vitruvio o dell'Achitectura*, Palerme, 1987.

Etudes générales

A

Jeanine Abdul Massih, *L'architecture en pierre de taille et en blocage de djousse à Doura-Europos (Syrie) Histoire et urbanisme,* thèse de doctorat nouveau régime sous la direction de Jean-Marie Dentzer et de Pierre Leriche, 2 volumes, Université de Paris I, Paris, 2000.
J.-P. Adam 1981, in Collectif 1981, pp. 96-105.
J.-P. Adam et M. Frizot, *Dégradation et restauration de l'architecture pompéienne*, Editions du CNRS, Paris, 1983.
J.-P. Adam, *L'architecture militaire grecque*, Picard, Paris, 1982.
J.-P. Adam, *La construction romaine, matériaux et techniques*, Picard, Paris, 1995.
E. Akurgal, *s. v.* Pitane, in *The Princeton Encyclopedia of classical Sites*, Princeton, 1976.
V. Aladenise, *Technologie de la taille de pierre*, troisième édition, Librairie du compagnonnage, Paris, 1988.
P. Amalfitano, *I campi Flegrei*, Venise, 1990.
J. C. Anderson Jr., *Roman Architecture and Society*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1997.
J. Andreau, « A propos de la vie financière à Pouzzoles: Cluvius et Vestorius », in *Les " bourgeoisies " municipales italiennes aux IIe et Ier siècles avant J.-C. , Colloque international du CNRS, Naples, 7-10 déc. 1981,* Bibliothèque de l'Institut français de Naples, Publications du Centre Jean Bérard, n°6, Naples, 1983, pp. 9-20.
G. Aubert, J. Boulaine, *La pédologie*, Presses Universitaires de France, Paris, 1967.
Jean Auboin, Robert Brousse, Jean-Pierre Lehman, *Précis de géologie, tome 1, Pétrologie,* 2e édition, Dunod, Paris, 1975.
S. Augusti, « La tecnica dell'antica pittura parietale pompeiana », in *Pompeiana, Raccolta di studi per il secondo centenario degli scavi a Pompei,* Napoli, 1950, pp. 313-354.
S. Augusti « I "bianchi" nella pintura antica », *Rendiconti della Accademia di Archeologia Lettere e Belle Arti,* n°37, 1962, pp. 133-141.
S. Augusti, *I colori pomepeiani,* Ministero della pubblica istruzione, Direzione Generale delle Antichità e Belle Arti, Rome, 1967.

B

K. C. Bailey, *The Elder Pliny's Chapters on Chemical Subjects*, deux tomes, Londres, 1929-1932.
André Balland, Alix Barbet, Pierre Gros, Gilbert Hallier, *Bolsena II*, (*Fouilles de l'école française de Rome à Bolsena* (*Poggio Moscini*)), tome 2, *Les architectures (1962-1967)*, Mélanges d'archéologie et d'histoire, Supplément n° 6, Ecole française de Rome, Palais Farnèse, Rome, 1971.
A. Barbet, Cl. Allag, « Techniques de préparation des parois dans la peinture murale romaine », *Mélanges de l'Ecole française de Rome, Antiquité*, 84, 1972, pp. 935-1069.
A. Barbet, *La peinture murale romaine*, Paris, 1985.
Alix Barbet, Arnaud Coutelas, « Une fresque à la romaine », *Archéologia*, 392, septembre 2002, pp. 24-41.

H. Bauer, *s. v.* Cloaca maxima, *Lexicon topographicon urbis Romae*, édit. E. M. Steinby, F. Coarelli, volume I, Quasar, Rome, 1993.
H. Béarat, « Quelle est la gamme exacte des pigments romains ? Confrontation des résultats d'analyse et des textes de Vitruve et de Pline », *Roman Wall Painting, Materials, Techniques, Analysis and Conservation, Proceedings of the International Workshop Fribourg 7-9 March 1996*, édit. H. Béarat, M. Fuchs, M. Magetti, D. Paumier, Fribourg 1997.
G. Becatti, *Scavi di Ostia,* IV, Libreria dello Stato, Roma, 1953.
R. Bedon, *Les carrières et les carriers de la Gaule romaine*, Picard, Paris, 1983.
A. Bertagnini et A. Sbrana, « Il vulcano di Vico, stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche », *Memorie Società Geologica Italiana*, 35, 1986, pp. 699-713.
Jean-Claude Bessac, Alain Ferdière, Odette Chapelot, Florence Journot, *La construction : la pierre*, Collection " Archéologiques ", éditions Errance, Paris, 1999.
M. E. Blake, *Ancient Roman Construction in Italy from the Prehistoric Period to Augustus*, Carnegie Institution, Washington, 1947.
N. Blanc, « Les stucateurs romains : témoignages littéraires, épigraphiques et juridiques », *Mélange de l'Ecole Française de Rome, Antiquité,* 95, 2, 1983, pp. 859-907.
A. Boëthius, J. B. Ward-Perkins, *Etruscan and Roman Architecture*, Harmondsworth, 1970.
A. Boëthius, *Etruscan and Early Roman Architecture*, Londres, 1978.
Patrick Boucheron, Henri Boise, Yvon Thébert, *La brique antique et médiévale, production et commercialisation d'un matériau, Acte du colloque international organisé par le Centre d'histoire urbaine de l'Ecole normale supérieure de Fontenay/Saint Cloud et l'Ecole française de Rome* (*Saint Cloud, 16-18 novembre 1995*), Ecole française de Rome, Rome, 2000.
G. Brodribb, *Roman brick and tile*, Alan Sutton Publishing, Gloucester, 1987.
Christer Bruun, *The water supply of Ancient Rome*: *a study of Roman imperial administration*, Societas Scientiarum Fennica, Helsinki, 1991.
Robert Bugini, Luisa Folli, « Materials and making techniques of Roman republican wall paintings (Capitolium, Brescia, Italy) », in Béarat, Maggetti, Paunier 1997, pp. 121-130.

C

A. Cailleux, *Les roches,* Coll. «Que sais-je?», P.U.F., Paris, 1965.
E. R. Caley, « Ancient Greek Pigments from the Agora », *Hesperia,* 14, 2, 1945, pp. 152-156.
A. Carandini, *Settefinestre, una villa schiavistica nell'Etruria romana*, 3 tomes, Modène, 1985.
R. A. F. Cas, J. V. Wright, *Volcanic Successions Modern and Ancient*, Allen & Unwin, London, 1987.
R. Chevallier, *Les voies romaines*, Picard, Paris, 1997.
F. M. Cifarelli, *Il recinto urbano*, in G. Maria de Rossi 1992, pp. 9-59.
Kenneth Clark, *Le manuel du potier*, Ulysse Editions, Asnières, 1992.
Filippo Coarelli, « Public Building in Rome between the Second Punic War and Sulla », *Papers of the British School of Rome*, 45, 1977, pp. 1-23.
F. Coarelli, *Guide archéologique de Rome*, Hachette, Paris, 1994.
Collectif, *Pompei 1748-1980, I tempi della documentazione, Catalogo della mostra*, Rome 1981.
Collectif, *Le projet de Vitruve, objet, destinataires et réception du "De architectura", actes du colloque international organisé par l'Ecole française de Rome, l'Institut de recherche sur l'architecture antique du CNRS et la Scuola normale superiore de Pise*, Rome, *26-27 mars 1993*, Collection de l'Ecole Française de Rome, n°192, Ecole Française de Rome, Rome, 1994.
D. J. Cook, chap. 1 « Natural pozzalanas », in *Cement Replacement Materials*, édit. R. N. Swamy, volume 3, Collection « Concrete technology and design », Surrey University Press, Glasgow, 1986, pp. 1-39.
N. Coulthard, *Artisanat et productions artisanales en milieu rural dans les provinces du nord-ouest de l'Empire romain, Actes du colloque d'Erpeldange, mars 1999*, édit. M. Polfer, Monographie *Instrumentum* 9, éditions Monique Mergoil, 2000, pp. 163-183.
Arnaud Coutelas, *Pétroarchéologie du mortier de chaux gallo-romain, essai de reconstitution d'interprétation des chaînes opératoires : du matériau au métier antique*, thèse de doctorat nouveau régime sous la direction de Sander van der Leeuw et Maurice Renard, Université de Paris I, Paris, 2003.
L. Crimaco, *Volturnum*, Quasar, Rome, 1991.
Mauro Cristofani, *Gli Etruschi del mare*, Longanesi & C., deuxième édition, Milan, 1989.
C. D. Curtis, « The difference between Sand and Pozzolana », *Journal of Roman Studies*, III, 1913, pp. 197-203.

D

Davidovits, Davidovits 1997 : J. Davidovits, F. Davidovits, GEOCISTEM (BRITE-EURAM BE-7355-93, Contract n° BRE2-CT93-0559, *Annexes to final report – Task n°6 : Concrete – Task n°9.1 : Longterm 1 – Task 9.2 : Longterm 2 – Task n°9.4 : Prenorm 2*, Saint Quentin – Bruxelles, 1997.
Davidovits, Davidovits 1999 a : J. Davidovits, F. Davidovits, « Archaeological analogues and long-term stability of geopolymeric materials, Results from the European Research Project GEOCISTEM », *Geopolymère '99 international conference*, édit. J. et R. Davidovits, Institut Géopolymère et INSSET Université de Picardie, Saint Quentin, 1999, pp. 283-295.
Davidovits, Davidovits 1999 b : J. Davidovits, F. Davidovits, « Long-lasting Roman cements and concretes », *Geopolymère '99 international conference*, édit. J. et R. Davidovits, Institut Géopolymère et INSSET Université de Picardie, Saint Quentin, 1999, pp. 315-320.
C.-A. De Chazelle, « Les origines de la construction en adobe en Extrême-Occident », in *Sur les pas des Grecs en Occident*. *Hommage Nickels*, *Etudes massaliètes*, 4, 1995, pp. 49-58.
C. Germain De Montauzan, *Les aqueducs antiques de Lyon*, *étude comparée d'archéologie romaine*, Paris, 1909.
G. Maria De Rossi, *Segni*, I, Università degli studi di Salerno, Quaderni del dipartimento di scienze dell' antichità, Arte Tipografica, Napoli, 1992.
F. et L. Delamare, B. Guineau et G.-S. Odin, « Couleur, nature et origine des pigments verts employés en peinture murale gallo-romaine », in *Pigments et colorants de l'Antiquité et du Moyen Age*. *Teinture*, *peinture*, *enluminure*, *études historiques et physico-chimiques*, *colloque international du CNRS (Orléans, 5-8 décembre 1988)*, Paris, 1990, pp. 103-116.
J. Delanoë, F. Torres, F. Emeric, *Lafarge plâtres*, *histoires pour l'avenir*, Jean-Pierre de Monza, Paris, 2000.
F. Della Corte, *Varrone*, *il terzo gran lume romano*, Florence, 1970.
F. Delamare, T. Hackens, *Datation-caractérisation des peintures pariétales et murales, PACT (Revue du groupe européen d'études pour les techniques physiques, chimiques, biologiques et mathématiques appliquées à l'archéologie*, n° 17, 1987, Bruxelles, 1990.
Delamare 1987 a : F. Delamare « Les pigments à base d'oxydes de fer et leur utilisation en peinture pariétale et murale », in Delamare, Hackens 1987, pp. 333-344.
Delamare 1987 b : F. Delamare, « Les terres vertes et leur utilisation en peinture murale romaine », in Delamare, Hackens 1987, pp. 345-373.
F. Delamare, « Sur les processus physiques intervenant lors de la synthèse du bleu égyptien, réflexion à propos de la composition de pigments bleus gallo-romains », *Revue d'archéométrie*, n°21, 1997, pp. 103-115.
C. Domergue, *Les mines de la péninsule ibérique dans l'Antiquité*, Collection de l'Ecole française de Rome, 127, Ecole française de Rome, Rome, 1990.
C. Domergue, « La roue élévatoire de la mine romaine de Tharsis », *Problemi di machinismo in ambito romano*, Como, 2004, pp. 87-105.
Ch. Dubois, *Pouzzoles antique*, *(histoire et topographie)*, BEFAR, Paris, 1907.
E. Duhot, *Les eaux minérales*, Presses Universitaires de France, Paris, 1956.
Clément Duval, *L'eau*, «Que sais-je?», PUF, Paris, 1971.

E

H. Eristov, « Un algorithme appliqué à la classification des imitations de marbre dans la peinture pompéienne », *Mélanges de l'Ecole française de Rome*, *Antiquité*, 88, 1976, pp. 705-717.
H. Eristov, « Corpus des faux marbres peints à Pompéi », *Mélanges de l'Ecole française de Rome*, *Antiquité*, 91, 1979, 2, pp. 693-771.

F

C. Fensterbusch, « Schwimmende Ziegel - Schwimmende Insel », *Rheinisches Museum*, 103, 1960, pp. 73-77.
Annick Fenet, « L'apport de fours à briques traditionnels de la région de la région d'Apollonia (Albanie) à la compréhension des techniques antiques », in Boucheron, Boise 2000, pp. 103-111.
R. J. Forbes, *Studies in Ancient Technology*, volume II, E. J. Brill, Leiden, 1955.
R. J. Forbes, *Studies in Ancient Technology*, volume VI, E. J. Brill, Leiden, 1958.
R. J. Forbes, *Studies in Ancient Technology*, volume VII, E. J. Brill, Leiden, 1963.
Forbes 1956-1964: R. J. Forbes, *Studies in Ancient Technology*, volume IV, (première édition 1956) deuxième édition, E. J. Brill, Leiden, 1964.
R. J. Forbes, *Studies in Ancient Technology*, volume I, E. J. Brill, Leiden, 1964.
R. J. Forbes, *Studies in Ancient Technology*, volume III, deuxième édition, E. J. Brill, Leiden, 1965.

P. M. Fraser, *Ptolemaïc Alexandria*, Oxford, 1986.
M. Frizot, *Mortiers et enduits peints antiques*: *étude technique et archéologique*, Centre de recherches sur les techniques gréco-romaines, Université de Dijon, Dijon, 1975.
M. Frizot, *Stucs de Gaule et des provinces romaines, motifs et techniques*, Publication du centre de recherches sur les techniques gréco-romaines, n°7, Dijon, 1977.
M. Frizot, « L'analyse des pigments des peintures murales antiques. Etat de la question et bibliographie », *Revue d'Archéométrie*, n° 6, 1982, pp. 47-59.
V. Furlan, P. Bisseger, « Les mortiers anciens, histoire et essai d'analyse scientifique », *Revue suisse d'art et d'archéologie - Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte*, 32, 1975, pp. 166-178.

G

R. J. Gettens, G. L. Stout, *Painting Materials*. *A short Encyclopedia*, New-York, 1946.
D. Gimeno, C. Marini, P. Rocher, et S. Tocco, Report GEOCISTEM (BRITE-EURAM BE-7355-93, Contract n° BRE2-CT93-0559), Task n°1 : GEOPROSPEC 1, (January 1-December 1994), Janvier 1995, Bruxelles.
René Ginouvès, Roland Martin, *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine*, tome I, *matériaux*, *techniques de construction*, *techniques et formes du décor*, Ecoles française d'Athènes et de Rome, Paris, 1985.
R. Ginouvès, *Dictonnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine*, tome II, *élements constructifs, supports, couvertures, aménagements intérieurs*, Ecoles françaises d'Athènes et de Rome, Paris 1992.
R. Ginouvès, *Dictonnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine*, tome III, *Espaces architecturaux*, *bâtiments et ensembles*, Ecoles françaises d'Athènes et de Rome, Rome 1998.
C. F. Giuliani, *L'edilizia nell'Antichità,* Rome, 1990.
C. F. Giuliani, « *Opus signinum* e coccio pesto » in De Rossi 1992, pp. 89-94.
J.-L. Goodman, *The History of woodworking Tools*, Londres, 1976.
Gros 1976 a : P. Gros, *Aurea templa : recherches sur l'architecture religieuse de Rome à l'époque d'Auguste*, Ecole Française de Rome, Rome, 1976.
Gros 1976 b : P. Gros, « Les premières générations d'architectes hellénistiques », in *L'Italie préromaine et la Rome républicaine*, *Mélanges offerts à Jacques Heurgon*, Collection de l'Ecole française de Rome n° 27, Ecole française de Rome, Palais Farnèse, Rome, 1976, pp. 387-409.
P. Gros, *Architecture et société à Rome et en Italie centro-méridionale aux derniers siècles de la République*, Bruxelles, 1978.
P. Gros, « Statut social et rôle culturel des architectes », in *Architecture et Société*, *de l'archaïsme grec à la fin de la République romaine*, *2 décembre 1980*, Colloque international du CNRS, Ecole française de Rome, Rome, 1983, pp. 425-452.
P. Gros, M. Torelli, *Storia dell'urbanistica*, *Il mondo romano*, Casa editrice Laterza, Roma, 1988.
Federico Guidobaldi, « L'*opus sectile* pariétal à Rome et en Italie », *Dossiers d'Archéologie*, n°173, 1992, pp. 72-77.
C. Guyot, *L'hydrologie*, Presses universitaires de France, Paris, 1966.

H

K. Häfner « Experiments on the reconstruction of the Roman wall painting technique », in Béarat, Maggetti, Paunier 1997, pp. 143-152.
R. Halleux, *Le problème des métaux dans la science antique*, Paris, 1974.
R. Halleux et A. Yans, *Bermannus* (*le mineur*), *Un dialogue sur les mines de Georg Agricola*, Paris, 1990.
Gilbert Hallier, Michel Humbert, Patrice Pomey, *Fouilles de l'École Française de Rome à Bolsena,* t. VI, *Les abords du forum, le côté Nord-Ouest (fouilles 1971-1973)*, Ecole Française de Rome, Rome, 1982.
C. He, B. Osbaek, E. Makoviky, « Pozzolanic reactions of six principal clay minerals : activation, reactivity assessments and technological effects », *Cement and Concrete Research*, n°25 (8), 1995, pp. 1691-1702.
J. F. Healy, *Mining and metallurgy in the greek and roman world*, *aspects of greek and roman life*, Londres, 1978.
John F. Healy, *Pliny the Elder on science and technology*, Oxford University Press, Oxford, 1999.
N. Herz, M. Waelkens, « Classical Marble : Geochemistry, Technology, Trade », *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Marble in Ancient Greece and Rome*. *Geology*, *Quarries*, *Commerce*, *Artifacts*, Dordrecht, 1988, pp. 85-89.
Hugo Houben, Hubert Guillaud et *al*., *Traité de construction en terre*, Editions Parenthèses, Marseille, 1ere édition 1989, 2e édition, 1995.

A. T. Hodge, *Roman Aqueducts and Water Supply*, Duckworth, Londres, 1992.
A. Hus, *Recherches sur la statuaire en pierre étrusque archaïque*, Editions E. de Boccard, Paris, 1961.

J

L. Jacobi, *Das Römerkastell Saalburg bei Homburg von der Höhe*, Homburg von der Höhe, 1897.
J. Jung, *Précis de pétrographie. Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives*, 3e édition, éditions Masson, Paris, 1969.

L

A. Laidlaw, *The first sytle in Pompeii : paintings and architecture*, Rome, 1985.
H. O. Lamprecht, *Opus caementitium, Bautechnik der Römer*, 5e édition corrigée, Beton Verlag, Düsseldorf, 1996.
H. Lavagne, *Operosa antra. Recherches sur la grotte à Rome de Sylla à Hadrien*, Rome, BEFAR 272, 1988.
P. Leriche, « La brique crue en Mésopotamie et en Asie centrale hellénisées (IV^e^ siècle av. n. è. – III^e^ siècle de n. è.) », in Boucheron, Boise 2000, pp. 11-30.
R. Ling, *Roman painting*, Cambridge, 1991.
G. E. R. Lloyd, « Observation et recherche », *Le savoir grec, dictionnaire critique*, édit. Jacques Brunschwig, Geoffrey Lloyd et *al*., Flammarion, Paris, 1996, pp. 250-275.
G. Lugli, *La tecnica edilizia romana, con particolare riguardo a Roma e Lazio*, Rome, 1957, 2 volumes.

M

W. L. MacDonald, *The Architecture of the Roman Empire*, New Haven, 1982.
A. E. MacNulty, *Industrial Minerals in Antiquity: Melos in the Classical and Roman Periods.* Thèse de doctorat non publié, Department of Archaeology and Division of Earth Sciences, Univ. of Glasgow, 2000.
A. Mac Whirry, *Roman Brick and Tile*, Londres, 1979.
A. Maiuri, *La peinture romaine*, Genève 1953.
R. Malinowski, « Concrete and Mortars in Ancient Aqueducts », *Concrete International* : *Design and Construction*, January 1979, pp. 66-76.
A. Mallissard, *Les Romains et l'eau. Fontaines, salles de bains, thermes, égouts, aqueducs*, éditions Les Belles-Lettres, Paris, 1994.
R. Martin, *Manuel d'archéologie grecque*, Tome 1, *Matériaux et techniques*, Paris, éditions Picard, 1965.
R. Martin, « Les aspects techniques de l'architecture grecque, le marbre dans l'architecture grecque », *Bulletin des Musées Royaux d'Art et d'Histoire*, 53, 1982, pp. 9-18.
P. Mingazzini, « Tre brevi note sui laterizi antichi », *Bollettino della commissione archaeologica comunale di Roma – Bullettino del museo della civiltà romana*, 1956-1958.
Dario Monna, Patrizio Pensabene, *Marmi dell'Asia Minore*, Rome, 1977.
R. Monturet, H. Rivière *et alii*, *Les thermes sud de la villa gallo-romaine de Séviac*, Aquitania, supplément n°2, 1986.
David Moore, *The Roman Pantheon*, *The Triumph of Roman Concrete*, University of Guam Station, Mangilao, Guam, 1995.
P. Mora, « Proposte sulla tecnica della pittura purale romana », *Bollettino dell'Istituto centrale del restauro*, 1967, pp. 63-84.
P. Mora, L. Mora, P. Philippot, *La conservation des peintures murales*, Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels, Bologne, 1977.
L. Moret, *Précis de géologie*, 5e édition, éditions Masson, Paris, 1967 (1947).
A. Mottana, R. Crespi, G. Liborio, *Minerali e rocce*, dixième édition, Arnoldo Mondadori Editore, Milan, 1993.
R. Müller *et al*., *Die Umschau*, vol. 38, 1934.
M. Murat, A. Bacchiorrini, « Corrélation entre l'état d'amorphisation et l'hydraulicité du métakaolin » *Bullet*. *Minéral*., 105, pp. 543-555.
M. Murat, « Activation thermique des argiles et étude de l'hydraulicité du métakaolin, dans l'optique de l'emploi de réacteurs solaires aux fins de fabrication de ciments moyenne température », *Entropie*, n° 110, 1983, pp. 82-85.

N

Alfred Neuberger, *Technical Arts of the Ancients*, New York, 1930.
I. Nielsen, *Thermae et balnea*, Aarhus, 1990, 2 volumes.
A. Novara, *Les idées romaines sur le progrès d'après les écrivains de la République (Essai sur le sens latin du progrès)*, Paris, 1982, 2 volumes.

O

E. Oder, « Ein angebliches Bruchstück Democrits über die Entdeckung unterdischer Quellen », *Philol., Spbd.*, VII, 1899, pp. 229-384.
J. P. Oleson, *Herod and Vitruvius: Preliminary Thoughts on Harbour Engineering at Sebastos; the Harbour of Caesara Maritima*, in *Harbour Archaeology*, Oxford, 1985, pp. 165-172.
J. P. Oleson, « The technology of Roman harbours », *The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration*, 17, 2, 1988, pp. 147-157.
J. P. Oleson, G. Branton, « The technology of King Herod's harbour », in *Caesarea papers : Straton's Tower, Herod's Harbour, and Roman and Byzantine Caesarea*, supplementary of *Journal of roman archaeology*, édit. Robert Lindley Vann, Ann Arbor, Michigan, 1992, pp. 49-67.
G. Onoratini, G. Périnet, « Données minéralogiques sur les colorants rouges préhistoriques de Provence ; démonstration que certains d'entre eux ont été obtenus par calcination de la goethite » *Comptes-rendus de l'académie des sciences de Paris*, tome 301, série II, n°2, 1985, pp. 119-124.
G. Onoratini, G. Conrad et L. Michaud, « Identification de deux silicates de cuivre de synthèse, confondus sous l'appellation générique de " bleu égyptien " et définition des céramiques " bleu antique " retrouvées dans les fresques », *Comptes-rendus de l'académie des sciences de Paris*, tome 304, série II, n° 12, 1987, pp. 651-654.
A. Orlandos, *Les matériaux de construction et la technique architecturale des anciens Grecs*, volume 1 (1966), volume 2 (1968), Ecole Française d'Athènes, Editions de Boccard, Paris.

P

M. Pallatino, *Etruscologia*, Milano, 1992.
M. Patucci, *Terme romane e vita quotidiana*, Modena, 1993.
F. Pellati, « La dottrina degli elementi nella fisica di Vitruvio », *Rinascimento*, 2, 1951, pp. 241-259.
P. Penzabene, *Il teatro romano di Ferento*, Rome, 1989.
Patrizio Penzabene, « Il fenomeno del marmo nella Roma tardo-repubblicana e imperiale », in *Marmi antichi, problemi d'impiego, di restauro e d'identificazione*, édit. Patrizio Penzabene, *Studi miscellanei*, n° 26, Rome, 1985-1993, pp. 333-390.
P. Penzabene, « Transport, diffusion et commerce des marbres », *Dossiers d'archéologie*, 173, 1992, pp. 80-92.
F. Pettijohn, P. Potter, R. Siever, *Sand and sandstone*, Springer Verlag, Berlin, 1972.
Pierre Piganiol, *Le verre, son histoire — sa technique*, Hachette, Paris, 1965.

R

F. Rakob, *Bautypen und Bautechnik*, in *Hellenismus in Mittelitalien*, Göttingen, 1976, pp. 366-386.
F. Rakob, « *Opus caementicium* und die Folgen », *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung*, 90, 1983, pp. 359-372.
F. Rakob, « Römische Kuppelbauten in Baiae », *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung*, 95, 1988, pp. 256-301.
F. Rassineux, A. Meunier, J. C. Petit, « Ancient Analogues of Modern Cement: Calcium Hydrosilicates in Mortars and Concretes from Gallo-Roman Thermal Baths of Western France », *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 72 [6], 1989, pp. 1026-1032.
S. Reinach, A. Rouveret, *Textes grecs et latins relatifs à l'histoire de la peinture ancienne, Recueil Milliet,* Hachette, Paris, 1985.
E. Renna, *Vesuvius Mons*, Naples, 1992.
M. A. Rizzo *et alii*, *Pittura etrusca al museo di Villa Giulia*, De Luca edizioni d'arte, Roma, 1989.
R. H. S. Robertson, « The Earths of Theophrastus », *Classical review*, 8, 1958, pp. 222-223.

Francesco Rodolico, *Le pietre delle città d'Italia*, Felice Le Monnier, Firenze, 1953.
J. B. Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, volumes 1 et 2, Paris, 1842.
A. Rouveret, *Histoire et imaginaire de la peinture ancienne* (*V^e siècle av. J.-C. – I^er siècle av. J.-C.*), Bibliothèque de l'Ecole française de Rome, n° 274, Ecole française de Rome, Rome, 1989.

S

Mario Salvadori, *Comment ça tient ?*, Collection Eupalinos, éditions Parenthèses, Marseille, 2005.
A. Scherillo, « Vulcanismo e bradisismo nei Campi Flegrei », in *Atti del Convegno Internazionale « I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia »*, Accademia dei Lincei, Rome, 1977.
H. Schläger, « Der Text Vitruvs im Lichte des Untersuchungen am Hafen von Side », *Bonner Jahrbücher des Rheinischen Landesmuseums in Bonn*, n°171, 1971, pp. 150-161.
R. L. Scranton, *Greek Walls*, Cambridge, Massachussets, 1941.
M.F. Sheridan, « Emplacement of pyroclastic flows: A review », *Geological Society of America, Special Paper*, n°180, 1979, pp. 125-136.
A. Ströhle, *Die den Alten bekannten vulkanischen Gebiete, Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doctorwürde einer hohen philosophischen Fakultät der Universität zu Tübingen*, Stuttgart, 1921.

T

J. M. Teutonico, G. Ashball, E. Garrod, T. Yates, *A comparative study of hydraulic limebased mortars,* in *Historic mortars : characteristics and tests*, in *Proceedings (Pro 12) of the international RILEM Workshop, Paisley (Scotland), 12th-14th may 1999*, édit. P. Bartos, C. Groot, J. J. Hughes, 2000, pp. 339-349.
R. A. Tomlinson, « Emplecton Masonry and *Greek structura », Journal of Hellenic Studies*, 99, 1961, pp. 133-140.
M. Torelli, *Innovazioni nelle technique edilizie romane tra il I sec. a. C. e il I sec. d. C.*, in *Tecnologia, Economia e Società nel mondo Romano*, Como, 1980, pp. 139-162.
Steven L. Tuck, « A new identification for the 'Porticus Aemilia' », *Journal of Roman Archaeology*, 13, fascicule 1, 2000, pp. 175-182.

U

Detlef Ullrich, « Egyptian Blue and Green Frit: Characterization, History and Occurrence, Synthesis », in Delamare, Hackens 1987, pp. 323-332.

V

R. Vallois, *L'architecture hellénique et hellénistique à Délos, jusqu'à l'éviction des Déliens (166 av. J.-C.),* tome 1, *Les monuments*, Paris, 1944.
R. Vallois, *L'architecture hellénique et hellénistique à Délos jusqu'à l'éviction des Déliens*, tome 2 (première partie), *Grammaire historique de l'architecture délienne*, Paris, 1966.
R. Vallois, *L'architecture hellénique et hellénistique à Délos, jusqu'à l'éviction des Déliens*, tome 3 (deuxième partie), *Grammaire historique de l'architecture délienne*, Paris, 1978.
W. Velters, « Ancient Quarries around Ephesus and Examples of Ancient Stone Technology », *The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Preservation and Protection, Proceedings of an International Symposium organiaed by the Greek National Group of IAEG, Athens, 1988*, édit. P. G. Marinos, G. Koukis, vol. IV, 1990, pp. 2067-2078.

W

M. Waelkens, P. De Paepe et L. Moens, « Patterns of Extraction and Production in the White Marble Quarries of the Mediterranean : History, Present Problems and Prospects », in *Ancient Marble Quarrying and Trade,* édit. J.-Cl. Fant et J. Clayton, British Archaeological Report, International series 453, Oxford, 1988, pp. 81-116.
Marc Waelkens, « Carrières et marbres de l'Asie Mineure », *Dossiers d'Archéologie*, n°173, 1992.
D. S. Walker, *Geography of Italy*, Butler and Tanner, Londres, 1967.

G. P. L. Walker, « Grain-size characteristics of pyroclastic deposits », *Journal of Geology*, volume 79, 1971, pp. 696-714.
F. E. Winter, *Greek Fortifications*, Londres, 1971.

Y

F. Yegül, *Bath and Bathing in Classical Antiquity*, New York, 1992.

GEOCISTEM : Cost Effective Geopolymeric Cements for Innocuous Stabilisation of Toxic Elements. (1994-1997)

Participants :

- Commission Européenne, Bruxelles, projet Brite-Euram BE-7355-93, contrat BRE2-CT93-0559
- Joseph Davidovits, Coordinateur scientifique, Institut Géopolymère et Cordi-Géopolymère SA, Saint-Quentin, France
- Philippe Rocher, B.R.G.M., Orléans, France
- Athos Rinaldi, Laviosa Chimica Mineraria Spa, Livorno, Italie
- Carlo Marini, Département des Sciences de la Terre, Université de Cagliari, Italie
- Sando Tocco, Département des Sciences de la Terre, Université de Cagliari, Italie
- Domingo Gimeno, Faculté de Géologie, Université de Barcelone, Espagne
- Zelimir Gabélica, Département de Chimie, Facultés Universitaires, Namur, Belgique
- Luigi Buzzi, Cementi Buzzi Spa, Casale Monferrato, Italie
- Frédéric Davidovits, CERLA, Université de Caen, France.

Index rerum

A

aceratum
  lutum, 177, 230, 237, 238, 248, 443
aedificatio
  lapidea, 207
ἀσφαλτώδης, 50, 445
album
  saxum, 347, 350
albus
  tofus, 437
alumen, 47, 49, 50, 52
ambulatio
  lutosa, 231, 328
Anicianae
  (lapidicinae), 207, 214, 215
anularia
  creta, 148, 155, 159, 160, 161, 163
arefacere, 240, 242, 243, 309
argilla
  cum capillo subacta, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 230, 448
ars
  marmorea, 253
asperitas, 188
assula, 61, 264
atticum
  sil, 156, 358, 447

B

Baia, 300
bitumen
  liquidum, 53, 55, 447
bituminosa
  terra, 46, 53, 387, 402
bituminosus
  fons, 56
  locus, 46
bona
  creta, 148, 163, 312, 407, 408, 409
βῶλος
  πήλινη, 243

C

caementicia
  structura, 17, 22, 59, 61, 68, 69, 71, 79, 81, 82, 84, 88, 93, 124, 138, 144, 181, 187, 190, 271, 284, 352, 373, 415
caementicium
  (genus/opus), 58, 94
  (saxum), 58, 94
caementicius
  paries, 58, 94, 432
caementum
  fractum, 58, 63, 94, 448
  incertum, 82
  marmoreum, 58, 61, 94, 253, 264
  molle, 58
caeruleum, 156, 158, 197, 198, 199, 200, 201, 202
calcarius, 101, 444
calculosus
  (c-) lutum, 98, 232, 233, 234, 248, 446
calculus
  crudus, 98
χαλικώδης, 233, 446
calx
  euanida, 110, 117, 118, 129, 450
  ex aqua liquida, 110, 124
  extincta, 110, 117, 362
  macerata, 108, 110, 266, 280, 285, 286, 450
  siticulosa, 117, 118, 450

uiua, 110, 118, 122, 129
carbunculus
harena, 132, 145, 319, 448
catena, 72, 75
cimolia
creta, 296
coagmentum, 42, 43, 79, 80, 81, 84, 85, 86, 89, 90, 125, 221, 227, 374
coicere, 100, 156, 276, 341
columna
lapidea, 206, 207, 227, 445
concoquere, 103, 107, 108, 114, 117
confricare, 180, 187, 397
congestio, 387, 401, 402
contere, 198, 200
contundere, 111, 254, 266
copia
lapidea, 207, 227
coquere, 98, 137, 243, 407, 408, 410
corium, 31, 185, 192, 194, 235, 265, 267
crassitudo, 87, 89, 222
creta
anularia, 148, 155, 159, 160, 161, 163
bona, 148, 163, 312, 407, 408, 409
cimolia, 296
selinusia, 148, 159, 160, 161, 163, 447
uiridis, 148, 152, 153, 155, 163, 293
cretosus, 21, 148, 149, 446
cribellum, 278, 417
cribrum, 278, 280, 417
crudus
calculus, 106
crusta
lapidea, 207, 227
marmorea, 253, 269, 271, 272
cubile, 79, 80, 81, 87, 88, 89
cubitus, 419

D

directio, 194, 195, 289
directura, 194
dirigere, 194, 195, 267
dolare, 107
ducere, 234, 240, 309
durae
lapidicinae, 207, 209, 218, 228, 369, 447
durus
lapis, 86, 88, 206, 227, 350, 374

E

ἔμπλεκτον, 89
epistylium
lapideum, 223
marmoreum, 263, 264
euanida
calx, 110, 117, 118, 129, 450
excernere, 168, 266
excocta
materia, 136, 137, 142, 181
excoquere, 137, 138
exsurgens
tofus, 437, 438
extincta
calx, 110, 117, 362
extinguere, 362, 363
exurere, 137
exusta
terra, 136, 137, 387

F

fartura, 80, 90, 91, 92, 94, 373
firmitas, 19, 24, 90, 93
fluuiatica
harena, 168, 169, 178, 184, 185, 187, 188, 192, 194, 279, 281, 286, 426, 447, 454
fodere, 76, 294, 326, 359
fons
bituminosus, 46, 51

fractum
caementum, 92
frangere, 63, 70, 94
frons, 89, 90, 92
fundamentum
terrenum, 388
G
γαίωδης, 403, 446
gemma
uitrea, 161
glaeba, 103, 242, 298, 362, 399
glareosus
g. (solum), 139, 142, 165, 166, 167, 179, 322, 323, 331
γύψος, 171
gypsum, 21, 171, 172, 173
H
harena
carbunculus, 132, 145, 319, 448
fluuiatica, 168, 169, 178, 184, 185, 187, 188, 192, 194, 279, 281, 286, 426, 447, 454
fossicia, 16, 26, 62, 74, 75, 120, 133, 135, 137, 138, 142, 143, 144, 145, 166, 168, 169, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 203, 254, 278, 279, 280, 281, 284, 286, 290, 291, 299, 300, 302, 303, 312, 397, 409, 410, 430, 447, 448,449, 453
fossicia
terrosa, 190
fossicia
terrosa, 388
fossicia
terrosa, 398
marina, 169, 178, 184, 185, 203, 280, 447
harenaria, 21, 168, 180, 184, 203, 444
harenatio, 21, 191, 195, 444
harenatum, 21, 127, 177, 178, 191, 195, 196, 203, 204, 246, 247, 444
harenatus, 109, 177, 178, 203, 276, 444
harenosus
h. (lutum), 178, 179, 204, 232, 234, 248, 446, 449
h. (solum), 139, 142, 166, 178, 179, 322, 323
I
ieiunitas, 88, 95, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 128, 129, 138, 142, 143, 145, 181, 220, 299, 302, 303, 307, 309, 346, 378, 380, 381, 382, 438, 441, 450
ἰσόδομος, 87
incernere, 190
incertum
caementum, 58, 79, 80, 94
inducere, 43, 195, 246, 247, 267, 287, 330
inficere, 156, 158, 159
infundere, 157, 239, 276
inlinere, 247
intingere, 111, 115, 116
intrita, 106, 276, 453
isodomum
genus, 84, 87
K
κισηρειδής, 306
κισηρώδης, 306, 446
L
lapidarius, 251, 444
lapidea
aedificatio, 207
copia, 207, 227
crusta, 207, 227
lapidea, 207, 226
pars, 207, 227, 445
lapideum
epistylium, 207, 225, 227, 445

theatrum, 207, 222
lapidicinae
durae, 207, 209, 218, 228, 369, 447
molles, 85, 207, 209, 210, 212, 218, 228, 336, 366, 441, 447
siliceae, 218, 367, 368, 371, 375
temperatae, 207, 209, 218, 228, 366, 441, 447
lapis
durus, 86, 88, 206, 350, 374
medius, 206, 220, 221, 227
quadratus, 95, 206, 218, 219, 339, 352, 455
later
testaceum, 406
linere, 43, 247
liquidum
bitumen, 53, 55, 447
liquor, 88, 111, 112, 113, 115, 118, 128, 346, 438, 441
λιθώδης, 233, 446
locus
bituminosus, 51, 56
lorica
testacea, 406, 432, 433
lutea
glaeba, 231, 249
lutosa
ambulatio, 231, 328
lutosus, 21, 229, 231, 446
lutum
aceratum, 177, 230, 237, 238, 248, 443
calculosum, 98, 232, 233, 234, 248, 446
harenosum, 178, 179, 204, 232, 234, 248, 446, 449
paleatum, 177, 230, 237, 245, 248, 443
punicum, 241
sabulonosum, 232, 234, 248, 322, 331, 446

M

macerare, 98, 104, 106, 107, 108, 117, 283
macerata
calx, 108, 110, 266, 280, 285, 286, 450
maceratio, 103, 104, 106, 107, 114, 117, 118, 128
macritas, 192, 453, 454
marina
harena, 169, 178, 184, 185, 203, 280, 447
marmor
excretum, 253, 265, 286, 448
graneum, 253, 265, 266, 286
minutum, 253, 265, 286
Proconnensium, 253
marmorarius, 22, 252, 264, 271, 444
marmoratum, 127, 251, 254
marmorea
aedificatio, 253
marmorea
ars, 253
turris, 253
marmorea
copia, 253
marmorea
crusta, 253
marmorea
crusta, 269
marmorea
crusta, 269
marmorea
crusta, 269
marmorea
crusta, 271
marmorea
crusta, 272
marmoreus
m. (caementum), 58, 61, 94, 253, 264
m. (epistylium), 253

m. (saxum), 253
m. (templum), 253
pluteus, 253
masculus
sabulo, 318, 319, 321, 323, 324, 330, 331, 447
materia
excocta, 135, 138, 142, 143, 145, 275, 448
materies, 21, 31, 141, 265, 266, 273, 274, 275, 286, 288, 290, 291, 329, 421, 455
medius
lapis, 206, 220, 221, 227
melinum, 151, 162, 293, 294
minutissimum
(caementum), 58, 94, 444
minutum
marmor, 448
μίλτος, 313, 314
molle
caementum, 85, 86, 93, 95
molles
lapidicinae, 85, 207, 209, 210, 212, 218, 228, 336, 366, 441, 447
mons
terrosus, 388, 403, 446
mortarium, 69, 70, 72, 156, 157, 266, 276, 280, 286, 287, 301, 417
N
niger
tofus, 437, 439, 441
nigra
terra, 388, 395, 396, 402
nitrum, 198, 200, 201, 202
nucleus, 31, 330, 418, 419, 420, 421, 426, 435
O
ochra, 357, 358, 364
onus
terrenum, 388, 401
opus
incertum, 17, 58, 65, 80, 81, 85, 94, 246, 410
quadratum, 85, 86, 95, 219, 221, 352, 374, 422
reticulatum, 17, 58, 65, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 94, 144, 444, 455
signinum, 20, 192, 276, 277, 284, 348, 355, 369, 372, 412, 413, 415, 417, 418, 421, 422, 424, 425, 431, 435, 452
terrenum, 388
vittatum, 87, 88
ordinaries
silex, 366, 374
ordinarius, 84, 85, 366, 373, 374
ordo, 207, 208, 374
P
paleatum
lutum, 177, 230, 237, 245, 248, 443
paraetonius, 293
parare, 63, 69, 254
paries, 191, 246, 426
paries
caementicius, 58, 94
paries
caementicius, 432
pars
lapidea, 207, 227, 445
pauimentum
testaceum, 330, 418, 421, 435
testaceum
spicatum tiburtinum, 433
πηλός, 38, 44, 230, 448
πηλώεις, 229, 446
pila, 34, 39, 40, 41, 74, 198, 207, 222, 223, 226, 334
pila
lapidea, 207

pila
lapidea, 226
pinguis, 108, 283
pinguitudo, 397
pinsare, 287
pluteus
marmoreus, 253
polire, 150
politio, 151, 289
Pompeianus
(pumex), 136, 137, 305, 306, 309, 378, 379, 380, 447
potestas, 85, 123, 124, 136, 141, 142, 220, 440
principium, 110, 114, 119, 120, 129, 136, 307, 342, 389
proprietas, 88, 307
pseudo-isodomum
(genus), 87
puluis
ruber, 298
pumicosa
terra, 305, 306, 307, 308, 309, 388, 402, 446
pumicosus, 21, 305, 446, 449
punicum
lutum, 241

Q

θεοδοτεῖον, 21, 147, 152, 155, 163, 293
quadratum
saxum, 58, 62, 94, 95, 208, 219, 227, 334, 336, 339, 352, 356, 373, 439, 441, 455
quadratus
lapis, 95, 206, 218, 219, 339, 352, 455

R

raritas, 61, 307, 328, 329, 331
refrigerare, 111, 116, 133
respondere, 111, 276, 422, 423
reticulatum
(caementum), 58, 94, 444
ruber
puluis, 298
tofus, 437, 441
rubrum
saxum, 132, 334, 336, 339, 352, 353, 354, 373
rudus, 329, 330, 419, 421, 422, 423, 435

S

sabulo
masculus, 318, 319, 321, 323, 324, 330, 331, 447
solutus, 318, 319, 321, 323, 330, 447
sabulonosus
s. (lutum), 318
sabulosus, 21, 233, 317, 323, 331, 446
sandaraca, 364
saxeus
sensus, 335, 356
saxum
album, 334, 339
marmoreum, 253
quadratum, 58, 62, 94, 95, 208, 219, 227, 334, 336, 339, 352, 356, 373, 439, 441, 455
quadratum
rubrum, 334
quadratum
rubrum, 336
rubrum, 132, 334, 336, 339, 352, 353, 354, 373
silex, 335, 337, 366, 370, 375, 448
siliceum, 335, 337, 338, 354, 366, 370, 375, 448
selinusia
creta, 148, 159, 160, 161, 163, 447
sil

atticum, 156, 358, 447
silex
ordinarius, 366, 374
saxum, 335, 337, 366, 370, 375, 448
siliceae
lapidicinae, 218, 367, 368, 371, 375
siliceum
saxum, 335, 337, 338, 354, 366, 370, 375, 448
sinopis, 314
siticulosa
calx, 117, 118, 450
solum
terrenum, 388
solutus
sabulo, 318, 319, 321, 323, 330, 447
spica
testacea, 406, 433
statumen, 353, 419, 422
statuminere, 352
sternere, 328
stridor, 180, 187, 397
structura
caementicia, 17, 19, 22, 58, 59, 61, 68, 69, 71, 79, 81, 82, 84, 88, 91, 93, 94, 124, 138, 144, 181, 187, 190, 271, 284, 352, 373, 415, 454
testacea, 406, 407, 408, 432, 433
struere, 43
subigere, 30, 31, 32, 33, 34, 38, 239, 266, 267, 287
succernere, 188, 190, 254, 277, 278, 280, 405, 417, 418, 419, 429, 434, 448
sucus, 124, 393, 402, 448
sudor, 396
sugere, 124
sulphur, 47, 49, 50, 52
sulphurosus
locus, 50
suspensio, 39
suspensura, 39

T

tectorium, 31, 183, 185, 187, 192, 193, 194, 195, 196, 235, 286
tegula, 219, 407, 408, 409, 432
temperare, 118, 156, 157, 158, 266, 362
temperatae
lapidicinae, 207, 209, 218, 228, 366, 441, 447
temperatura, 123, 124, 213, 284, 323, 455
templum
marmoreum, 253
terere, 157
terra
albida cretosa, 23, 148, 149, 150, 163, 235, 238, 311, 323, 325, 388, 402, 409, 410, 435, 449
bituminosa, 56
exusta, 137, 138, 166, 302, 402, 448, 449
nigra, 388, 395, 396, 402
pumicosa, 305, 306, 307, 308, 309, 388, 402, 446
subacta cum paleis, 388, 402, 448
terrenus
t. (aedificium), 388, 445
t. (fundamentum), 388
t. (onus), 388, 401
t. (opus), 388
t. (solum), 76, 101, 139, 142, 166, 179, 322, 372, 388, 389
t. (umor), 388, 394, 402, 445, 448
terrosus
t. (mons), 136, 138
testa
tunsa, 280, 406, 419, 429, 434, 448
testacea
lorica, 406, 432, 433

spica, 406, 433
structura, 406, 407, 408, 432, 433
trullissatio, 406, 426, 434
testaceum
pauimentum, 329, 406, 421
testaceus, 21, 406, 432, 434, 445
τετριχωμένω, 38, 44, 230, 448
theatrum
lapideum, 207, 222
tofus
albus, 437
exsurgens, 437, 438
niger, 437, 439, 441
ruber, 437, 441
transtillum, 72
transtrum, 72
trulla, 193
trullissare, 193
trullissatio, 193, 194, 288, 406, 426, 434
trullissatio
testacea, 406
trullissatio
testacea, 426
trullissatio
testacea, 434
tubulus, 40, 326, 327, 328, 353
tundere, 277, 417, 418
tunsa
testa, 280, 406, 419, 429, 434, 448
tupi, 437
turris
marmorea, 253
U
uapor, 378, 379, 438
uectis, 63, 69, 70, 277, 278, 280, 286, 287, 413, 417
uena, 69, 141, 145, 167, 298, 359, 412, 448
uenter, 353
uenustas, 19, 24, 90, 93
uiridis
creta, 148, 152, 153, 155, 163, 293
uiua
calx, 110, 118, 122, 129
umor, 42, 88, 115, 116, 118, 128, 213
umor
terrenus, 388
umor
terrenus, 394
umor
terrenus, 402
umor
terrenus, 445
umor
terrenus, 448
V
Vestorius, 197, 198, 200, 201, 202, 452
W
ὤχρα, 21, 150, 155, 163, 293, 357, 358, 359, 364, 443
Y
ψαμμώδης, 166, 232, 446

Index français

Sont ici regroupés des termes appartenant à divers domaines techniques (archéologie, chimie, géologie, géotechnique, etc.) et quelques noms propres géographiques.

A

AFNOR, 339, 366, 367, 441
albâtre, 260, 270, 271, 272
alcali, 198, 414, 424
alloclastique, 383
alluvionnaire, 139, 142, 153, 166, 179, 248, 316, 322, 446
alluvions, 168, 184, 185, 260
aluminium, 144, 241, 313, 358
alunite, 293, 315, 316
analcime, 414
andésite, 367
ankérite, 100
antiplastique, 36, 37, 408, 409
aragonite, 151, 156, 157, 159, 161, 295, 296
argile
  infusible, 26, 35, 36, 42, 43, 149, 150, 308
augite, 134

B

banchée, 70, 73, 91, 303
basalte, 66, 218, 260, 367, 368, 383
basaltique, 135, 181, 216, 337
bentonite, 43, 160, 163, 315, 333
biotite, 54, 134, 162, 216
bioxyde, 360
bipyramide, 200

C

cailloutis, 21, 57, 60, 62, 94, 165, 169
calcarifère, 149
calcite, 54, 55, 100, 106, 108, 197, 254, 255, 266, 267, 268, 271, 272, 295, 346, 355, 448
calco-sodique, 201
cappellaccio, 210, 212, 336
carbonatation, 106, 129, 450
céladonite, 153, 154, 155, 163
cendre, 140, 188, 190, 297, 299, 300, 303, 309, 329, 330, 420, 438
chaufour, 100, 101, 102, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 122, 128, 129, 137, 138, 342, 450
chlorite, 153, 154, 155, 163, 308
chlorure, 363
cimolite, 163, 296, 315
cimolitique, 149
cipolin, 260
clastique, 134, 188, 300
clivable, 298
clivage, 162, 369, 440
cocciopesto, 412
colloïdal, 319
colloïde, 184, 185, 321, 323, 331
comenditique, 139, 181
conchoïdal, 99, 347
concrétion, 53, 54, 236
cristallisation, 105, 172, 200, 254, 283, 313
crypto-cristallin, 367
cuprovaïte, 200

D

détrempe, 106, 148, 151, 163
diatomée, 159, 300
diatomite, 151, 157, 159, 161, 162, 163
dickite, 348, 414
disilicate, 199
dolomie, 98, 99, 100, 101, 102, 108, 127, 209, 228, 350, 367, 375, 383
dolomite, 151, 159, 161

dolomitique, 98, 100, 103, 104, 108, 117, 157, 158
E
émail, 152, 198
émaillage, 199
emplecton, 84, 89, 90, 91, 92
éruptif, 132, 133, 134, 137, 180, 209, 216, 217, 299, 305, 378, 379
éruption, 47, 48, 49, 135, 138, 140, 284, 299, 378, 379, 380, 382, 390, 438
F
faïence, 36, 198, 199
feldspath, 35, 54, 134, 139, 216, 315
feldspathique, 216
feldspathoïde, 216, 424, 425
ferreux, 35, 149
ferrique, 312, 316, 358
fossilifère, 99
fritte, 198, 201
fumerolle, 140, 141, 142, 143, 145
G
gaz-pipe, 142
gehlénite, 424, 425
GEOCISTEM, 24, 25, 26, 139, 144, 216, 424, 430, 431, 453, 469
géopolymérique, 424
géotechnique, 24, 25, 179, 204, 232, 322, 323, 331, 443, 454
glauconie, 153, 154, 155, 163
glauconieux, 153
glauconite, 154, 155
goethite, 313, 358, 360, 361, 362, 363, 364, 467
granite, 61, 218, 260, 339, 367, 368, 371
granulométrie, 24, 25, 36, 60, 62, 64, 65, 76, 135, 151, 166, 176, 183, 188, 189, 193, 203, 232, 233, 267, 277, 278, 280, 286, 302, 314, 319, 321, 322, 323, 328, 330, 331, 332, 359, 417, 418, 423, 426, 429, 435
gravière, 168
H
halloysite, 308
hématite, 313, 314, 347, 358, 360, 361, 362, 363
hydroxyde, 103, 104, 106, 114, 126, 279, 284, 288, 313, 358
I
ignimbrite, 135, 139, 140, 141, 142, 145
illite, 36, 415, 416, 429
indice
de taille, 340, 371
induration, 140, 141, 180, 208, 209, 212, 218, 228, 241, 263, 339, 367, 439
iodure, 363, 364
ion, 207, 313
J
jarosite, 358
jaspe, 319
K
kaolin, 29, 35, 149, 160, 163, 293
kaolinique, 35
kaolinite, 150, 160, 163, 313, 358, 360, 388, 402, 410, 415, 416, 423, 424, 429, 430, 431, 434
kaolinitique, 120, 150, 238, 282, 290, 293, 312, 348, 405, 409, 414, 416, 418, 424, 425, 429, 434, 435, 448
L
latérite, 241, 308, 313, 314, 316, 443
latéritique, 241, 248
lépidocrocite, 360, 363
lépidolite, 162
leucite, 134, 181, 216
leucitique, 181, 215, 216
limon, 185, 234

limoneux, 36, 184, 230, 237, 243, 321
limonite, 313, 358, 360, 361
limonitique, 347
lixiviation, 313, 315
loess, 399
M
maastrichtien, 368
maghémite, 363
magma, 140, 381, 438
magmatique, 142, 180
magnésie, 100, 308
magnésique, 25, 98, 100, 104, 106, 107, 108, 153, 285, 294
magnésium, 100, 101, 103, 104, 161, 295, 308, 358, 410
magnétite, 320
malachite, 295, 358
manganèse, 293, 360
marno-calcaire, 135
mélilite, 25
métakaolin, 466
métasilicate, 295
mica, 159, 160, 162, 163
micacé, 162, 267
microgrès, 66
molochite, 35
montmorillonite, 36, 140, 160, 163, 415, 416
montmorillonitique, 315, 316
mort-terrain, 398
Mpa, 214, 301, 340, 368, 425, 441
muscovite, 162, 308
N
natron, 52, 126, 186, 199, 200, 201, 202
nenfro, 134, 135, 145, 212, 216
nitre, 52, 197, 201, 202, 391
nitreux, 47
O
obsidienne, 381
oxydation, 158
P
Paringianu, 26, 139, 140, 141, 142, 181
pâte
  mi-ferme, 237, 239, 324
  mi-molle, 237, 239, 324
peperino, 134, 135, 145, 212, 214, 216, 389
pépérite, 135, 383
phillipsite, 414, 425
phlogistique, 95, 110, 112, 136
phlogopite, 162
phonolithe, 216
phosphate, 242, 294
phosphore, 331
phosphorique, 331
phyllosilicate, 161, 200, 233
pisolithique, 99
plagioclase, 139
porphyre, 227, 251, 260, 270, 334, 354
porphyroïde, 227, 334, 354
potasse, 331, 425
potassique, 25, 139
potassium, 35, 149, 315, 363, 414, 425
pyroclaste, 141, 290
pyroclastique, 48, 134, 135, 139, 140, 141, 142, 145, 181, 299, 397, 449
pyroxène, 139, 181, 216
Q
quartz, 66, 162, 183, 199, 201, 241, 269, 315, 316, 330, 360, 361
quartzeux, 41, 197
quartzique, 185, 321
quartzite, 368
quartzitique, 368, 371, 374
R
résonance magnétique nucléaire, 144, 423
rhomboédrique, 298
rhyolite, 139

S
sablière, 21, 72, 73, 75, 175, 177, 178, 181, 184, 203, 317, 444
schiste, 46
Segni, 63, 347, 348, 349, 350, 369, 370, 373, 375, 412, 414, 415, 423, 424, 425
sépiolite, 295, 308, 309, 402, 415
serpentine, 260, 295, 308
sesquioxyde, 362
silicate, 133, 153, 200, 201, 216, 308, 349, 354, 355, 358, 424, 425, 467
silico-alumineux, 63, 99, 285, 299, 347, 350, 355, 371, 424
silico-calcaire, 201, 202, 203
silt, 188, 233, 234, 238, 268, 331
silteux, 179, 233, 234, 237, 322, 331
smectite, 36, 43, 149, 154, 315, 415
sodique, 199, 200
sodium, 200, 202
Sötenich, 25, 65, 66, 67, 70, 76, 79, 95, 179, 188, 203, 204, 233, 267, 277, 281, 417, 418, 419, 420, 422, 435
sparite, 255, 272
sparitique, 255, 268, 272
stéatite, 163, 199, 295
sulfate, 315, 358
sulfure, 293, 298, 392
sulfureux, 45, 47, 51, 52, 258, 391, 392
T
tempera, 151
téphrite, 216
téphrito-leucitique, 135
terre-paille, 401, 402, 448
texture, 60, 87, 89, 134, 154, 189, 208, 212, 232, 233, 234, 237, 243, 277, 322, 329, 331, 347, 370, 381
tobermorite, 424
trachyte, 218, 367
trachytique, 135
tuf
  pépérin, 134, 135, 142, 143, 145, 212, 216
V
vacuolaire, 383
vermiculite, 308
volcano-clastique, 190, 197
volcano-sédimentaire, 197
Z
zéolite, 133, 134, 144, 154, 414, 424

Fiches échantillons GEOCISTEM, Cartes, et Figures

Fiche échantillon de l'ignimbrite LA 01 (Geocistem) (Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1)

Numéro d'échantillon: LA 01

Localisation:
- lieu de prélèvement: La Rocca, près Tuscania
- région: Latium
- pays: Italie

Accessibilité: bonne, par route (N2 dir. Viterbo, Vetralla dir. Tuscania km 15)

Nature du site: affleurement de bonne qualité

Type pétrographique: ignimbrite à composition téphritico-phonolitique ("ignimbrite A")

Contexte géologique: complexe volcanique de Vico (stratovolcan)

Epaisseur et extension latérale de la formation: 15m , volume d'environ 2 km3

Degré de compaction: important (roche soudée)

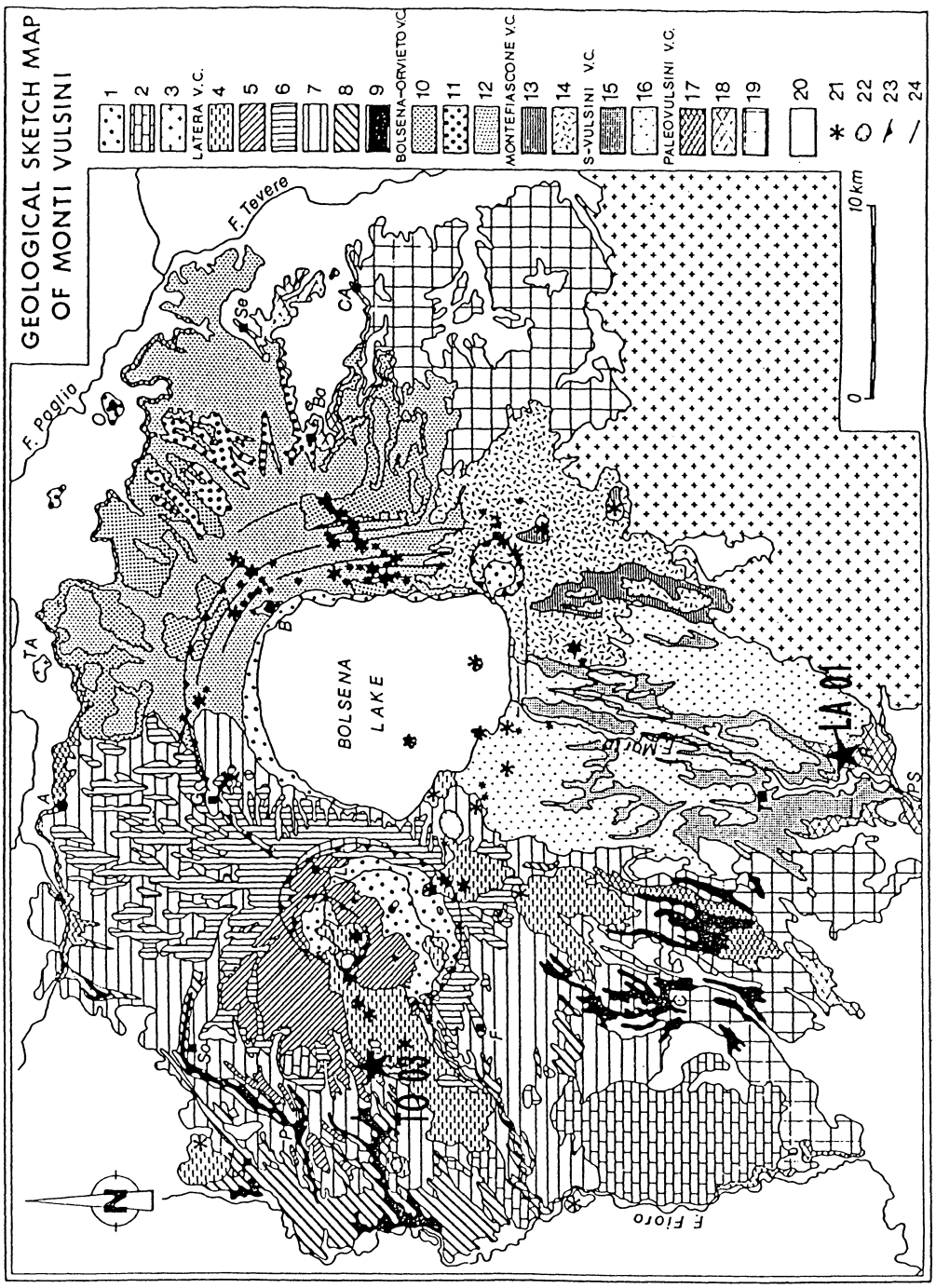
Composition chimique [analyse nouvelle]:

Echantillon	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3 *	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	PF **
LA O 1	58,06	19,26	4,17	1,20	3,14	2,22	8,80	0,61	0,15	0,16	2,23

* fer total; ** perte au feu; données en % pondéraux

Nature des composants: leucite, plagioclase, clinopyroxène, sanidine; verre (ponces et scories); rares éléments lithiques

Références bibliographiques principales:
BERTAGNINI A. et SBRANA A. (1986) - Il vulcano di Vico: stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche, *Mem. Soc. Geol. It.*, 35,699-713.



– Geological sketch map of Monti Vulsini Volcanic District (after Trigila 1985, modified). 1: Quaternary sedimentary deposits; 2: travertines; 3: Torre Alfina and Vico Volcanic Complex products; *Latera Volcanic Complex*; 4: products of final effusive and strombolian activity; 5: Pitigliano Formation; 6: Onano Formation, Poggio Pinzo Tuff member; 7: Onano Formation, Grotte di Castro Formation and Sorano Formation; 8: Sovana Formation; 9: Canino Formation and Farnese Formation; *Bolsena-Orvieto Volcanic Complex*; 10: lava flows; 11: Bolsena-Orvieto-Bagnoregio ignimbrite; 12: pyroclastic successions; *Montefiascone Volcanic Complex*; 13: lava flows; 14: pyroclastic successions; *Southern Vulsini Volcanic Complex*; 15: lava flows; 16: pyroclastic successions; *Paleo-Vulsini Volcanic Complex*; 17: lava flows; 18: basal ignimbrites; 19: pyroclastic and volcano-sedimentary successions; 20 : Sedimentary substratum; 21: scoria cones; 22: craters; 23: caldera rims; 24: faults and fractures.
A = Acquapendente, B = Bolsena, Ba = Bagnoregio, C = Canino, CA = Civitella d'Agliano, F = Farnese, G = Grotte di Castro, L= Latera, M = Montefiascone, O = Orvieto, P = Pitigliano, PS = Pian della Selva, R = La Rocca, S = Sovana, Se = Sermugnano, So = Sorano, T = Tuscania, TA = Torre Alfina.

Carte 1: contexte géologique du lac de Bolsena avec l'emplacement de l'ignimbrite téphrito-phonolitique (Ignimbrite A) (La01) (Gimeno, Marini 1995, rapport Geoprospec 1).

Fiche échantillon du tuf volcanique LA 02 (Geocistem) (Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1)

Numéro d'échantillon: LA 02

Localisation:
- lieu de prélèvement: Cava Falisca, près Civita Castellana.
- région: Latium
- pays: Italie

Accessibilité: bonne, par route (N3, Civita Castellana)

Nature du site: carrière exploitée (blocs dimensionnels pour construction)

Type pétrographique: tuf volcanique ("ignimbrite C")

Contexte géologique: appartient au 3ème cycle éruptif du stratovolcan de Vico

Epaisseur et extension latérale de la formation: 70 m max. , extension plurikilométrique (volume : environ 10km3)

Degré de compaction: bon (roche relativement indurée)

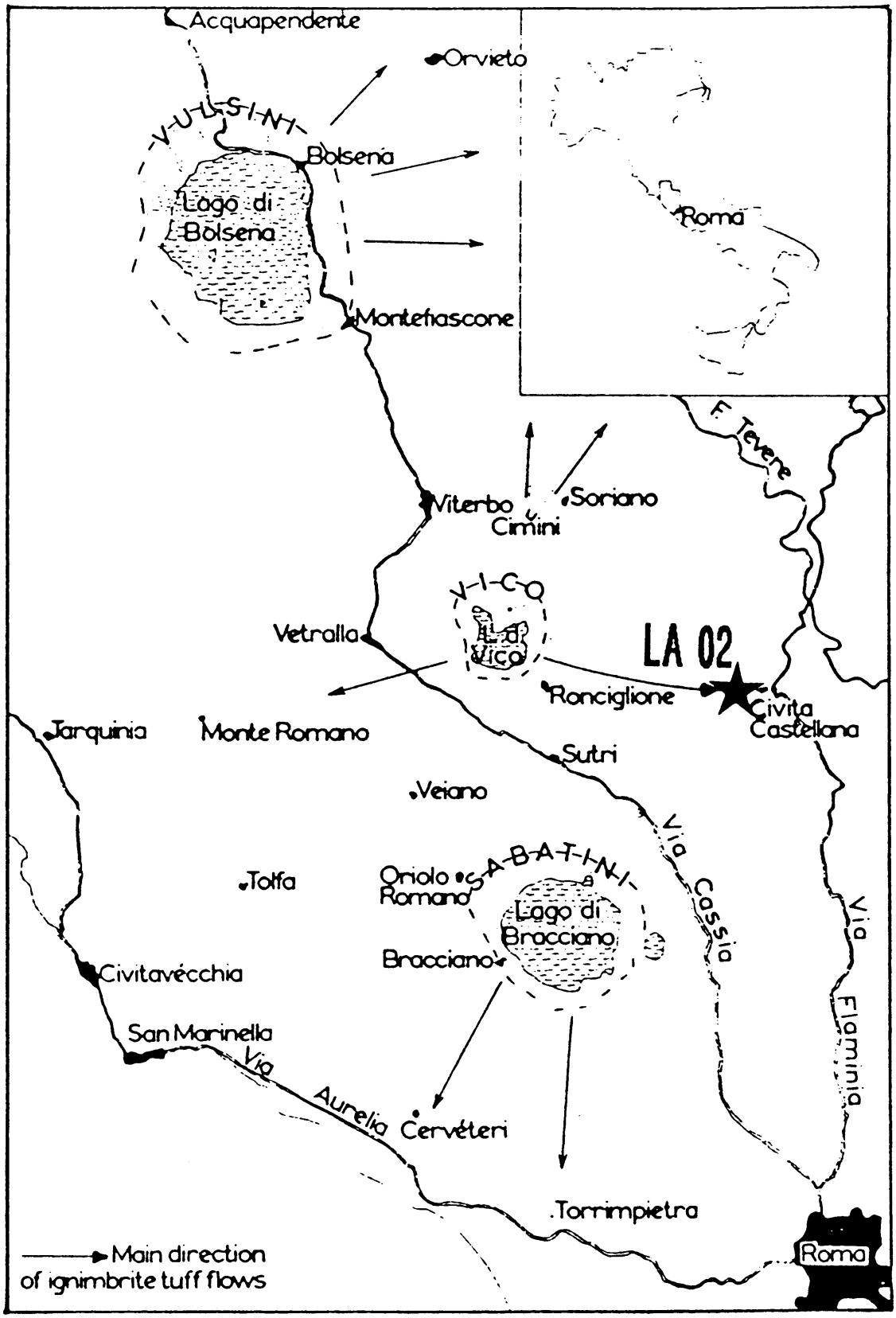
Composition chimique [analyse nouvelle]:

ECHANTILLON	SIO_2	AL_2O_3	FE_2O_3 *	MGO	CAO	NA_2O	K_2O	TIO_2	P_2O_5	MnO	PF **
LA 02	52,52	16,41	3,67	1,73	7,54	0,58	6,34	0,51	0,17	0,10	10,43

* fer total; ** perte au feu; données en % pondéraux

Nature des composants: zéolites (70-75% : phillipsite et chabazite), verre (scories); éléments lithiques; paragenèse primaire: sanidine, leucite , hauyne, clinopyroxène, plagioclase

Références bibliographiques principales : BERTAGNINI A. et SBRANA A. (1986) - Il vulcano di Vico: stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche. *Mem*. *Soc*. *Geol*. *It*., 35, 699-713.



Carte 2: Prélèvement du tuf La 02 près de Civita Castellana (Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1).

Fiche échantillon du tuf volcanique SA 07 (Geocistem) (Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1)

Numéro d'échantillon: SA 07

Localisation:
- lieu de prélèvement: entre Portovesme et Paringianu
- région: région: de Sulcis / Sud-Ouest Sardaigne
- pays: Italie

Accessibilité: bonne, en bordure de route (N 130, N 126 Cagliari-Carbonia, et S.P. Carbonia-Portoscuso à Paringianu)

Nature du site: affleurement de bonne qualité (carrières à proximité)

Type pétrographique: tuf volcanique cendreux comenditique ("tuf de Paringianu", partie centrale d'une coulée pyroclastique)

Contexte géologique: au sein de l' "unité de Paringianu" composée d'ignimbrites et de rhyolites

Epaisseur et extension latérale de la formation: 15m , superficie couverte de 2 à 4 km2 (plaine de Paringianu)

Degré de compaction: élevé (roche très indurée)

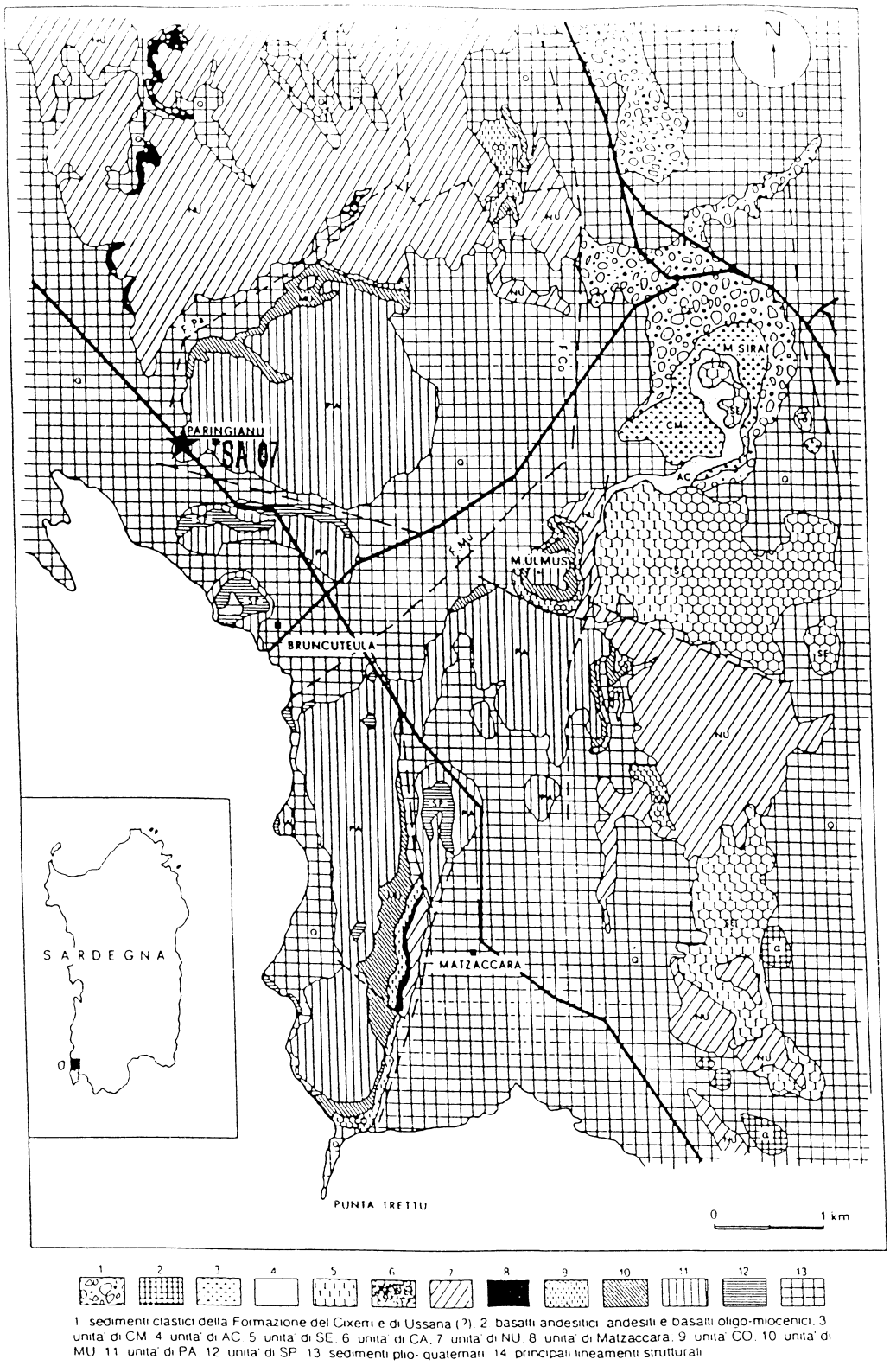
Composition chimique [analyse nouvelle]:

ECHANTILLON	SiO_2	Al_2O_3	FE_2O_3 *	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	PF **
SA 07	74,16	13,80	1,13	0,17	0,43	4,33	4,89	0,13	0,02	0,02	0,92

* fer total; ** perte au feu; données en % pondéraux

Nature des composants: paragenèse primaire = plagioclase, feldspath potassique, pyroxène, matrice vitreuse; paragenèse secondaire = montmorillonite (argilisation faible)

Références bibliographiques principales : ASSORGIA A. et al. (1990) - Le successioni ignimbritiche terzdiarie del Sulcis (Sardegna S.O.). *Mem. Soc. Geol. It.*, 45, 951-963.



Carte 3: Contexte géologique et localisation du tuf échantillonné près de Paringianu (Sardaigne) (Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1).

Fig. 1 : Maçon romain gâchant de la chaux, colonne Trajane (IIe s. *p. C.*) (Martin 1965)

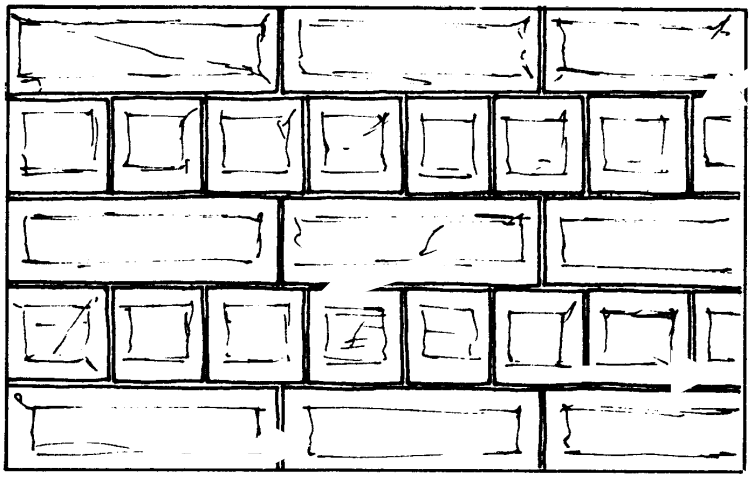


Fig. 2 : *Opus quadratum* (Coarelli 1994)

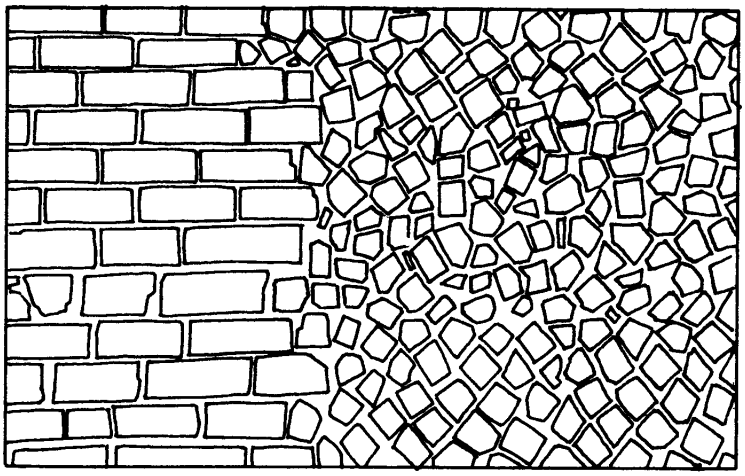


Fig. 3 : *Opus incertum* (Coarelli 1994)

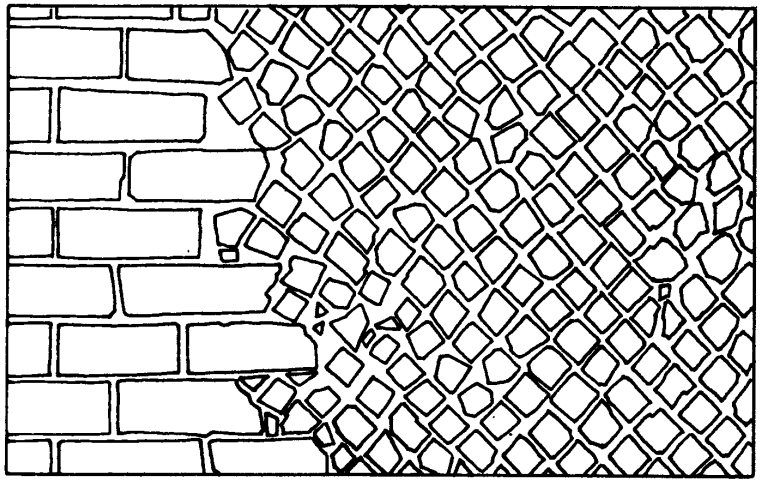


Fig. 4 :*Opus quasi reticulatum* (Coarelli 1994)

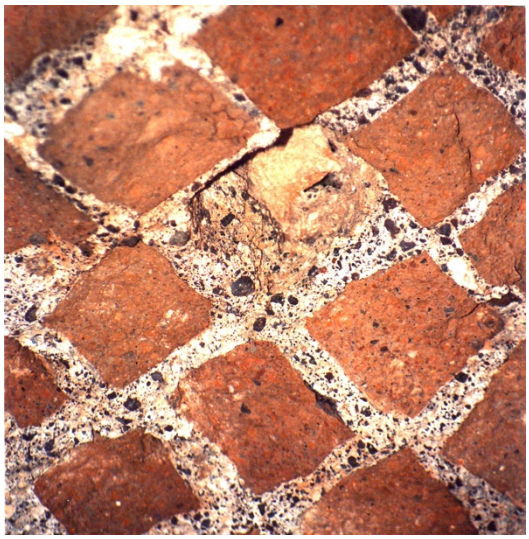


Fig. 5 : *Opus reticulatum* avec mortier de sable volcanique noir (Villa Hadriana)

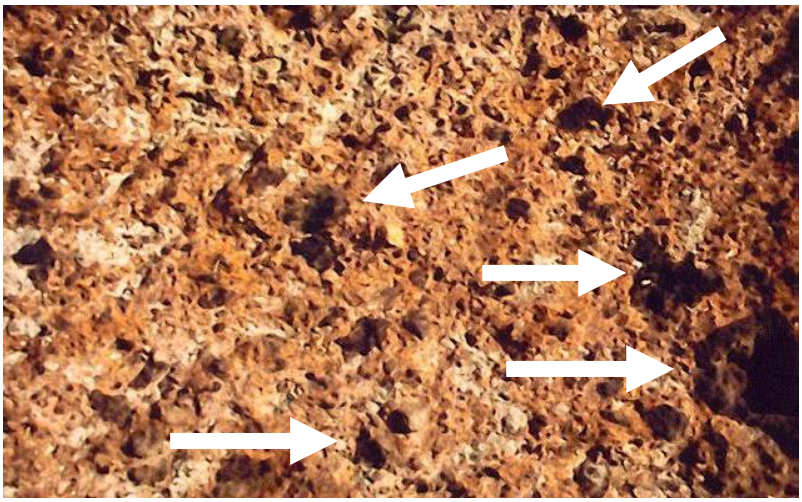


Fig 6 : tuf volcanique de Norchia (NE de Tarquinia) à inclusion de particules noires (octobre 95) qui est la roche mère de la figure 7.

Fig. 7 : terrain agricole dont le sol est retourné : ce sol est de la même couleur que le tuf volcanique sous-jacent (octobre 95) de la figure 6.

Fig. 8 : Gaz-pipes dans un ignimbrite (type C) rougeâtre à scories noires près de Fosso delle Ferriere dans la zone volcanique de Vico, Latium (Bertignini, Sbraga 1986).

Fig. 9 : Gaz pipes dans un ignimbrite de Real Grande, Argentine, de 4, 6 millions d'années. (http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Thumblinks/fumarole_pipes_page.html ; copyright Peter Francis.)

Fig. 10 : La fabrication d'une citerne signienne (8, 6, 14) d'après l'édition de Vitruve de 1511, (édition vitruvienne de Fra Giocondo 1511, image 2, p. 179 ; *Vitruv* 1987). Les maçons C versent le mortier et ensuite les *caementa*, tandis que les maçons A et B dament le tout.

Fig. 11 : échantillon n°71 de conduit d'eau vers Cologne, Sötenich, II[e] s. *p. C.* (Lamprecht 1996). La chaux vient du calcaire de Sötenich ; granulométrie entre 8 et 32 mm.

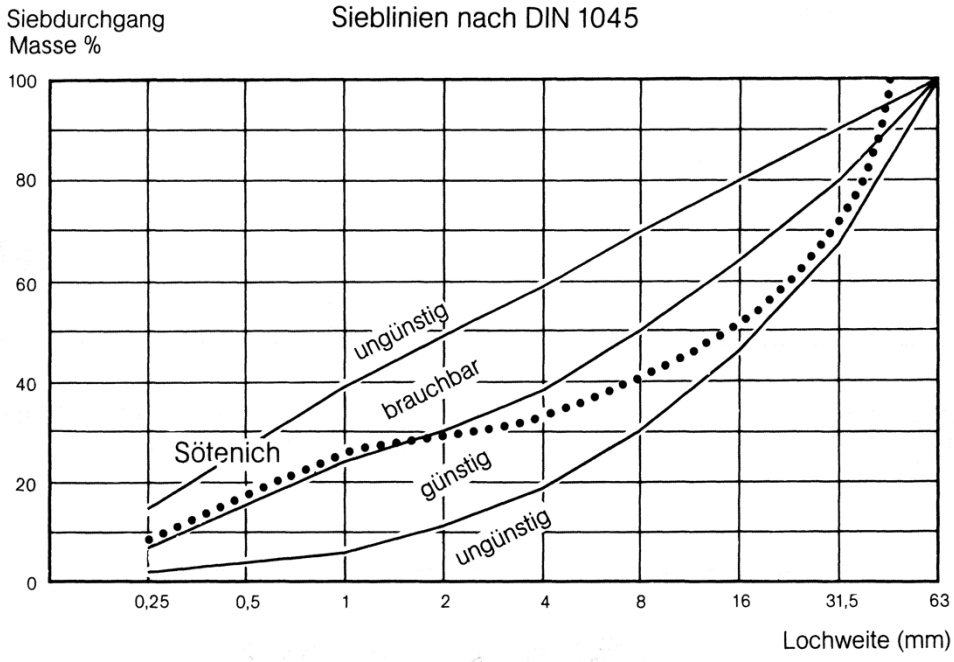


Figure 12 : Courbe granulométrique de l'échantillon n°71 de Sötenich, en pointillé. Horizontalement, la grandeur des grains passant par le tamis (mm). Verticalement, le pourcentage en poids des grains passant par le crible. Les zones entre *ungünstig* « inutilisable » indiquent que les dimensions et les pourcentages massiques sont exploitables pour un emploi dans un mortier d'après les normes de l'industrie cimentière allemande : la courbe de l'échantillon est donc utilisable pour constituer un béton moderne (d'après H. O. Lamprecht).

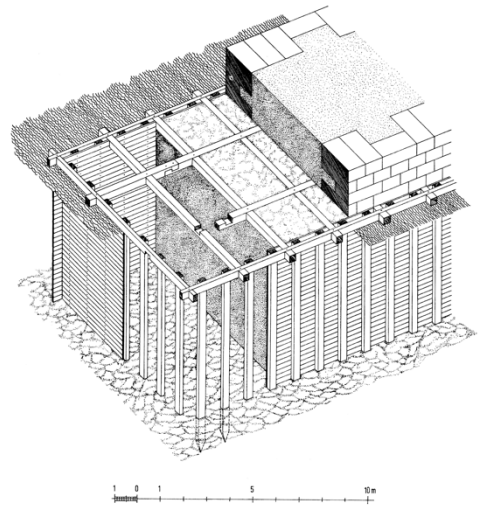


Fig. 13 : Coffrage de môle N-E de Side ; échelle 1/150e (Schläger 1971)

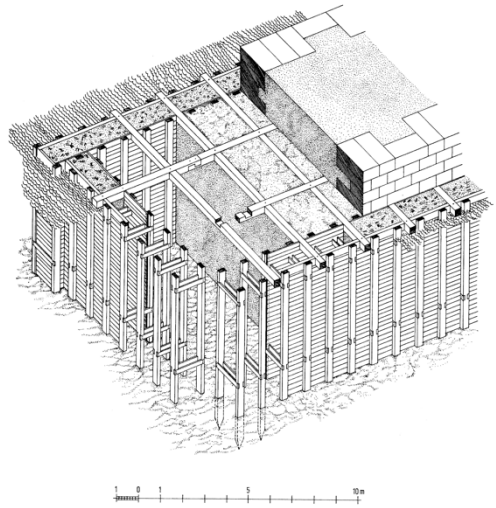


Fig. 14 : Coffrage double d'après les indications de Vitruve (5, 12) ; échelle 1/150e (Schläger 1971)

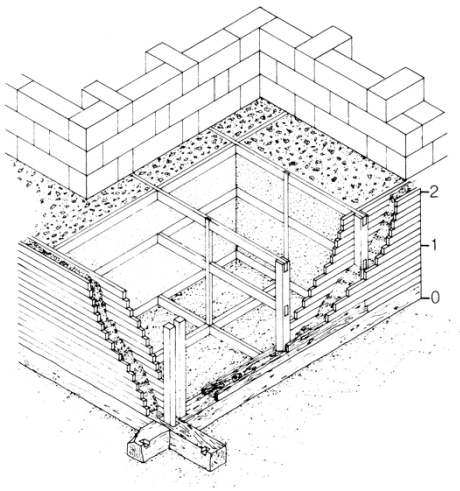


Fig. 15 : Coffrage de môle de Caesarea Maritima (zone G). Dessin : R. L. Vann (Oleson 1988)

Fig. 16 : Pépérin de la zone du théâtre de Marcellus

Fig. 17 : Coupole du Panthéon.

Fig. 18 : Temple rond d'*Hercules Victor* du Forum Boarium, construit en marbre pentélique (110-100 *a. C.*).

Fig. 19: Calcaire et argile de Segni.

Fig. 20 : Morceau de calcaire de Segni : 338 g et densité 2,48.

Fig. 21 : Carrière de calcaire et cimenterie de Colleferro (Latium)

Fig. 22 :Muraille de Segni en appareil polygonal (V^e^ et II^e^ s. *a. C.*)

Fig. 23: Porte Saracena (Segni)

Fig. 24 : Eglise San Pietro à Segni ; podium et temple de Junon Moneta (V^e^ et II^e^ s. *a. C.*)

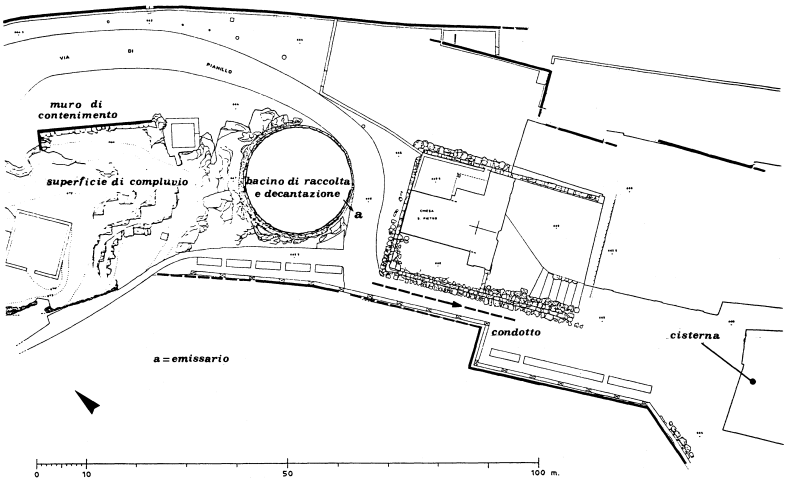


Fig. 25: Système hydraulique de Segni : bassin de récolte d'eau de pluie ; a=drain ; conduite d'eau ; citerne (De Rossi 1992).

Fig. 26: Segni, bassin de décantation (II^{e} s. *a*. *C*.), partie nord.

Fig. 27: De haut en bas : Arrière de l'église San Pietro (*pars postica* du temple) en tuf volcanique et podium en calcaire compact siliceux ; pierres (tuf volcanique) en grand appareil du bassin et drain vers la citerne.

Fig. 28: Nord du bassin (de gauche à droite) : parement grand appareil ; noyau d'*opus caementicium* (60 cm) ; rocher. Couteau = 196 mm.

Fig. 29: Moellon de l'*opus caementicium* du bassin (partie nord) ayant encore de la chaux et petit agrégat de tuileau (en rouge).

Fig. 30 :Violent orage d'été dans la vallée près de Colleferro (à l'Est).

Fig. 31 : Basilique de Maxence (Forum, Rome)

Fig. 32 : Morceau de voûte concrète de la basilique de Maxence : brique et mortier de tuileau.

Fig. 33 : Enduit d'*opus signinum* (Maison des Vestales, Forum, Rome).

Fig. 34: Citerne des Thermes de Trajan (Rome).

Fig. 35: Cathédrale de Ravenne en *opus testaceum* (Bas Empire)

Fig. 36: *Opus testaceum* (Cathédrale Ravenne)

Fig. 37: Calcaire blanc *biancone* (Bologne).

RÉSUMÉ: Cette thèse est une étude du vocabulaire des matériaux géologiques et des produits issus de ces matières premières mentionnés dans le De Architectura de Vitruve, oeuvre rédigé aux environs de 25 av. J.-C. Chaque terme est étudié en fonction des données techniques et archéologiques. Ce corpus constitue un champ lexico-notionnel des matières minérales et de leurs produits dérivés utilisés dans l'architecture romaine: pierre, moellon, sable, pouzzolane, brique crue et cuite, chaux, mortiers, enduits, pigments, *opus caementicium*, *opus signinum*, etc. La méthode d'étude sémantique pour chaque terme est de type sémasiologique. Après un rappel étymologique, il est effectué une brève synthèse diachronique et sémique du terme dans la littérature latine avant Vitruve. Il est procédé ensuite à une analyse sémantique et technique dans une perspective synchronique. Après avoir rappelé les occurrences et la monosémie ou la polysémie du terme chez Vitruve, ses différentes acceptions sont regroupées selon leur contexte. Si le terme désigne un produit manufacturé, l'étude des contextes révèle les lexies complexes ou les syntagmes verbaux de sens technique (fabrication ou utilisation) concernant ce produit. De plus, les lacunes vitruviennes de description de ce produit sont relevées et elles sont complétées au moyen de données techniques ou archéologiques. Si l'unité lexicale est usitée dans un discours technico-savant, l'analyse des contextes permet d'établir les conceptions scientifiques (physique, chimie, géologie) de Vitruve.

ENGLISH TITLE : Geology and construction in Vitruvius' *De Architectura*

ABSTRACT: This thesis is a study on the vocabulary of geological materials and products resulting from these raw materials as mentioned in Vitruvius' work written around 25 B. C. Each term is studied according to technical descriptions and archaeological data. The corpus involves a lexico-notional field of mineral materials and their derived products used in Roman architecture: quarry stone, sand, pozzolana, raw and backed brick, lime, mortars, coatings, pigments, *opus caementicium*, *opus signinum*, etc. The method of semantic study for each term is of the semasiologic type. The study starts with an etymological introduction, followed with a diachronic and semic synthesis of the term in the Latin literature before Vitruvius. It continues with a semantic and technical analysis, from a synchronic point of view. The occurrences and the monosemy or the polysemia of the term in Vitruvius' work are listed and its various meanings are analysed according to their context. If the term is a manufactured good, the study of the contexts shows the Latin lexical complex units or Latin verbal syntagms describing the manufacture or the use of this product. Using technical descriptions or archaeological data, the study clarifies and explains Vitruvius' text dedicated to the manufacture and use of this product. If the lexical item is used in a technical and scientific description, the analysis of the contexts helps to discover the scientific theories developed by Vitruvius (physics, chemistry, geology).

MOTS-CLÉS : Vitruve
Architecture antique
Géoarchéologie
Construction, Technique de la – Vocabulaire – Rome – Ier siècle av. J.-C.
Construction, Matériaux – Vocabulaire – Rome – Ier siècle av. J.-C.
Revêtements – Rome – Ier siècle av. J.-C.
Mortier – Rome – Ier siècle av. J.-C.

DISCIPLINE: Langues et Littératures Anciennes

INTITULÉ ET ADRESSE DU LABORATOIRE: Centre d'Études et de Recherche sur l'Antiquité et les Mythes (CERLAM), Université de Caen Basse-Normandie, UFR des Sciences de l'Homme, 14032 Caen cedex