

Les mortiers de sol du site de la "Schola del Traiano" à Ostie. Analyses pétrographiques en vue d'une étude typo-chronologique

Auteur : Contino, Marie

Promoteur(s) : Morard, Thomas

Faculté : Faculté de Philosophie et Lettres

Diplôme : Master en histoire de l'art et archéologie, orientation archéométrie, à finalité approfondie

Année académique : 2022-2023

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/18960>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Etude des mortiers de sol de la
Schola del Traiano à Ostie

Analyses pétrographiques en vue d'une étude
typo-chronologique

Marie Contino

Volume I – Corps de texte

En vue de l'obtention du diplôme de Master en histoire de l'art et archéologie,
orientation archéométrie, à finalité approfondie

Promoteur : Thomas Morard
Lecteurs : Line Van Wersch et Arnaud Coutelas

Université de Liège
Année académique 2022-2023

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier notre promoteur, le professeur Thomas Morard, sans qui ce travail de fin d'études n'aurait pu voir le jour. Nous le remercions également de nous avoir donné l'opportunité de partir à plusieurs reprises à Garaguso et à Ostie, en Italie, afin de participer à des fouilles et des post-fouilles archéologiques.

Nous souhaitons également remercier nos lecteurs, monsieur Arnaud Coutelas et madame Line Van Wersch, pour avoir accepté de suivre l'élaboration de ce travail. Nous remercions tout particulièrement monsieur Arnaud Coutelas qui, par ses nombreux conseils, corrections et relectures, s'est énormément investi et a été d'un grand soutien.

Nous tenons aussi à remercier notre maître de stage, monsieur Laurent Fontaine qui a accepté de nous prendre en stage et qui a donné de son temps pour nous former à la pétrographie. Il a également accepté à de nombreuses reprises de corriger et de relire ce travail. Nous remercions également les membres de l'IRPA pour leur accueil et tout spécialement mesdames Marine Wojcieszak et Amandine Colignon pour leur aide si précieuse.

Remercions également le professeur Frédéric Hatert de nous avoir permis de suivre un de ses cours sur la minéralogie et cristallographie, ainsi que monsieur Raphaël Deville qui a confectionné les lames minces qui ont été analysées dans ce travail. Nous souhaitons, de plus, remercier le docteur Grégory Mainet qui a su trouver du temps pour la relecture et la correction d'une partie de ce mémoire.

Remercions également toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail de fin d'études.

Nous remercions tout particulièrement notre famille (mère, frères et grand-mère) pour nous avoir soutenue et encouragée tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Remercions également notre belle-famille pour son aide inconditionnelle comme pour la correction de ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier notre fiancé qui nous a supportée tout au long de ces derniers mois mais également pour nous avoir soutenue dans notre parcours universitaire. Sans lui, ce mémoire n'aurait pas été le même.

« Les difficultés renforcent l'esprit comme le travail renforce le corps »

Sénèque

Table des matières

Remerciements	
Table des matières	
Liste des abréviations	
1. Introduction	1
2. Ostie, sa géologie et la Schola del Traiano	3
2.1. Le site d’Ostie	3
2.2. Géologie du site et des alentours	3
2.3. Domus de la parcelle de la Schola del Traiano	6
2.3.1. Historique des fouilles.....	6
2.3.2. Stratigraphie de la parcelle de la <i>Schola del Traiano</i>	7
2.3.3. La <i>Domus dei Bucrani</i> (Reg. IV, Is. V, 16)	8
2.3.4. La <i>Domus a Peristilio</i> (Reg. IV, Is. V, 16)	10
2.3.5. La <i>Schola del Traiano</i> (Reg. IV, Is. V, 15).....	11
3. État de l’art	13
3.1. Le mortier	13
3.1.1. Les techniques d’analyses	14
➤ Les observations macroscopiques.....	16
➤ La microscopie à balayage électronique (MEB).....	16
➤ La fluorescence X (XRF)	16
➤ La granulométrie	16
➤ La diffraction des rayons X (DRX)	19
➤ Le dosage des éléments en spectrométrie d’absorption atomique.....	19
➤ La pétrographie	20
3.2. Sols et mortiers de sol de Vitruve à nos jours	21
3.3. Étude des sols d’Ostie et de ses alentours	25
4. Méthode : mise en place d’un protocole d’analyse	27
4.1. Réalisation d’un corpus d’échantillons	27
4.2. Observations macroscopiques	28
4.3. Observations microscopiques	29
4.3.1. Réalisation de lames minces en vue d’une étude pétrographique	31

4.3.2.	Justification de ce choix d'analyse et intérêt de cette méthode.....	32
5.	<i>Présentation des échantillons et analyses</i>	34
5.1.	Justification du choix des échantillons	34
5.2.	Cadre de prélèvement et de conservation des échantillons	34
5.3.	Analyses des lames minces	35
5.3.1.	La <i>Domus dei Bucrani</i>	36
	La <i>Domus dei Bucrani</i> phase I	36
	La <i>Domus dei Bucrani</i> phase II	44
5.3.2.	La <i>Domus a Peristilio</i>	47
5.3.3.	La <i>Schola del Traiano</i>	69
	La <i>Schola Domus</i>	69
6.	<i>Analyse supplémentaire</i>	72
7.	<i>Interprétations des résultats et hypothèses</i>	75
7.1.	Les matières premières	75
7.1.1.	La chaux.....	75
7.1.2.	Le sable.....	76
7.1.3.	Le tuileau	78
7.1.4.	Le tuf <i>lionato</i>	79
7.1.5.	Les pouzzolane (<i>pozzolane rosse</i> et <i>pozzolanelle</i>).....	81
7.1.6.	Les fragments d'Italite.....	83
7.2.	Les techniques de préparation des sols.....	86
8.	<i>Discussion</i>	89
9.	<i>Conclusion</i>	92
10.	<i>Glossaire</i>	95
11.	<i>Table des figures</i>	96
12.	<i>Bibliographie</i>	99
12.1.	Sources antiques.....	108
12.2.	Ressources en ligne	108

Liste des abréviations

acn : Ante Christum natum

asl : Above Sea Level (au-dessus du niveau de la mer)

DOMAPER : *Domus a Peristilio*

DOMAUBUC : *Domus dei Bucrani*

DRX : Diffraction des rayons X

Ins : Insula

IRPA : Institut royal du Patrimoine artistique

ka : Milliers d'années

LPA : Lumière polarisée analysée

LPNA : Lumière polarisée non analysée

LR : Lumière réfléchie

MEB : Microscopie électronique à balayage

pcn : Post Christum natum

PLV : Prélèvement

Reg : *Regio*

SCHOLADOM : *Schola Domus*

SCHOLADU : *Schola del Traiano*

SL : Sol

US : Unité stratigraphique

XRF : X-Ray Fluorescence (Spectrométrie de fluorescence des rayons X)

1. Introduction

Les pavements d'Ostie ont été étudiés depuis plus d'un siècle de manière exhaustive d'un point de vue stylistique¹. Ostie est d'ailleurs l'un des sites de référence pour les mosaïques du bassin occidental de la Méditerranée². Parmi ces nombreuses études, les relations stratigraphiques en rapport avec la chronologie des sols sont quelquefois mentionnées, mais restent peu nombreuses. Par ailleurs, en ce qui concerne Ostie, très peu de choses ont été réalisées dans le domaine de la composition des sols. Ce type d'étude peut être mis en parallèle avec l'étude de la céramique³ ou celle des enduits peints⁴ dont aujourd'hui le processus est totalement abouti (on ne se concentre plus exclusivement sur la forme et le décor, mais également sur la fonction et la composition). De plus en plus, l'étude des mortiers en tant qu'élément archéologique est reconnue dans la discipline de l'archéométrie. Notamment, grâce à l'intérêt porté sur le sujet ces dernières décennies et, plus particulièrement, grâce aux travaux réalisés par Arnaud Coutelas sur l'étude des mortiers antiques.

Ce travail part de la question suivante : « Est-il possible de réaliser une typochronologie des mortiers de sol de la *Schola del Traiano* à Ostie grâce à l'analyse pétrographique ? » Cette discipline est l'une des méthodes les plus employées dans l'étude de ce matériau. Pour ce faire, celle-ci prendra comme référence deux atlas de pétrologie⁵ et sera guidée par le docteur en archéologie Arnaud Coutelas et le géoscientifique Laurent Fontaine de l'IRPA.

Pour aborder cette question, en premier lieu, un état de l'art des études portant sur les mortiers antiques a été établi. Puis, plus précisément, un deuxième état de l'art sur les mortiers de sol et enfin, un troisième sur les mortiers d'Ostie ont été dressés. Cela permettra de mettre en avant les sources dont nous disposons et les différentes techniques d'analyses appliquées à l'étude du mortier antique.

¹ MORARD & WASTIAU 2021.

² BECATTI 1961.

³ MOTTA 2019.

⁴ SOURIS 2019.

⁵ BEAUX, PLATEVOET & FOGELGESANG 2019 ; MACKENZIE & ADAMS 1996.

En deuxième lieu, un protocole d'étude a été mis en place sur base de la méthodologie proposée par Arnaud Coutelas et celle de Laurent Fontaine. Premièrement, des observations macroscopiques ont été effectuées sur les échantillons bruts et portent notamment sur la description des couleurs et des agrégats. Deuxièmement, un examen microscopique a été mené en pétrographie sur des lames minces tirées de ces échantillons. Celles-ci ont été réalisées par monsieur Raphaël Deville du service de géologie de l'université de Liège sous la supervision du professeur Frédéric Hatert. L'analyse de ces différentes lames minces a été réalisée à l'IRPA, en collaboration avec Laurent Fontaine.

En troisième lieu, un corpus d'échantillons prélevés sur dix sols datés entre le milieu du Ier siècle acn et le début du Vème siècle pcn, a été sélectionné et décrit préalablement à l'étude. Ces dix sols appartiennent aux trois édifices qui se sont succédé sur la parcelle de la *Schola del Traiano*. Ceux-ci sont de nature variable puisque certains supportaient un opus *tesselatum*, d'autres étaient des *opus signinum* et certains étaient de simples bétons de sol.

Enfin, en quatrième lieu, la dernière partie de cette étude consiste en la présentation des échantillons et l'interprétation des résultats. Ceux-ci permettent tout d'abord d'établir les compositions des dix sols et de mettre en évidence des différences et/ou des ressemblances entre ces derniers. Dans un second temps, nous avons tenté de déterminer les raisons des variations des compositions de ces sols. Pour conclure, cette étude permettra, nous l'espérons, d'établir les lieux des différentes ressources employées pour la fabrication de ces mortiers et de réaliser une typo-chronologie des mortiers de sol à Ostie.

Par la suite, si les résultats de cette étude le permettent, ils pourront être comparés avec d'autres études menées à Ostie et dans les alentours.

2. Ostie, sa géologie et la *Schola del Traiano*

2.1. Le site d'Ostie

Le matériel que nous étudions dans le cadre de ce travail provient de la parcelle de la *Schola del Traiano* à *Ostia Antica*⁶, ville antique portuaire située dans l'entité de Rome, à l'embouchure du Tibre. La ville d'Ostie présente un grand intérêt pour l'étude des mortiers de sol pour plusieurs raisons. D'abord, l'ensemble du site archéologique a été relativement bien conservé permettant l'étude de son architecture. Ensuite, nous possédons également des sources textuelles anciennes mentionnant la ville et ses structures. De plus, les fouilles archéologiques ont permis la découverte d'éléments datant comme des monnaies, des céramiques, des ensembles de peintures murales et des sources épigraphiques. Finalement, cet ensemble d'éléments permettant des datations précises facilite l'étude des compositions des sols dans un espace-temps précis.

2.2. Géologie du site et des alentours⁷

Ostie se situe en Italie centrale (Fig. 1), à environ 25km de la ville de Rome. Aujourd'hui, la ville d'Ostie ne se trouve plus à l'embouchure du Tibre mais bien à 3km à l'intérieur des terres⁸. La géologie de ce site est fortement liée au Tibre et aux formations géologiques de la région : les *Monti Albani* et les *Monti Sabatini*. Depuis l'Antiquité, la côte s'est déplacée et le cours du Tibre a été modifié.

⁶ Cf. Annexe 1.

⁷ Cf. Annexe 2.

⁸ LEIGH MURGATROYD 2016, pp. 65-67.

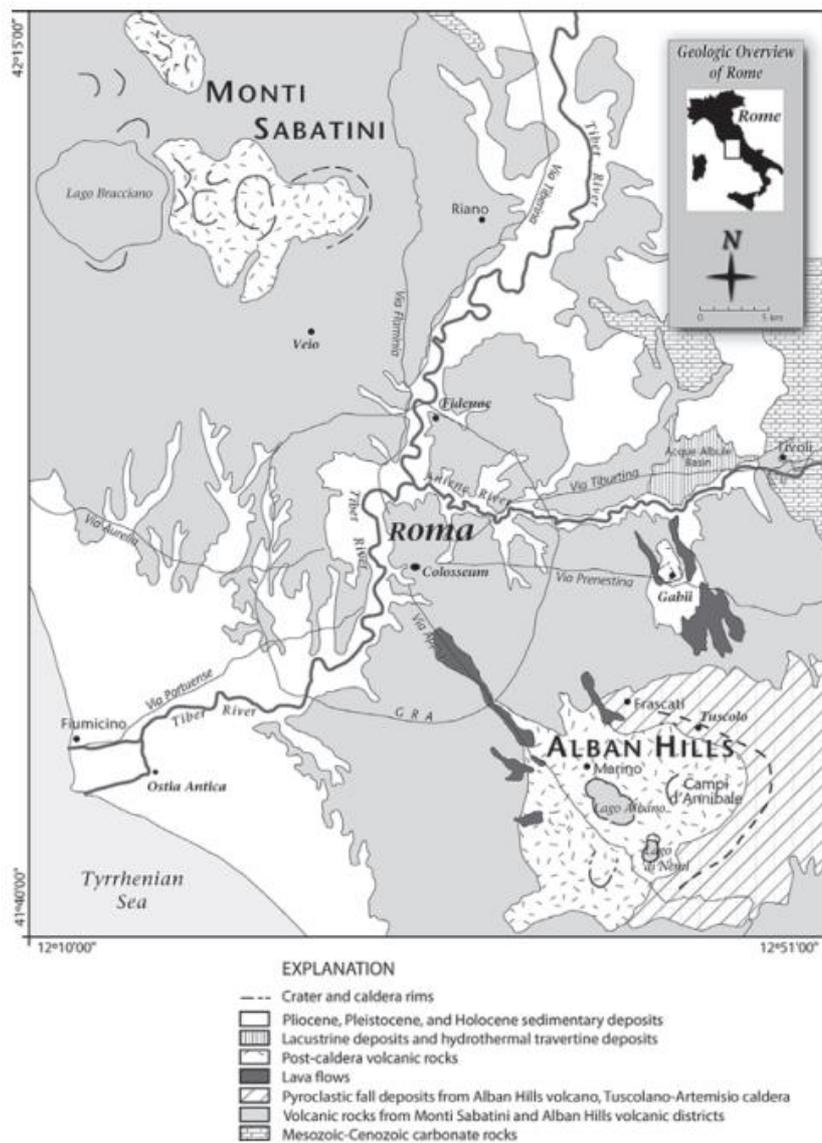


Fig. 1. Carte géologique de la ville de Rome et de ses environs montrant les dépôts volcaniques des Monti Sabatini et des Monti Albani, les dépôts de travertin proche du Tivoli et les anciennes voies romaines.

(JACKSON & MARRA 2006, modifié de KARNER et al.).

La ville d'Ostie est située dans une région volcanique (Fig. 1). De nombreux volcans l'entourent : *Vulsini*, *Vico*, les *Monti Sabatini*, les *Monti Albani*, et *Roccamonfina* dans le nord du Latium. D'autres volcans se trouvent également dans la zone de Naples tels que *Ischia*, *Procida*, *Campi-Flegrei* et le *Vesuvio*⁹. Notons que les sept collines de Rome sont en réalité des vestiges volcaniques qui ont été érodés par le cours du Tibre et par l'abaissement du niveau de la mer durant le Pléistocène moyen

⁹ BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022, p. 102.

et tardif¹⁰. Le substrat géologique de la ville consiste en un dépôt de sédiments volcaniques dû à l'activité des *Monti Albani* et des *Monti Sabatini* qui a eu lieu entre 600 ka et 280 ka¹¹.

Le magma de cette région se caractérise par une forte teneur en potassium contre une faible teneur en silice. Les roches magmatiques produites dans le Latium font partie de la catégorie des roches leucitites (roches volcaniques pauvres en silice). Les minéraux majoritairement contenus dans ces roches sont des leucites, des pyroxènes, des biotites, etc.¹².

Concernant les éléments pouzzolaniques de ces régions, les principaux dépôts pyroclastiques exploités durant l'antiquité dans cette région contiennent notamment des *pozzolane rosse*, *pozzolane nere*, des *pozzolanelle*, des tufs *lionato* et des tufs *del Palatino*¹³.

Durant l'Antiquité et aujourd'hui encore, ces zones volcaniques sont une grande source d'approvisionnement en éléments calcaires tels que le travertin ou le marbre. Ces matériaux sont très largement utilisés durant l'Antiquité aussi bien pour la construction que pour la sculpture¹⁴. Les coulées pyroclastiques ont été utilisées comme une source abondante de matériaux de construction. Les tufs ont servi pour la construction des maçonneries tandis que les cendres volcaniques ont été utilisées pour les préparations de mortiers comme agrégats ou comme substitut du sable¹⁵.

Plusieurs auteurs ont émis l'hypothèse que le lieu d'approvisionnement du calcaire comme matière première de la chaux proviendrait des Montagnes *Cornicalani* situées en région du Latium proche de Rome¹⁶. Delaine, dans son ouvrage de 1995, suggère l'idée que concernant Ostie, la ville de Terracina serait la source d'approvisionnement en calcaire pour la production de la chaux¹⁷. Il semble que le

¹⁰ MARRA & ROSA 1995, pp. 49-118.

¹¹ MARRA & *al.* 2011, pp. 115-136.

¹² *Idem*, pp. 115-136.

¹³ *Idem*, pp. 115-136.

¹⁴ LEIGH MURGATROYD 2016, pp. 67-69.

¹⁵ *Idem*, pp. 65-67.

¹⁶ JACKSON & MARRA 2006, p. 424.

¹⁷ FICHERA et *al.* 2015, p. 97.

transport de cette matière première se faisait par voie navigable et non par voie terrestre¹⁸.

Nous pouvons conclure en disant que tous les éléments indispensables à la réalisation de chaux et de mortiers étaient disponibles en grande quantité et dans une zone assez proche d'Ostie.

2.3. Domus de la parcelle de la *Schola del Traiano*

2.3.1. Historique des fouilles

Les premières fouilles du site de la *Schola del Traiano* débutèrent durant l'automne 1938 et se terminèrent au printemps 1939. Ce complexe doit son nom à la statue cuirassée de l'empereur Trajan qui y fut retrouvée. Les fouilles furent menées à la hâte pour l'Exposition Universelle de 1942 et n'ont laissé qu'une sommaire documentation archéologique¹⁹. Cette campagne de fouilles a cependant permis de découvrir deux maisons partiellement conservées sous la cour interne de la *Schola del Traiano* : une maison inconnue dans la partie ouest et la *Domus a Peristilio* dans la partie est²⁰. Cette deuxième *domus* doit son nom au péristyle découvert lors des fouilles. Péristyle qui sera d'ailleurs, entre autres vestiges, restauré au printemps 1939.

De plus, le rapport de ces fouilles mentionne une structure murale antérieure à la *Domus a Peristilio*²¹.

Hormis une dizaine de sondages ouverts en 1948 par l'archéologue Gismondi et des restaurations mises en œuvre en 1969, le site resta inexploité jusqu'à la fin des années 1990.

En 1997 et 1998, une équipe internationale dirigée par Clemens Krause entreprend de nouvelles fouilles. Dans un premier temps, ces fouilles servent à mieux

¹⁸ DELAINE 1995, p. 560.

¹⁹ MORARD & WAVELET 2002, p. 760.

²⁰ Idem, p. 771.

²¹ Idem, p. 778.

comprendre le plan de la *Domus a Peristilio* et, dans un second temps, elles visent à repérer d'éventuelles structures antérieures. Cette campagne permet de documenter les différentes structures restaurées en 1939²² et également de confirmer l'existence d'une tête de mur précédant la construction de la *Domus a Peristilio* (déjà découvert en 1939). Cet édifice antérieur sera nommé *Domus dei Bucrani* en référence à la remarquable frise de métopes et triglyphes décorée de bucranes qui fut découverte²³. Cependant, les prospections furent arrêtées et la documentation du matériel jamais entreprise²⁴. C'est en 2001 que messieurs Morard et Wavelet s'attellent alors à ce travail²⁵.

Jusqu'en 2010, le site de la *Schola del Traiano* est ponctuellement fouillé par une mission archéologique internationale sous la direction des professeurs Morard et Moret.

2.3.2. Stratigraphie de la parcelle de la *Schola del Traiano*

Sur une période de six siècles, la parcelle de la *Schola del Traiano* (Reg. IV, Ins. v, 15-16)²⁶ située dans le quartier de la Porta Marina du parc archéologique de la ville romaine d'Ostie, du côté sud du *decumanus maximus*, a connu une succession de trois grands édifices en son sein²⁷. La première construction est la *Domus dei Bucrani* datant dans sa phase la plus ancienne des années 60/50 acn²⁸, ce qui correspond à l'époque tardo-républicaine. Celle-ci sera alors remplacée par la *Domus a Peristilio* vers 30/20 acn²⁹ (période augustéenne) qui, elle-même, sera succédée par la *Schola del Traiano* datée du début du III^e siècle pcn³⁰. On estime que cet édifice sera occupé jusqu'au V^e siècle de notre ère. Au cours des siècles, ces trois bâtiments ont tous

²² Idem, p. 772.

²³ Idem, p. 779.

²⁴ Idem, p. 761.

²⁵ MORARD & WAVELET 2002.

²⁶ Cf. Annexe 3.

²⁷ MORARD 2018, p. 167 ; AUBRY, MORARD & BOCHERENS 2015, p. 28-33.

²⁸ AUBRY & BROQUET 2007, pp. 33-47.

²⁹ AUBRY & BROQUET 2007 ; DERU et al. 2016 et 2018 ; DI GIACOMO 2013.

³⁰ MORARD 2018, pp. 174-180.

connu des réaménagements touchant aussi bien les décors que l'augmentation des différents volumes existants³¹.

2.3.3. La *Domus dei Bucrani* (Reg. IV, Is. V, 16)³²

Le plan de cette *domus* est considéré comme régulier et est composé de *fauces*, *d'atrium* et *alae*, d'un *tablinum*, d'un péristyle, d'un *hortus* et d'un *oecus*. Deux particularités sont cependant à relever : un *tablinum* aux dimensions hors normes et l'angle obtus au sud du péristyle³³. Au niveau du système décoratif, cette *domus* comporte aussi bien des pavements que des enduits peints et des stucs³⁴. Cet ensemble décoratif est important car il nous permet de comprendre l'entièreté du décor. Pouvoir comparer les sols, les murs et les plafonds nous donnent l'opportunité d'appréhender le programme iconographique d'une pièce de manière à comprendre ce que cela signifiait pour les occupants de l'époque. Cet édifice est un marqueur important concernant l'architecture domestique de l'époque tardo-républicaine. De plus, la *Domus dei Bucrani* est caractérisée par deux phases de réfection des décors et des pavements, comme expliqué ci-après.

Dans sa première phase, entre 60 et 50 acn, la *Domus dei Bucrani* comportait plusieurs pavements dont un seul était recouvert d'une mosaïque et dont deux autres l'étaient potentiellement. Tous les autres sols ont été décrits comme étant des *opus signinum*, également appelés *cocciopesto*³⁵ ou encore béton de tuileau³⁶.

³¹ PERRIER 2007, pp. 15-32.

³² Cf. Annexe 4.

³³ MORARD & WASTIAU 2021, p. 71.

³⁴ MORARD 2007, pp. 57-80.

³⁵ VASSAL 2006 : Un débat sur l'appellation de ce type de sol est toujours en cours, pour plus d'informations : consultez l'ouvrage de Véronique Vassal réalisé en 2006.

³⁶ « Béton de tuileau » est le terme choisi par Thomas Morard et Charles Wastiau dans l'article « Les sols en béton de tuileau de la *Domus* aux Bucranes à Ostie. Contexte de production et observations technologiques », 2021, p.69. Ce type de sol est attesté depuis le Vème siècle acn en Afrique du Nord. Il est caractérisé par l'imperméabilité de son mortier dû à son mélange de chaux, d'eau et de poudre de tuileau qui lui procure cet aspect rougeâtre. De plus, il semble que sur certains de ces sols, une couche de peinture rouge ait été ajoutée, pour des raisons encore inconnues aujourd'hui. Ce sol peut être simplement rouge ou décoré de motifs géométriques réalisés à l'aide de morceaux de marbres et autres pierres. Nous retrouvons ces deux cas de figure dans la *Domus dei Bucrani*. Pour plus d'informations, consultez VASSAL 2006, p. 1.

Dans les *fauces*, un pavement en béton de tuileau a été découvert, il était de couleur rouge et décoré avec des incrustations de tesselles noires et blanches, il présentait également des éclats désordonnés de calcaire. Contre ce pavement, sur l'élévation attenante, reposait une peinture de IIème style³⁷.

Dans le *tablinum* (mesurant environ 60m²) se trouvait un pavement de grande qualité dont le travail était très soigné. Il s'agit d'un sol en béton de tuileau dont le bord est orné d'un cadre de tesselles blanches et noires en alternance. À l'intérieur de celui-ci, on peut observer un motif en semi-croisettes avec une tesselle centrale noire bordée de quatre tesselles blanches. De même, contre ce pavement, sur l'élévation voisine, reposait une peinture de IIème style. Notons que ce sol a été marqué par les pigments noirs utilisés pour peindre la plinthe sur les zones de contact³⁸.

Dans le péristyle se trouvait un pavement en béton de tuileau dont la décoration était différente de celle du *tablinum*. Ici, le décor est semi-irrégulier avec la présence de tesselles noires et blanches et avec également des éclats polychromes de calcaire³⁹.

L'*oecus* est composé de deux pièces distinctes. Dans une pièce se trouvait un sol en béton de tuileau dont le décor était un quadrillage en forme de losanges réalisés en tesselles blanches inséré dans un cadre de tesselles noires et blanches en alternance. La couverture de sol de l'autre pièce reste inconnue⁴⁰.

Concernant le *cubiculum*, son pavement a été presque entièrement détruit par l'installation d'une canalisation⁴¹.

Dans sa seconde phase, entre 40 et 30 acn, la *Domus dei Bucrani* a subi plusieurs changements au niveau des pavements et des décors pariétaux ; principalement au niveau de l'*oecus* et du *cubiculum*⁴².

³⁷ MORARD & WASTIAU 2021, p. 71.

³⁸ Idem, p. 73.

³⁹ Idem, p. 74.

⁴⁰ Idem, p. 75.

⁴¹ MORARD 2007, pp. 70-73.

⁴² MORARD & WASTIAU 2021, p. 75.

A propos de *l'oecus*, les deux pièces de la première phase ont été transformées en une seule grande pièce appelée « *oecus 101* » et surnommée « chambre des nains » en référence à la peinture de II^{ème} style qui y fut découverte⁴³. Dans cette pièce, le bord de *l'opus tessellatum* a été découvert, cependant, le motif central reste inconnu à ce jour à la suite de sa destruction⁴⁴.

Le sol du *cubiculum* a également été transformé. Grâce aux quelques fragments retrouvés nous pouvons recomposer avec précisions son apparence⁴⁵. Il s'agissait d'un *opus tessellatum* de couleurs noires et blanches⁴⁶.

C'est grâce aux liens entre les peintures de II^{ème} style et les pavements que nous avons pu les dater précisément⁴⁷.

2.3.4. La *Domus a Peristilio* (Reg. IV, Is. V, 16)⁴⁸

Durant les années 30/20 acn⁴⁹, la *Domus dei Bucrani* est détruite et les débris sont alors probablement réutilisés pour la construction de la *Domus a Peristilio*⁵⁰. Les niveaux des sols ont alors été surélevés de 1,5m par rapport au niveau de la *domus* antérieure⁵¹. Le plan du nouvel édifice épouse celui du premier comme le montrent certaines fondations de la *Domus a Peristilio* qui réutilisent en partie les murs de la *Domus dei Bucrani*⁵².

Deux découvertes ont permis de déterminer que cette *domus* appartenait à la famille des Fabii : tout d'abord, la découverte d'un fragment portant une inscription dans le remblai créé par la destruction de cette demeure lors de la construction de la

⁴³ MORARD 2007.

⁴⁴ MORARD 2007, pp. 70-73.

⁴⁵ Cf. Annexe 5.

⁴⁶ MORARD 2007, pp. 70-73.

⁴⁷ Les synthèses concernant les peintures du II^{ème} style sont celles de BARBET 1985 ; CROISILLE 2005. Concernant les fresques de la *Domus dei Bucrani*, vous pouvez consulter MORARD 2007 ou encore FALZONE 2007, pp. 33-38.

⁴⁸ Cf. Annexe 6.

⁴⁹ MORARD, AUBRY & BOCHERENS 2015, pp. 179-180.

⁵⁰ MAINET 2018, p. 17.

⁵¹ MORARD & WASTIAU 2021, pp. 70-71.

⁵² DI GIACOMO 2013, p. 75.

Schola del Traiano portant le nom du consul Caius Fabius Agrippinus et, ensuite, la découverte d'un tuyau en plomb désignant le propriétaire de la conduite sous l'*atrium* de la *Domus a Peristilio*⁵³.

Les nombreuses fouilles archéologiques menées sur le site ont démontré que la *Domus a Peristilio* a subi plusieurs réparations mais également des réaménagements⁵⁴.

La première phase de réfection de la *Domus a Peristilio*, vers 10 pcn, consiste en un grand aménagement à l'arrière de la *domus*. Celui-ci comprend un complexe thermal privé et un *oecus*. Une canalisation et un nymphée sont installés dans l'*hortus*.

La deuxième phase, vers 100 pcn, consiste en un rehaussement des niveaux des sols de l'avant-corps, de l'*atrium* et des *fauces* dû à l'élévation du sol du *decumanus*. De plus, un enduit peint de II^{ème} style est appliqué dans le péristyle. Au début du II^{ème} siècle, celui-ci est réaménagé et recouvert d'un enduit peint de style linéaire⁵⁵.

Cette demeure fut finalement détruite au début III^{ème} siècle pcn pour laisser place à La *Schola del Traiano*.

2.3.5. La *Schola del Traiano* (Reg. IV, Is. V, 15)⁵⁶

La *Schola* présente deux phases de construction : la première comprend le bâtiment dans son ensemble avec son avant-corps et son péristyle. La seconde phase, quant à elle, est caractérisée par l'ajout d'un arrière-corps⁵⁷.

Dans sa première phase, l'édifice possède une entrée monumentale semi-circulaire dotée d'un pavement en *opus sectile*⁵⁸. L'entrée de l'édifice est bordée d'une cage d'escalier menant à un étage aujourd'hui disparu. Ce bâtiment possède un avant-corps entouré de plusieurs pièces de services. Cet avant-corps est doté de décorations,

⁵³ BOCHERENS & ZEVI 2007, pp. 257-271.

⁵⁴ MAINET 2018, pp. 17-18.

⁵⁵ DI GIACOMO 2013, p. 100.

⁵⁶ Cf. Annexe 7.

⁵⁷ WASTIAU 2017, pp. 5-9. Pour toutes informations supplémentaires, ce travail de mémoire sur l'arrière-corps de *Schola del Traiano* vous permettra de mieux comprendre l'édifice dans son ensemble ; MORARD 2017, pp. 167-190.

⁵⁸ MORARD & WAVELET 2002, pp. 761-771.

mais aussi de toutes les commodités nécessaires pour ses occupants telles que des citernes mais également un système de chauffage⁵⁹. Notons également, la présence de plusieurs cages d'escalier menant aussi bien aux étages que vers les sous-sols. La maison possédait également une cour à péristyle qui était flanquée d'un déambulatoire. Ajoutons également que le *Caseggiato delle Taberne Finestrate*⁶⁰, bâtiment constitué de plusieurs boutiques disposées autour d'une cour et attenant à la *Schola*, entretient des liens étroits avec celle-ci⁶¹.

Dans sa seconde phase, vers la fin du III^{ème} siècle ou début du IV^{ème} siècle⁶², la *Schola* est réaménagée. Un arrière-corps, un *triclinium* et d'autres pièces de repos ou de services sont alors construits⁶³. L'édifice devient une *domus* et est alors appelé *Schola Domus*. Lors de la construction de l'arrière-corps, les liens avec le *Caseggiato delle Taberne Finestrate* semblent avoir été modifiés. On ne sait pas trop ce qu'il est advenu de sa fonction ni de ses connexions avec la *Schola*⁶⁴.

L'abandon de l'édifice a été daté au V^{ème} siècle⁶⁵.

L'étude des mortiers de sol de la parcelle de la *Schola del Traiano* est pertinente parce qu'elle est le dernier maillon qui permettra de compléter les études déjà menées sur le site mais aussi parce qu'elle est novatrice à Ostie. En effet, peu de choses ont été réalisées sur la composition des sols de ce site archéologique. De plus, le site offre l'avantage de posséder un séquençage stratigraphique très serré entre le milieu du premier siècle acn et le V^{ème} siècle pcn. Cela nous permet ainsi pour un seul site d'établir une typo-chronologie.

⁵⁹ SCRINARI & RICCIARDI 1976, pp. 127-129.

⁶⁰ Pour davantage d'informations sur cet édifice, consultez TOMASSINI 2022.

⁶¹ MAINET 2018, pp. 191-192 ; TOMASSINI 2014, p. 201.

⁶² MORARD & WAVELET 2002, pp. 768-771.

⁶³ WASTIAU 2017, p. 8.

⁶⁴ MAINET 2018, pp. 191-200. ; MORARD & WAVELET 2002, pp. 761-762.

⁶⁵ DERU et al. 2018 ; DIENST 2014.

3. État de l'art

L'étude des mortiers antiques permet aux archéologues et aux historiens de mieux comprendre les techniques de construction, de déterminer les matériaux employés et permet également de fournir des informations sur l'évolution de ces techniques et de l'utilisation des matériaux au fil du temps.

3.1. Le mortier

En pratique, le mortier sert à lier entre eux les éléments de maçonnerie (pierres et/ou briques) des édifices. Ce matériau peut être qualifié de composite car il est le résultat du mélange de diverses matières. La composition d'un mortier peut varier pour plusieurs raisons : l'époque, le lieu, la disponibilité des matériaux (pénurie des matières premières et problèmes d'approvisionnement) mais la formule de base consiste en un liant, auquel on ajoute une charge ou des agrégats et de l'eau⁶⁶.

Le liant se trouve entre les grains d'agrégat. En séchant (ce qu'on appelle la « prise ») puis en durcissant, il permet la cohésion du matériau (mortier) et assure la liaison entre les éléments de maçonnerie. Le liant le plus utilisé dans les mortiers anciens est la chaux⁶⁷. Elle est le résultat de la calcination du calcaire. Celle-ci peut-être soit aérienne soit hydraulique. La chaux aérienne effectue sa prise uniquement au contact de l'air, tandis que la chaux hydraulique effectue sa prise initiale principalement au contact de l'eau, bien que s'ensuive aussi une carbonatation (prise à l'air) comme dans le cas de la chaux aérienne. Il est important de mentionner qu'un liant hydraulique peut également être obtenu par mélange de chaux aérienne et de matériaux pouzzolaniques (pouzzolane naturelle, tuileau) qui réagissent avec cette dernière pour former des phases hydrauliques comme c'est le cas pour une chaux hydraulique⁶⁸. Notons qu'il existe d'autres liants tels que le plâtre ou la terre.⁶⁹

⁶⁶ BRUN 2016, pp. 1113-1122.

⁶⁷ DELOYE 1996, pp. 94-98 ; ADAM 1984, pp. 69-84 et 251-256.

⁶⁸ VICAT 1856, pp. 79-90 ; COUTELAS 2009, pp. 16-17.

⁶⁹ BRUN 2016, pp. 1113-1122 ; COUTELAS 2009, pp. 14-15.

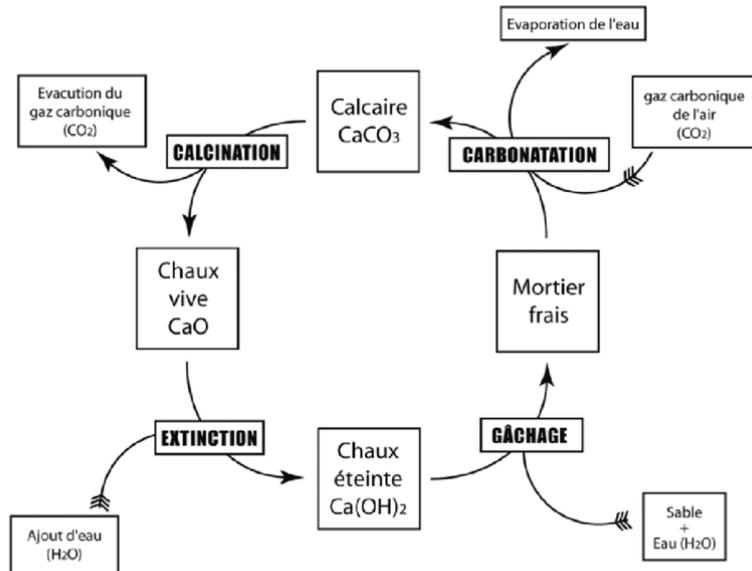


Fig. 2. Cycle de la chaux (Coutelas 2009, p. 15, tiré de Büttner).

La charge constitue le « squelette⁷⁰ » du mélange. Il peut s'agir de différents agrégats tels que du sable, du gravier, des pierres, du charbon, des fibres animales ou végétales, etc. Concernant les mortiers romains, on retrouve également des *pozzolane* (pouzzolanes naturelles) et des morceaux de terre cuite (céramiques ou terres cuites architecturales). Ces agrégats réactifs, quand ils sont présents en grande quantité, témoignent d'un ajout volontaire lors de la réalisation du mortier et confèrent des propriétés hydrauliques au mélange⁷¹.

3.1.1. Les techniques d'analyses

Les techniques d'analyses appliquées à l'étude des mortiers sont nombreuses et ont des objectifs de natures diverses. Certaines permettent la caractérisation du mélange⁷² tandis que d'autres permettent la datation⁷³ de ce dernier. Il est, bien

⁷⁰ Le terme « squelette » est généralement employé pour les agrégats des mortiers actuels. Cependant, ce terme permet de mieux comprendre le rôle des agrégats dans le mélange.

⁷¹ COUTELAS 2009, p. 19.

⁷² BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022 ; ERGENÇ, FORT, VARAS-MURIEL et al. 2021 ; VOLA, GOTTI, BRANDON et al. 2011.

⁷³ NONNI, MARZAILO, MIGNARDI et al. 2017 ; PAPADAKIS, FARDIS & VAYENAS 1992 ; DELIBRIAS & LABEYRIE 1963.

évidemment, toujours préférable de combiner plusieurs méthodes afin de comparer les résultats.

Le choix des méthodes d'analyses est basé sur plusieurs facteurs comme par exemple la quantité de matière disponible. En effet, les méthodes doivent pouvoir appréhender le matériau à diverses échelles sans pour autant multiplier les analyses. La quantité de matière peut être restreinte dans certains cas comme lorsqu'il s'agit de mortiers provenant de sites archéologiques.

Les différentes problématiques liées au matériau influencent également le choix des méthodes employées.

En archéologie, par exemple, la composition du mortier permet d'identifier les matières premières pour mieux appréhender le contexte socio-économique. L'archéologie vise également à connaître la chaîne opératoire de la fabrication du mortier depuis celle de la chaux jusqu'à la mise en œuvre du bâti⁷⁴.

En revanche, pour la restauration/conservation des monuments, qu'ils soient antiques ou modernes, on va s'intéresser à l'état de dégradation du matériau. Pour ce faire, on va tenter de comprendre l'évolution du matériau mais aussi sa composition afin de proposer une restauration compatible et pérenne. Dans ce cas de figure, les questions porteront sur l'hydraulicité du liant et sur les agrégats employés (proportion dans le liant et granulométrie).

Dans ce chapitre, nous tenterons de donner un aperçu des principales techniques d'analyses appliquées à l'étude des mortiers et d'envisager les informations qu'elles apportent. Cet aperçu ne sera pas exhaustif mais permettra d'avoir une vision plus claire de ce matériau.

⁷⁴ ELSEN 2006, p. 1417.

➤ **Les observations macroscopiques**

La toute première méthode d'analyse est l'observation macroscopique. Celle-ci est réalisée sur le terrain avant la prise d'échantillons. Elle correspond à l'observation à l'œil nu des mortiers afin de créer une première classification souvent basée sur la couleur et la texture du mortier. Cette première phase est importante mais doit être suivie d'analyses plus poussées qui permettront une caractérisation plus précise⁷⁵.

➤ **La microscopie à balayage électronique (MEB)**

Le microscope à balayage électronique est une technique qui consiste à balayer la surface d'un échantillon à l'aide d'électrons chargés en suivant des lignes successives. Les électrons transmettront un signal d'un détecteur à un écran cathodique qui permettra de visualiser l'échantillon. La surface de l'échantillon est donc analysée point par point⁷⁶.

➤ **La fluorescence X (XRF)**

L'analyse XRF permet de caractériser la composition physico-chimique des mortiers. Cette méthode peut détecter, identifier et doser des éléments majeurs, mineurs ou traces dans un matériau solide. L'échantillon va être soumis à un faisceau de rayons X, ceux-ci vont exciter certaines particules qui se mettront en mouvement. On mesurera alors l'énergie émise par ces particules chargées. Cette énergie étant propre à chaque particule, cela permettra de les identifier⁷⁷.

➤ **La granulométrie**

L'analyse granulométrique associée à la pétrographie permet de mesurer la taille des grains ou des particules élémentaires contenus dans le mortier. Cette

⁷⁵ PALAZZO-BERTHOLON 2000, pp. 196-197.

⁷⁶ Notes personnelles issues du cours intitulé « Techniques d'analyses du patrimoine » dispensé par le professeur David Strivay en 2021-2022.

⁷⁷ Idem.

méthode d'analyse est l'une des plus anciennes et l'une des plus utilisées pour l'étude des mortiers. Déjà, dans les années 1970, elle était employée par des scientifiques tels que Michel Frizot⁷⁸ ou encore Vinicio Furlan et Paul Bissegger⁷⁹. Cette méthode peut être établie de deux manières⁸⁰ :

- La première manière consiste en l'utilisation d'un logiciel tel que JMicroVision⁸¹ pour le comptage des grains à partir d'une lame mince. Cette technique permet de mesurer la taille des grains, de décrire leur forme, leur tri et leur répartition.
- La seconde manière est basée sur des techniques strictes de tamisages. La réalisation d'un tamisage permet de mesurer le poids des grains se trouvant dans le tamis. Pour ce faire, plusieurs tamis possédant différentes tailles de mailles vont être superposés. Les tamis sont disposés de manière à ce que les mailles soient de plus en plus petites. Ils sont ensuite placés dans un récipient étanche qui permettra la récupération du refus de tamis ; celui-ci sera alors pesé à l'aide d'une balance de précision⁸².

Cette technique appliquée à l'étude des mortiers permet de connaître les différentes granulométries du mélange, allant des plus petits grains aux grains de diamètres supérieurs.

Voici un exemple de charte pour caractériser le tri des granulats au sein d'un matériau étudié en pétrographique :

⁷⁸ FRIZOT 1982, pp. 196-167.

⁷⁹ FURLAN & BISSENGER 1975, p. 172.

⁸⁰ FOURNIER et *al.* 2012, pp. 9-12.

⁸¹ RODUIT 2007.

⁸² FOURNIER et *al.* 2012, pp. 24-26.

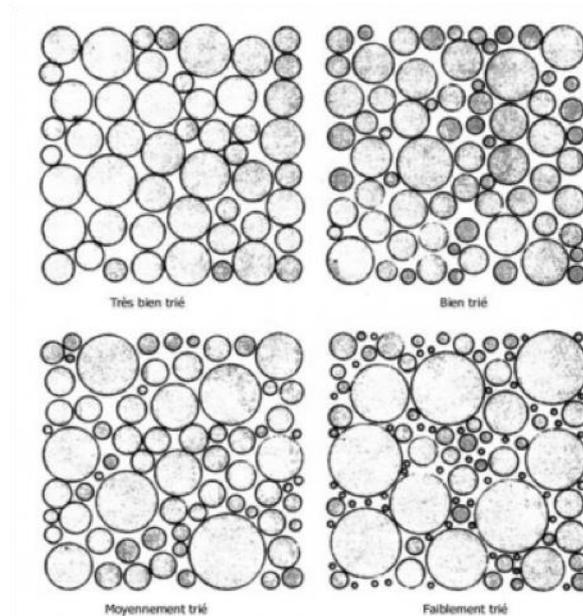


Fig. 3. Illustration des différentes catégories de tri d'un granulat dans une lame mince (Coutelas 2003 d'après Pettijohn et al 1973).

Les sables sont caractérisés selon la granulométrie des grains. En effet, un sable considéré comme très fin possède une granulométrie comprise entre 62,5 et 125 μm ; un sable fin possède une granulométrie comprise entre 125 et 250 μm ; un sable moyen a une granulométrie comprise entre 250 et 500 μm ; un sable grossier possède une granulométrie comprise entre 500 μm et 1000 μm ; un sable très grossier possède une granulométrie comprise entre 1000 μm et 2000 μm ⁸³.

Toujours au sein de la granulométrie, Il existe également une méthode qui se base sur une combinaison d'attaque chimique. En pratique, on attaque à l'acide chloridrique l'échantillon, dont certaines parties vont devenir solubles et d'autres resteront insolubles. On pourra alors réaliser un rapport de proportion entre les résidus insolubles et les fractions solubles. Ensuite, après une phase de décarbonation à froid par acide chloridrique dilué, la partie insoluble va être tamisée. Tous les résidus qui passeront à travers les mailles du tamis seront pesés⁸⁴.

⁸³ Cf. Annexe 8. Échelle de Wentworth, https://planetary.s3.amazonaws.com/web/assets/pictures/20130116_wentworth_1922_02_f01.gif (consulté le 23/07/2023) ; COUTELAS 2009, p. 13.

⁸⁴ Idem, https://planetary.s3.amazonaws.com/web/assets/pictures/20130116_wentworth_1922_02_f01.gif (consulté le 23/07/2023).

Rappelons que cette technique d'analyse est possible car la matrice du mortier est carbonatée. Il faut tout de même signaler que l'acide attaque également les éléments calcaires qui font partie des agrégats et non uniquement ceux contenus dans la chaux.

La granulométrie permet donc de savoir si un mortier est bien compact. Idéalement, pour qu'un mortier soit résistant, il faut qu'il y ait 2/3 de grains dont le diamètre mesure plus de 2mm pour 1/3 de grains dont le diamètre mesure moins de 63 μm ⁸⁵.

➤ **La diffraction des rayons X (DRX)**

La diffraction des rayons X est une méthode utilisée en minéralogie mais qui s'applique également à l'étude des mortiers. Cette technique d'analyse permet l'identification des minéraux présents dans les mortiers en déterminant les phases cristallines contenues dans l'échantillon.

La diffraction des rayons X consiste en un broyage de l'échantillon jusqu'à l'obtention d'une fine poudre qui sera disposée dans une coupelle qui sera mise dans un diffractomètre⁸⁶.

Cette technique d'analyse est fortement employée notamment en complément d'observations microscopiques⁸⁷.

➤ **Le dosage des éléments en spectrométrie d'absorption atomique**

Le dosage des éléments en spectrométrie d'absorption atomique permet d'analyser la teneur d'une soixantaine d'éléments chimiques dans les échantillons tels que le calcium, le magnésium, le strontium, le manganèse et le fer⁸⁸.

⁸⁵ COUTELAS 2003, p. 77.

⁸⁶ Idem, p. 50.

⁸⁷ COUTELAS 2003, p. 50.

⁸⁸ Ecole des Mines Saint-Etienne, Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation spectrométrie d'absorption atomique, <https://metrologienuclmadagascar.files.wordpress.com/2012/10/theorie-aas-francais.pdf> (consulté le 10/08/2023).

Cette technique se base sur des attaques à l'acide. Elle commence par la dissolution d'une petite quantité de chaux ou de matrice du mortier dans de l'acide acétique à 6%. Ensuite, une deuxième « attaque » à l'acide est effectuée mais cette fois avec de l'acide chloridrique à 30%. Lors de la dernière « attaque », l'échantillon est dilué dans un récipient contenant de l'eau déminéralisée. Enfin, arrive le moment de mesurer la teneur des éléments traces grâce à un spectromètre à absorption atomique. Cette technique d'analyse est intéressante car il faut une toute petite quantité de matière et que le pourcentage d'erreur est très bas, plus ou moins de 5%⁸⁹.

➤ **La pétrographie**

La pétrographie est une méthode d'analyse qui, à l'origine, était utilisée par des géologues pour étudier des roches sédimentaires. Elle s'applique également aux mortiers puisqu'on envisage les mortiers comme étant un matériau similaire à la roches⁹⁰. Depuis plusieurs années, cette technique d'analyse est largement utilisée en archéologie/archéométrie.

Cette méthode consiste en la réalisation de lames minces⁹¹ d'une épaisseur de 30 µm. Ces lames sont ensuite observées à l'aide d'un microscope optique polarisant. Les observations se font en lumière polarisée non analysée (lumière naturelle) et en lumière polarisée. Les microphotographies sont prises à l'aide du logiciel DeltaPix Invenio 5DII. Cette technique permet plusieurs choses comme la caractérisation du liant, l'identification des divers agrégats présents dans le mélange, la compréhension de l'état de dégradation du liant ou encore la proportion liant/agrégats. Cette dernière méthode d'analyse peut être réalisée à l'aide d'une charte de références⁹².

⁸⁹ COUTELAS 2003, p. 51.

⁹⁰ Idem, p. 21.

⁹¹ Le processus de fabrication des lames minces est détaillé au chapitre 4.3.1.

⁹² COUTELAS 2009, p. 137.

3.2. Sols et mortiers de sol de Vitruve à nos jours

Les traités portant sur les mortiers de sol antiques remontent à l'Antiquité même. Les Grecs ont utilisé un mélange à base de chaux et de sable pour lier les pierres entre elles dans les constructions⁹³. Cependant, les Romains ont été parmi les premiers à développer des techniques de construction avec l'utilisation de mortiers et les ont répandues à travers tout l'Empire. Au fil du temps, les techniques de construction se sont améliorées tout comme les recettes de mortiers ont évolué.

L'intérêt porté aux mortiers se base sur les différentes sources antiques qui nous sont parvenues. Parmi elles, une des plus importantes est la *De Architectura* de Vitruve⁹⁴ portant sur les techniques de mise en œuvre employées pour la construction romaine, sur « la maison romaine idéale » et sur les divers matériaux utilisés pour la construire⁹⁵. Concernant les matériaux, Vitruve va jusqu'à mentionner la manière de fabriquer de la chaux, les divers dosages possibles⁹⁶ pour la réalisation des mortiers et comment les mettre en œuvre⁹⁷. Le livre II est le plus pertinent dans le cadre de ce travail⁹⁸ car c'est dans celui-ci que Vitruve mentionne les divers matériaux de construction tels que les différents types de sables utilisés⁹⁹, la chaux¹⁰⁰ et les *pozzolane*¹⁰¹.

⁹³ FURLAN & BISSENGER 1975, pp. 166-167 ; ADAM 1984, pp. 69-70.

⁹⁴ De son nom entier Marcus Vitruvius Pollio, Vitruve était un architecte romain vivant au I^{er} siècle acn. Il est l'auteur de nombreux ouvrages dont son fameux « *De architectura* » en dix volumes. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Vitruve.html> (consulté le 3/08/2023).

⁹⁵ VITRUVÉ livre II et VI.

⁹⁶ Vitruve livre II, V. : « Quand la chaux sera éteinte, il faudra la mêler avec le sable : si c'est du sable fossile, dans la proportion de trois parties de sable et d'une de chaux ; si c'est du sable de rivière ou de mer, dans la proportion de deux parties de sable sur une de chaux : c'est là la juste proportion de leur mélange. Si au sable de rivière ou de mer on voulait ajouter une troisième partie de tuileaux pilés et cassés, on obtiendrait un mélange d'un usage encore meilleur. » Traduit par M. Mauftras et C. L. F. Panckoucke.

<https://remacle.org/bloodwolf/erudits/Vitruve/livre2.html> (consulté le 03/08/2023).

⁹⁷ BÜTTNER 2020.

⁹⁸ Vitruve livre II.

⁹⁹ Vitruve livre II, VI et VII.

¹⁰⁰ Vitruve livre II, V

¹⁰¹ Vitruve livre II, VI. : « Il existe une espèce de poudre à laquelle la nature a donné une propriété admirable. Elle se trouve au pays de Baïes et dans les terres des municipes qui entourent le mont Vésuve. Mêlée avec la chaux et le moellon, non seulement elle donne de la solidité aux édifices ordinaires, mais encore les môles qu'elle sert à construire dans la mer acquièrent sous l'eau une grande consistance ». M. Mauftras et C. L. F. Panckoucke.

Nous pouvons également citer Pline l'Ancien qui, dans son *Naturalis historia*, livre XXXV, 165, valorise l'utilisation de la terre cuite dans la recette du mortier. Dans son livre XXXVI, il évoque, tout comme Vitruve, les recettes de mortiers et la manière de les réaliser en donnant les dosages¹⁰².

Enfin, citons Caton l'Ancien dans son ouvrage *De re rustica* où il mentionne la manière dont une maison de campagne doit être construite¹⁰³.

Un problème se pose alors : lors de l'étude des sols et des mortiers qui composent ceux-ci, les archéologues ont tendance à se baser sur les textes et s'en servir comme argent comptant plutôt que de comparer les données archéologiques avec les sources anciennes.

Concernant le Moyen Âge, les sources sont beaucoup moins nombreuses que pour l'Antiquité. Il existe des traités tels que les *Compositones Lucenses*¹⁰⁴ mais ceux-ci ne font que rassembler des textes antiques avec quelques ajouts du Moyen Âge. Les informations que nous en retirons sont donc basées sur des traditions vitruviennes qui ont été transmises par les écrits de Faventinus et Palladius¹⁰⁵.

Entre le XVIIème siècle et le XIXème siècle, l'intérêt porté au mortier concerne principalement les techniques de construction mais dans une perspective plus pragmatique. Il s'agissait de connaître les temps de séchage et l'hydraulicité du produit.

Au milieu du XIXème siècle, Viollet-le-Duc, dans son dictionnaire raisonné de l'architecture française, consacre deux pages de son ouvrage à la qualité des mortiers. Il en donne une définition et soutient que la qualité des mortiers permet de différencier les époques de construction des différents bâtiments auxquels il a été confronté¹⁰⁶. Dans cette partie de son ouvrage, il évoque notamment la qualité médiocre des mortiers du Moyen Âge par rapport à ceux de l'Antiquité. Il justifie cela

<https://remacler.org/bloodwolf/erudits/Vitruve/livre2.htm> (consulté le 03/08/2023).

¹⁰² PLINE L'ANCIEN livre XXXV ; BERNO 2012.

¹⁰³ *De re rustica*.

¹⁰⁴ BRUN 2016, pp. 1114-1115.

¹⁰⁵ BÜTTNER 2020.

¹⁰⁶ Idem, pp. 402-403.

par une « perte » de connaissances à propos des processus de fabrication de la chaux¹⁰⁷.

Malgré le fait que le mortier joue un rôle majeur dans la construction romaine et que nous possédions des sources antiques sur les techniques de fabrication et de mise en œuvre, ce n'est que récemment, ces dernières décennies, que le monde scientifique s'est attardé sur la question/sujet. Des méthodes d'analyses modernes ont été développées et appliquées afin d'identifier les différents matériaux employés pour la réalisation des mortiers.

Au début du XXème siècle, Esther Van Deman rédige un article sur les maçonneries romaines de l'époque républicaine¹⁰⁸ et relance l'intérêt pour l'étude des mortiers. Dans cette publication, Van Deman tente de dater les monuments antiques par leur technique de construction.

Au milieu du XXème siècle, émerge un réel engouement autour des mortiers s'expliquant par l'attention portée au patrimoine et à sa conservation. Archéologues et historiens commencent à s'intéresser au mortier comme étant un indicateur chronologique important mais également une grande source d'informations quant à l'exploitation et l'importation de certaines matières premières.

Une des premières problématiques abordées va être celle concernant la fabrication de la chaux et l'approvisionnement en pierres calcaires. Nous pouvons citer l'article de Georgette Délibrias et Jacques Labeyrie intitulé « La datation des mortiers antiques par la méthode du Carbone 14 » et publié en 1963¹⁰⁹. Ce sont les premiers auteurs à s'intéresser à la possibilité de dater le liant carbonaté des mortiers de chaux au moyen du radiocarbone.

¹⁰⁷ VIOLLET-LE-DUC 1863.

¹⁰⁸ VAN DEMAN 1912.

¹⁰⁹ DELIBRIAS & LABEYRIE 1963.

En 1974, Michel Papadakis et Michel Venuat écrivent un livre sur l'industrie de la chaux, du ciment et du plâtre. Les chercheurs commencent à s'intéresser aux mortiers anciens et à leur histoire¹¹⁰.

En 1975, Vinicio Furlan et Paul Bissenger écrivent un article intitulé « Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifique ». Leur étude porte sur des mortiers provenant de l'église de Russin en Suisse. Ils ont pu récolter un corpus de trente-sept échantillons sur lesquels ils ont appliqué plusieurs méthodes d'analyses allant de l'observation microscopique à l'analyse chimique.

L'article de Michel Frizot datant de 1982 sur l'analyse des mortiers antiques et leur conservation illustre l'importance croissante accordée aux techniques de construction et leur conservation¹¹¹. En 1984, Jean-Pierre Adam écrit un livre sur la construction romaine¹¹². Citons également le dictionnaire de René Ginouves et de Roland Martin de 1985 qui explique les méthodes de constructions grecques et romaines¹¹³. Cet ouvrage aborde aussi bien les matériaux que les techniques de constructions et des décors. En 1995, Jean-Pierre Adam en se basant sur les écrits de Vitruve, explicite de manière claire la façon de réaliser un sol et les différents types de couverture de celui-ci¹¹⁴. Nous pourrions nous baser sur les écrits de Jean-Pierre Adam lors de notre étude puisque nous disposons de plusieurs types de sols.

Au début des années 2000, nous voyons arriver un nouvel attrait pour l'étude des mortiers. Pour cela, nous pouvons citer quelques grandes figures tel que Arnaud Coutelas qui, depuis sa thèse¹¹⁵ en 2003, se consacre à ce matériau et sur plusieurs problématiques le concernant. En 2009, il réalisa une étude portant sur la composition du mortier en abordant notamment certains types de mortiers comme celui de la chaux¹¹⁶. Au fil du temps, les problématiques changent : en 2012, Arnaud Coutelas rédige un article sur la planification et le déroulement des chantiers de construction en

¹¹⁰ PAPADAKIS & VENUA 1974.

¹¹¹ FRIZOT 1982.

¹¹² ADAM 1984.

¹¹³ GINOUVES & MARTIN 1985.

¹¹⁴ ADAM 1995, p. 253.

¹¹⁵ COUTELAS 2003.

¹¹⁶ COUTELAS 2009.

Gaule romaine. Dès lors, on ne s'intéresse plus seulement au mortier mais bien à sa mise en œuvre. Citons également Janet Delaine qui a énormément travaillé sur les mortiers en se focalisant sur l'origine des matériaux, leurs propriétés et leur acheminement¹¹⁷. En 2015, l'IPW publie un livre sur la chaux¹¹⁸. Cet ouvrage traite de la mise en œuvre des mortiers de chaux depuis l'antiquité à nos jours. Concernant les analyses microscopiques des mortiers antiques, nous pouvons citer l'ouvrage suivant : « *Atlante delle malte antiche in sezione sottile al microscopio elettronico. Atlas of the Ancient Mortars in thin section under optical microscope* » publié en 2017¹¹⁹ ,. Cet atlas est d'une aide précieuse pour les analyses pétrographiques.

Aujourd'hui, il semble qu'un regain d'intérêt et qu'un nouveau souffle soient injectés dans l'étude des mortiers antiques et leurs particularités. En effet, les géologues et les archéologues/archéomètres travaillent de concert afin d'appréhender ce matériau de la meilleure des manières¹²⁰.

3.3. Étude des sols d'Ostie et de ses alentours

Concernant Ostie, s'il existe de très nombreuses études portant sur les pavements, leur stylistique et sur leur l'iconographies telles que le mémoire de Charles Wastiau intitulé « Les limites de la stylistique : mise en contexte et étude comparatives de l'arrière-corps de la Schola del Traiano à Ostia Antica »¹²¹, très peu de choses ont été faites sur la composition des sols. Nous pouvons tout de même citer deux sources sur le sujet. La première étant la thèse Jennifer Leigh Murgatroyd intitulée « Ancient Mortar Production in Ostia, Italy : Builders and their choices » et publiée en 2016. Cette thèse porte sur l'utilisation et la fabrication du mortier dans les constructions de structures maçonnées à *Ostia Antica*. Ce travail aborde plusieurs points intéressants tels que la géologie du site d'Ostie, les diverses utilisations du mortier à travers les différentes constructions ostiennes, les composants des mortiers, l'origine des

¹¹⁷ DELAINE 2021.

¹¹⁸ VAN BALEN, VAN HEES, VAN HUNEN et *al.* 2015.

¹¹⁹ PECCHIONI, FRATINI & CANTISANI 2017.

¹²⁰ ERGENÇ, FORT, VARAS-MURIEL et *al.* 2021 ; BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022 ; GODARD 2022.

¹²¹ WASTIAU 2017.

agrégats et l'acheminement des matières premières pour la réalisation du mortier¹²². La seconde source est l'article de Sarah Boularand, Marcello Turci et Philippe Bromblet intitulé « Mineral, Chemical and Petrographic Characterization Of Hydraulic Mortars & Chronological Building Correlation Of The Baths Of Porta Marina In Ostia Antica (Italy) » publié en 2022. Dans cet article, les auteurs abordent des points très intéressants sur le mortier à Ostie tels que sa composition, l'identification des agrégats et l'origine de ces derniers¹²³.

De plus, plusieurs études ont été menées sur l'étude des mortiers d'enduits peints, ainsi que sur les mortiers des citernes du parc archéologique d'Ostie.

Les quelques études menées sur les mortiers des enduits peints à Ostie sont assez récentes. Nous pouvons notamment citer les travaux de Magali Souris : « *De la matière picturale au décor. Les enduits peints de la Domus aux Bucranes à Ostie comme témoin des particularités techniques des Ier et IIe styles en Italie centrale tardo-républicaine* »¹²⁴. Cette thèse comporte plusieurs objectifs : déterminer la nature du matériau, préciser les techniques de mises en œuvre, ce qui permettra dans un second temps de mieux comprendre l'aspect économique d'un chantier de construction. Citons également l'article d'Elodie Herens : « Le IIe style "ostien" sous enquête. Imagerie et analyses physico-chimiques des enduits peints de la Domus aux Bucranes »¹²⁵. Nous retrouvons également les nombreux travaux de Paolo Tomassini sur les enduits peints, tels que son article de 2022 intitulé : « *Enriching the knowledge of Ostia Antica painted fragments : a multi-methodological approach.* »¹²⁶. Mentionnons encore, son article datant de 2023 portant sur l'étude des peintures de l'époque antonienne à Ostie par l'utilisation d'analyses archéométriques¹²⁷.

¹²² LEIGH MURGATROYD 2016.

¹²³ BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022.

¹²⁴ SOURIS : Thèse à paraître, sous la direction du professeur Thomas Morard et du professeur David Strivay.

¹²⁵ HERENS 2022, pp. 191-206.

¹²⁶ TOMASSINI, BRACCI & MORANO 2022.

¹²⁷ TOMASSINI & MORANO 2023.

4. Méthode : mise en place d'un protocole d'analyse

L'établissement d'un protocole d'analyse portant sur l'étude des mortiers de sol va nous permettre de mieux comprendre la manière dont les échantillons ont été traités et la façon dont on a tenté de répondre à la problématique suivante : « Est-il possible de réaliser une typo-chronologie sur les mortiers de sol de la *Schola del Traiano* à Ostie grâce à l'analyse pétrographique ? ». Le protocole mis en place ici a été établi sur base de différentes sources telles que les nombreux travaux de monsieur Arnaud Coutelas¹²⁸, l'ouvrage de Bénédicte Palazzo-Bertholon¹²⁹ réalisé en 2000 mais également en s'appuyant sur le mémoire de fin d'études d'Anne Godard réalisé en 2022 à l'Université de Liège¹³⁰.

Le protocole réalisé pour ce travail de mémoire est le suivant :

- A. Réalisation d'un corpus d'échantillons : dix sols ont été échantillonnés sur la parcelle de la *Schola del Traiano*.
- B. Observations macroscopiques : descriptions de l'aspect des échantillons à l'œil nu et réalisation d'une fiche de description¹³¹.
- C. Observations microscopiques : réalisation de lames minces en vue d'une étude pétrographique.
- D. Résultats des analyses.
- E. Interprétation des résultats.

4.1. Réalisation d'un corpus d'échantillons

L'échantillonnage a été réalisé sous la supervision et avec l'autorisation du *Parco Archeologico di Ostia Antica* lors de campagnes de fouilles effectuées dans les années 2000. Entre les années 2000 et 2022, les échantillons ont été conservés dans les dépôts du parc archéologique d'Ostie. La méthode de conservation a consisté en

¹²⁸ COUTELAS 2021, pp. 149-160 ; COUTELAS 2012, pp. 131-143 ; COUTELAS 2003.

¹²⁹ PALAZZO-BERTHOLON, p. 194.

¹³⁰ GODARD 2022.

¹³¹ Cf. Annexe 9. La fiche de description a été réalisée sur la base de celles de monsieur Arnaud Coutelas et celles de Marine Wojcieszak avec leur accord.

un simple conditionnement des fragments dans des caisses en plastique ouvertes et superposées les unes sur les autres.

Dans le cadre de ce mémoire, le corpus a donc été réalisé sur base d'échantillons déjà prélevés, mais il a été également soumis à certaines restrictions comme le fait qu'aucune mosaïque ne pouvait être sortie du parc. Etablir un corpus ne fut donc pas chose aisée. Cependant, dix sols ont tout de même pu être sélectionnés pour cette étude : un sol de la *Schola del Traiano*, cinq sols de la *Domus a Peristilio* et quatre sols de la *Domus dei Bucrani*.

4.2. Observations macroscopiques

Les observations macroscopiques ont été réalisées à l'œil nu sur les échantillons bruts. Celles-ci portent principalement sur la couleur de l'échantillon, la nature des grands agrégats et également sur le nombre de couches visibles.

Toutes les observations ont été encodées sur une fiche de description réalisée pour ce travail¹³². Sur la fiche, nous retrouvons les informations suivantes : l'aspect général du mortier (homogène/hétérogène, nombre de couches), le type de liant, les agrégats, la matrice (nature, couleur) et les altérations visibles.

Concernant le critère de la couleur, nous nous sommes basés sur les termes employés par monsieur Coutelas dans ses propres fiches : gris/noir, blanc, blanc/gris, beige, etc¹³³.

Concernant les agrégats, les observations macroscopiques permettent l'identification de certains de ceux-ci tels que des morceaux de terre cuite, des fragments de pouzzolanes, des morceaux de charbon, des fragments de coquillages et bien d'autres encore. Notons que les observations macroscopiques nécessitent, dans certains cas, d'être confirmées ou infirmées par des observations pétrographiques. En effet, sur la base de la forme ou de la couleur, il n'est pas toujours possible de faire la

¹³² Cf. Annexe 9.

¹³³ COUTELAS 2022.

distinction entre un morceau de tuileau, un fragment de pouzzolane ou un morceau de tuf.

Lors de l'observation macroscopique, il est également possible de mesurer les dimensions maximales des plus grands agrégats. Ces informations sont importantes car elles nous permettent d'avoir une idée des proportions liant/agrégats dans le mélange global. Cela sera comparé par la suite avec les mesures prises lors de l'analyse pétrographique des échantillons. En effet, la dimension réduite d'une lame mince par rapport à la taille initiale des échantillons prélevés peut entraîner un problème de représentativité des observations pétrographiques dans le cas de couches contenant des agrégats très grossiers, tant pour la détermination de la taille maximum des agrégats que pour l'estimation des proportions liant/agrégat.

Notons que bien que l'observation macroscopique soit une part très importante dans l'analyse des mortiers, elle comporte tout de même une part de subjectivité (telle que la perception des couleurs par exemple) comme le mentionne Bénédicte Palazzo-Bertholon dans son article intitulé « Archéologie et archéométrie des mortiers et des enduits médiévaux. Etude critique de la bibliographie »¹³⁴.

4.3. Observations microscopiques

Les observations microscopiques ont été réalisées dans les laboratoires de l'IRPA sous la supervision de Laurent Fontaine, géologue spécialisé dans la caractérisation des matériaux pierreux du patrimoine. Pour ce faire, nous avons utilisé un microscope polarisant (Zeiss, Axio plan) couplé à un appareil photo digital permettant de prendre des microphotographies en haute définition des éléments visibles au microscope. Le logiciel que nous avons utilisé pour prendre les photos est appelé DeltaPix Invenio 5DII.

Afin de synthétiser les informations que nous avons pu recueillir sur les différents échantillons, nous avons établi un tableau regroupant toutes les données.

¹³⁴ PALAZZO-BERTHOLON 2000, p. 195.

	Liant			Agréats							Proportion Liant/agréats	Autres (fossiles, pigment, etc...)	Degré de dégradation du liant	
	Matrice	Incuit	Grumeaux	Sable	Pozzolane Rosse	Pozzolanelle	Fragment d'Italite	Scorie vitreuse de tuf	Scorie vitreuse de tuf lionato	Tuileau				
SL5190_PLV.01	Chaux aérienne	+	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	+++	Agréats = 50%	+	Dissolution et parties plus claires dans le mortier
SL														
SL														
SL														
SL														
SL														
SL														
SL														
SL														
SL														
SL														

Fig. 4. Tableau synthétique personnel des différents éléments se trouvant dans l'échantillon.

Certaines cases sont complétées avec les signes « + », ceux-ci représentent la quantité de certains types d'agréats présents dans le mortier. Lorsqu'aucun des agrégats n'est présent dans le mélange, les lettres « NP » (non présent) sont inscrites dans la case.

+	++	+++
Agrégat présent en toute petite quantité. Très peu d'occurrences dans le mélange.	Agrégat présent en moyenne quantité. Plusieurs occurrences.	Agrégat très présent. Représente une très grande partie du mélange. Occurrences trop nombreuses pour être recensées.

Fig. 5. Charte de référence personnelle – Fréquence des agrégats dans le mélange.

4.3.1. Réalisation de lames minces en vue d'une étude pétrographique

Pour réaliser l'étude pétrographique, les lames minces ont été confectionnées au service de Géologie de l'université de Liège par monsieur Raphaël Deville, le litholamelleur du service.

Le processus de préparation d'une lame mince se déroule en plusieurs étapes¹³⁵ :

- a) Préparation de l'échantillon : une tranche d'environ 1 cm d'épaisseur est coupée dans l'échantillon par une scie sous un jet d'eau s'il s'agit d'un matériau dur comme une pierre. S'il s'agit d'un matériau tendre, ce qui est notre cas avec le mortier, il est alors nécessaire d'imprégner l'échantillon dans une résine au préalable afin qu'il résiste à la découpe. Une fois la tranche découpée, un morceau de la taille d'un sucre (environ 45 x 25mm) sera découpé dans cette dernière.
- b) Surfaçage du « sucre » : le litholamelleur ponce le « sucre » sur une surface abrasive afin d'obtenir une surface parfaitement plane.
- c) Collage du « sucre » sur une lame de verre : pour ce faire, une colle polymère est utilisée. Le tout est mis sous une presse de collage pendant environ une heure.
- d) Amincissement et nouvelle phase de ponçage : cela va servir à rectifier l'épaisseur de la lame pour atteindre 30-35µm. Pour vérifier l'épaisseur de la lame, le litholamelleur va utiliser un comparateur numérique et l'observer au microscope.
- e) Finition de la lame mince : cette étape peut être réalisée de deux manières. On peut soit coller une lamelle couvre-objet sur la surface de la lame pour

¹³⁵ Ce chapitre se base sur MAROTEL et TOUBIANA 2013, poster scientifique de préparation de lames minces, https://factuel.univlorraine.fr/sites/factuel.univlorraine.fr/files/field/gallery/2015/02/affiche_processus.jpg (consulté le 10/08/2023).

la protéger (ce qui améliore également la qualité des prises de vues photographiques) ; ou on peut simplement laisser la surface de la lame mince telle quelle, après un éventuel polissage supplémentaire. Cette deuxième option a l'avantage de permettre l'observation de la lame mince au microscope polarisant et de pouvoir réaliser directement des analyses complémentaires par SEM-EDX par exemple (microscopie électronique à balayage équipée d'un détecteur de rayons X à dispersion d'énergie). Une fois ces analyses complémentaires réalisées, il y aura tout intérêt à coller une lamelle couvre-objet sur la surface de la lame pour la protéger.

Le type de matériau lithique qui sera mis en lame mince déterminera la durée du processus. En effet, réaliser des lames sur un matériau compact comme une roche met moins de temps que pour un matériau friable tel le mortier. En effet, celui-ci nécessite une étape supplémentaire d'imprégnation.

Ensuite, vient l'étape de l'analyse pétrographique.

4.3.2. Justification de ce choix d'analyse et intérêt de cette méthode

Comme expliqué précédemment dans le chapitre sur Ostie, tous les édifices de la *Schola del Traiano* ont déjà pu être datés par l'étude des céramiques¹³⁶ et celles portant sur les peintures murales qui sont en lien direct avec les sols¹³⁷. L'objectif de ce travail de mémoire n'est donc pas de dater les sols mais de caractériser la composition de ceux-ci et de voir dans quelle mesure l'ancienneté d'un sol et/ou la fonction de la pièce à laquelle il est destiné influent sur la composition employée.

Le type d'analyse le plus adéquat pour établir la composition des mortiers est la pétrographie en lames minces. Cette dernière est peu coûteuse et peut se réaliser dans des délais assez rapides si tant est qu'elle soit réalisée par des spécialistes du domaine tels que messieurs Laurent Fontaine et Arnaud Coutelas. Il est également important que la personne chargée de la confection des lames minces ait un minimum

¹³⁶ MOTTA 2019.

¹³⁷ AUBRY, BOCHERENS & MORARD 2015 ; PERRIER 2007.

d'expérience en la matière, la faible cohésion interne des échantillons nécessitant de passer par une étape supplémentaire d'imprégnation préalable. La pétrographie permet plusieurs choses : déterminer le type de liant, la nature des agrégats ajoutés au mélange (dont l'éventuel sable utilisé) et les proportions liant/agrégats. Ensuite, on peut aller plus loin en tentant par exemple de trouver l'origine du calcaire utilisé pour produire la chaux en observant les caractéristiques des fragments d'incuits (également appelés nodules), de trouver l'origine des agrégats (locaux ou importés) ou encore d'identifier le type de sable (de mer ou de rivière).

Il est également intéressant de coupler plusieurs types d'analyses afin de pouvoir confronter les résultats obtenus. Dans le cadre de ce travail, les résultats des analyses pétrographiques ont été comparés aux observations macroscopiques. Vu les délais impartis, d'autres techniques d'analyses n'ont pas été envisagées. Néanmoins, les observations pétrographiques ont amplement suffi pour caractériser la composition globale de chaque échantillon et permettre la comparaison entre échantillons.

5. Présentation des échantillons et analyses

5.1. Justification du choix des échantillons

Le choix des échantillons est une étape primordiale pour la réalisation d'une étude archéométrique quelle qu'elle soit. En effet, les résultats des analyses et leurs interprétations dépendent de la qualité des échantillons prélevés. Pour effectuer un échantillonnage idéal, il est important d'avoir défini de manière claire et précise les objectifs de l'étude menée sur ceux-ci¹³⁸.

5.2. Cadre de prélèvement et de conservation des échantillons

Dans le cadre de cette étude, l'échantillonnage a été réalisé sur des prélèvements effectués dans les années 2000 et conservés dans des caisses en plastique ouvertes dans les dépôts du parc archéologique d'*Ostia Antica*.



Fig. 6. Photographie du conditionnement des prélèvements de mortiers stockés dans les dépôts du parc archéologique d'*Ostia Antica* (photographie, 2022 © Marie Contino).

¹³⁸ HUGHES & CALLEBAUT 2002, p. 16.

Le choix des échantillons a été soumis à quelques restrictions émises par la direction générale du parc archéologique à savoir qu'aucune mosaïque n'a pu être sortie du parc, ainsi qu'aucun échantillon de sol en *cocciopesto* également appelé *opus signinum*¹³⁹.

Chaque échantillon a été choisi sur base des critères suivants : l'état de conservation, le nombre de couches présentes dans l'échantillon, le type de sol et la représentativité du sol étudié par rapport à sa mise en œuvre.

Une fois l'échantillonnage réalisé, il a fallu attribuer un numéro d'inventaire à chaque individu. En concertation avec le professeur Thomas Morard, nous avons choisi de donner le numéro du sol ainsi que le numéro de prélèvement. C'est pourquoi les échantillons sont nommés de la manière suivante : SL5190_PLV.01 ; SL5190_PLV.02 ; SL5190_PLV.03.

5.3. Analyses des lames minces

L'analyse pétrographique a été réalisée sur dix-sept lames minces provenant de dix sols différents. Dans ce chapitre, les analyses seront réparties en trois groupes : les lames de la *Domus dei Bucrani*, les lames de la *Domus a Peristilio* et enfin, la lame de la *Schola del Traiano* dans sa deuxième phase qui est appelée *Schola Domus*.

Chaque lame mince a été analysée selon les mêmes critères : l'identification du liant, l'identification des agrégats, le type de sable et l'état de dégradation du liant.

Le manque de représentativité des échantillons n'a, cependant, pas permis l'établissement d'un tableau de granulométrie.

Les photos des lames minces se trouvant dans ce chapitre proviennent de scans réalisés par mes soins. Les dimensions réelles des lames sont les suivantes : 3 x 2,5cm.

¹³⁹ VASSAL 2006.

La numérotation des différentes couches constituant le sol est représentée sur le tableau ci-dessous¹⁴⁰. De même, l'orientation de chaque lame mince suit l'ordre de ce tableau.

5	Couverture du sol
4	Bain de pause
3	<i>Nucleus</i>
2	<i>Rudus</i>
1	<i>Statumen</i>
0	Terre battue

Fig. 7. Tableau des couches de sol.

5.3.1. La *Domus dei Bucrani*¹⁴¹

Seuls quatre échantillons ont pu être analysés pour la *Domus dei Bucrani*. Concernant la *Domus dei Bucrani* phase I, nous avons pu étudier trois échantillons : SL5760_PLV.01, SL6552_PLV.01 et le PR5752_PLV.01. Concernant la *Domus dei Bucrani* phase II, un seul échantillon a été étudié : SL5230_PLV.01.

La *Domus dei Bucrani* phase I¹⁴²

a) Lame SL5760_PLV.01¹⁴³

Le sol SL5760 se situe dans l'espace 73, 84 qui correspond à la pièce appelée « *cubiculum* 84 ». Ce sol a été mis au jour lors des fouilles de 2003 dans le sondage « F » US5760 et se trouve à une altimétrie comprise entre 71 et 74cm asl.

¹⁴⁰ La numérotation des différentes couches du sol a été établie en collaboration avec monsieur Laurent Fontaine.

¹⁴¹ Pour toutes informations supplémentaires sur l'édifice : consultez le chapitre 2.3.3 portant sur le sujet.

¹⁴² Toutes les informations se trouvant dans ce chapitre portant sur le site de la *Schola del Traiano* proviennent de la base de données sur les sols réalisée par plusieurs chercheurs ayant participé aux fouilles et/ou à l'étude du matériel tels que le professeur Thomas Morard, le docteur Grégory Mainet et les doctorants Charles Wastiau et Simon Dienst. Le docteur Grégory Mainet a notamment rédigé un document portant sur la description des sondages de la mission de la *Schola* du Trajan. Toutes les analyses pétrographiques ont été réalisées par moi-même.

¹⁴³ Cf. Annexe 10.



Fig. 8. Photo de fouilles de 2003 du sondage F (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Lors des fouilles, une documentation photographique a été réalisée (Fig. 8). Celle-ci nous a permis de trouver une photo de la coupe stratigraphique du sol SL5760 (Fig. 9). Cette dernière nous permet de reconstituer toutes les couches du sol.

Quatre couches sont visibles sur la photographie :

- 1) Une fine couche de mortier blanc : Bain de pose.
- 2) Une couche de mortier gris : *Nucleus*.
- 3) Une couche de mortier gris/beige contenant des gros agrégats de terres cuites : *Rudus*.
- 4) Une couche de terre brune argileuse mélangée à des cailloutis : *Statumen*.

Il semble probable que le sol SL5760 ait supporté un *opus tessellatum* qui a été retiré lors de l'aménagement du nouveau sol SL5230.



Fig. 9. Photo de la coupe stratigraphique du sol SL5760 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Concernant l'analyse pétrographique¹⁴⁴ : sur la lame mince, nous observons trois couches : le bain de pose (couche 4), le *nucleus* (couche 3) et le *rudus* (couche 2).

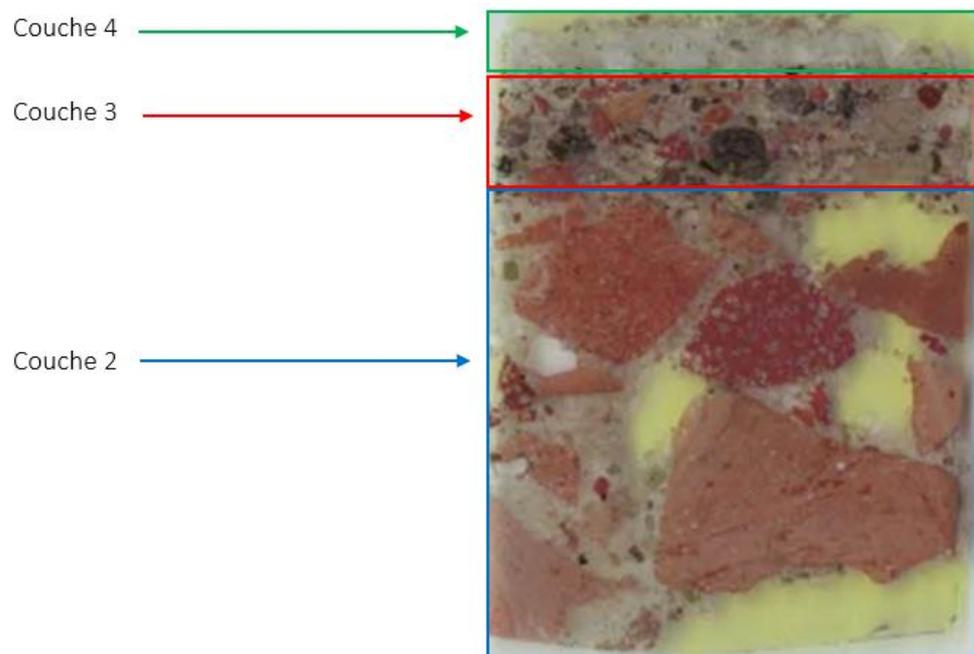


Fig. 10. Lame mince du sol SL5760 échantillon SL5760_PLV.01 : mise en évidence des couches (photographie, 2023 © Marie Contino).

¹⁴⁴ Cf. Annexe 11.

- Couche 4 : Bain de pose de couleur blanche d'environ 4mm d'épaisseur. On retrouve la présence de grains calcaires (poussière de marbre ?) et de nodules de chaux dont les dimensions maximales sont de 2mm.
- Couche 3 : Mortier de couleur grise d'environ 7mm d'épaisseur. Il y a deux types d'agrégats : du tuileau et des éléments pyroclastiques (*pozzolane rosse*, fragments d'Italite, scories de tuf). On retrouve la présence d'un sable : sable principalement siliceux mais contenant également des grains calcaires arrondis. Les grains siliceux sont composés de quartz, de feldspath, de pyroxène et de silice microcristalline. Le sable est grossier, les grains sont compris entre 1000µm et 2000µm. La couche a une épaisseur de 7mm.

Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques.

- Couche 2 : Mortier de couleur gris/beige d'environ 24mm. Agrégats de très grandes dimensions jusqu'à 5mm. Les agrégats principaux sont des morceaux de tuileau. On retrouve la présence d'un sable : sable principalement siliceux mais contenant également des grains calcaires arrondis. Les grains siliceux sont composés de quartz, de feldspath, de pyroxène et de silice microcristalline. Le sable est grossier, les grains sont compris entre 1000µm et 2000µm. La couche a une épaisseur d'environ 24mm.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et de tuileau. Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état.

b) Lame SL6552_PLV.01¹⁴⁵

Le sol SL6552 se situe dans l'espace 71 qui correspond à la pièce appelée « *oecus* oriental ». Ce sol a été mis au jour lors des fouilles de 2005 dans le sondage « T » US6552 et se trouve à une altimétrie comprise entre 88 – 90cm asl.

Durant sa première phase d'occupation, l'espace 71 était divisé en deux pièces carrées. Celles-ci étaient séparées par le mur MR6546. Le sol SL6552 correspondait à la chambre sud de cet espace.

Lors de la découverte du sol SL6552, celui-ci ne présentait aucune couverture. Tout comme pour le sol SL5760, il est possible que le sol SL6552 ait supporté un *opus tessellatum* qui aurait été enlevé lors de la réfection de la *domus*.

En 2010, de nouvelles fouilles ont été menées dans ce sondage, trois grands fragments du sol ont alors été prélevés. Ceux-ci ont été étudiés en comparaison avec les fragments du sol SL5760. Malheureusement, le sol SL6552 a subi énormément de dommages lors de la mise en place du sol SL6537 ; ceux-ci ont occasionné l'arrachement du *tessellatum*, du bain de pose mais également d'une grande partie du *nucleus*. Cependant, grâce aux parallèles avec le sol SL5760, la préparation des couches a pu être restituée.

L'étude macroscopique des mortiers menée par Charles Wastiau confirme la contemporanéité de la mise en place des sols SL5760 et SL6552 lors de la première



Fig. 11. Photo de fouilles de 2007 des espaces 37 et 71 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

¹⁴⁵ Cf. Annexe 12.

phase de la *Domus dei Bucrani*. Cette interprétation est tout de même sujette à discussion à cause du peu de représentativité des échantillons de sols étudiés.

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL6552 présentait deux couches :

- 1) Une couche de mortier gris/clair presque blanc dans laquelle se trouvaient des fragments concassés de terres cuites. La couche mesurait environ 5cm d'épaisseur. Nous sommes ici dans l'US6552 : *Nucleus*.
- 2) Une couche de terre brune assez compacte mêlée à des grands morceaux de tuf. La couche mesurait entre 10 et 16cm d'épaisseur selon l'endroit. Nous sommes ici dans l'US6553 : *Statumen*.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁴⁶ : sur la lame mince, nous observons une couche qui correspond au *rudus* (couche 2) :



Fig. 12. Lame mince du sol SL6552, échantillon SL6552_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 2 : Mortier de couleur beige d'environ 5cm d'épaisseur. Les agrégats principaux sont des morceaux de tuileau. Les fragments sont de grandes dimensions allant jusqu'à 20mm. Dans la préparation, nous retrouvons de

¹⁴⁶ Cf. Annexe 13.

nombreux grumeaux et nodules de chaux dont les dimensions sont comprises entre quelques μm et 7mm.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et de tuileau. Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état.

c) Lame PR5762_PLV.01¹⁴⁷

Le sol de la porte PR5762 se situe dans l'espace 73 qui correspond à la pièce appelée « *cubiculum* 84 » US5762. Cette préparation de seuil de porte a été mise au jour lors des fouilles de 2003 dans le sondage « F ». Concernant ce sol, l'altimétrie n'a pas été précisée.



Fig. 13. Photo de fouilles de 2003 du sondage F montrant la préparation du seuil PR5762 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le seuil de porte PR5762 fait partie de la pièce appelée *Cubiculum* 84 mais aucune description de celui-ci n'est réalisée.

L'échantillon étant de grandes dimensions, deux lames ont été réalisées afin d'avoir le plus de couches possibles s'y trouvant.

¹⁴⁷ Cf. Annexe 14.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁴⁸ : sur les lames minces, nous n'avons pu observer qu'une couche qui correspond au *rudus* (couche 2) :

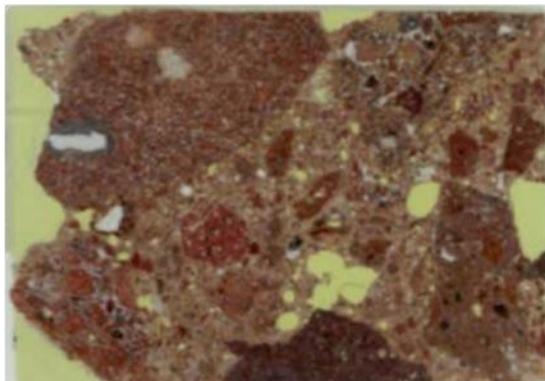


Fig. 14. Lame mince du seuil de porte PR5752 échantillon PR5762_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).

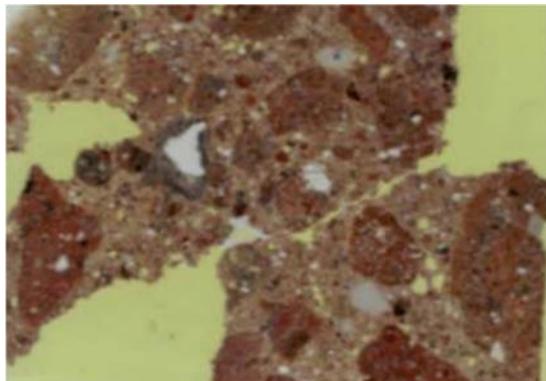


Fig. 15. Lame mince du seuil de porte PR5752 échantillon PR5762_PLV.02 (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 2 : Mortier de couleur rose d'environ 5cm d'épaisseur. On retrouve la présence de nombreux agrégats de nature pyroclastique tels que des scories vitreuses de tuf, des *pozzolane rosse* et des *pozzolanelle*. Notons également la présence de grumeaux et de nodules de chaux dans le mélange. Les agrégats sont de grandes dimensions allant jusqu'à 20mm.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques. Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état.

¹⁴⁸ Cf. Annexe 15.

La Domus dei Bucrani phase II¹⁴⁹

a) lame SL5230_PLV.01¹⁵⁰

Le sol SL5230 se situe dans l'espace 73, 84 qui correspond à la pièce appelée « *cubiculum* 84 » US5244. Ce sol a été mis au jour lors des fouilles de 2002 dans le sondage « F » et se trouve à une altimétrie comprise entre 87 et 97cm asl.

Lors des fouilles, seule une partie du *tesselatum* a été retrouvée. Le sol de ce *cubiculum* a été recouvert d'une mosaïque noire et blanche. La découverte de plusieurs fragments de ce pavement dans les fouilles a permis la reconstitution du motif de cet *opus tesselatum*. Ce dernier était composé d'un fond noir encadré d'une corniche de 5 tesselles blanches placées à 20cm du bord encadrant un motif central. Celui-ci est composé de plusieurs formes géométriques représentant des fleurs à 4 pétales allongés. Ces derniers sont formés de tesselles blanches encadrées par 4 carrés dans une alternance de couleur noire et de couleur blanche¹⁵¹.

Sous cet *opus tesselatum*, se trouve un sol simplement posé sur les restes du sol SL5760. Le sol SL5230 a été fortement endommagé lors de la destruction de la *Domus dei Bucrani*, seuls quelques fragments subsistent *in situ* au pied des murs MR5233 et MR5205 (Fig. 16). Ce sol est en connexion avec une peinture de II^e style pompéien.



Fig. 16. Photo de fouilles de 2002 du sondage F (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

¹⁴⁹ Pour toutes informations supplémentaires sur cette *domus* : consultez le chapitre 2.3.3 portant sur le sujet.

¹⁵⁰ Cf. Annexe 16.

¹⁵¹ Cf. Annexe 5.

La préparation du pavement est conservée au nord du sondage, on peut y observer 5 couches :

- 1) Un *opus tessellatum*.
- 2) Une couche de bain de pose d'environ 6mm d'épaisseur.
- 3) Une couche de mortier de couleur beige/rose d'environ 40mm d'épaisseur : *Nucleus*.
- 4) Une couche de mortier gris/brun d'environ 70mm d'épaisseur : *Nucleus*.
- 5) Une couche de mortier gris/blanc reposant sur une couche de sable.

Les fragments du sol SL5230 prélevés *in situ* dans les années 2002 présentent les mêmes caractéristiques que plusieurs fragments retrouvés dans le remblai de l'US37 dans le sondage G. Il est possible qu'ils proviennent de la même mosaïque.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁵² : sur la lame mince, nous observons seulement deux couches : le bain de pose (couche 4) et le *nucleus* (couche 3) :

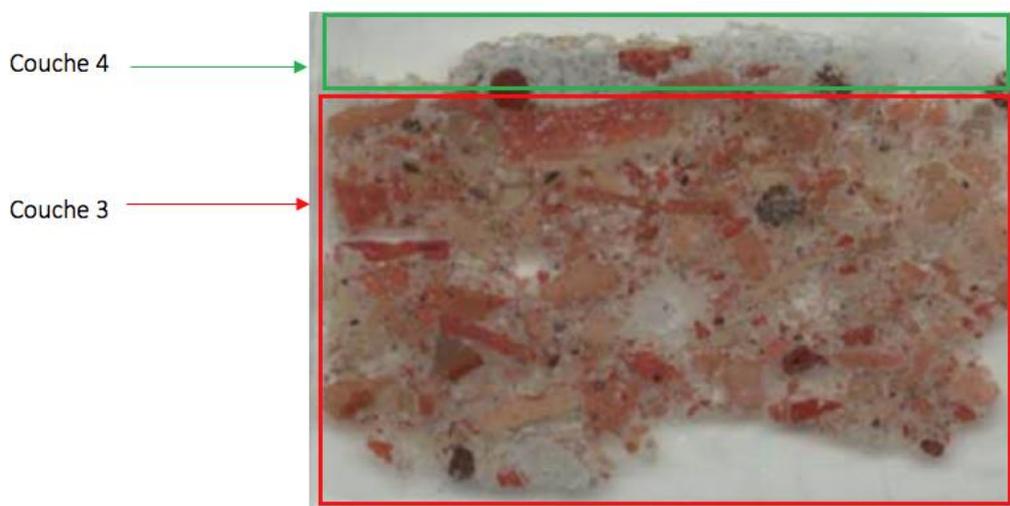


Fig. 17. Photo lame mince du sol SL5230, échantillon SL5230_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 4 : Bain de pose de couleur blanche d'environ 4mm d'épaisseur. Cette couche contient de nombreux nodules de chaux dont les dimensions maximales sont de 2,1mm.

¹⁵² Cf. Annexe 17.

- Couche 3 : Mortier de couleur rose d'environ 25mm d'épaisseur. Les agrégats principaux sont des morceaux de tuileau dont les dimensions maximales sont de 2,5mm. On retrouve également la présence d'éléments pyroclastiques en petites quantités tels que des *pozzolanelle*.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame (1 :1). Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et de tuileau pauvre en éléments pyroclastiques. Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état.

Toutes les informations sur la composition des sols analysés ci-dessus sont rassemblées dans un tableau synthétique¹⁵³.

¹⁵³ Cf. Annexe 18.

5.3.2. La *Domus a Peristilio*¹⁵⁴

Concernant la *Domus a Peristilio*, nous avons pu prendre plus d'échantillons que pour les autres *domus* parce qu'il y avait plus d'échantillons disponibles. Au total, dix échantillons provenant de cinq sols différents ont pu être analysés : SL5190_PLV.01, 02, 03 ; SL5016_PLV.01, 02 ; SL5853_PLV.01, 02, 03 ; SL5034_PLV.01 et le SL5023_PLV.01.

a) lame SL5190_PLV.01¹⁵⁵

Le sol SL5190 se situe dans l'espace 2 qui correspond à la pièce appelée « *atrium* ». Ce sol a été mis au jour lors des fouilles de 2006 dans le sondage « L ». Concernant l'échantillon SL5190_PLV.01, nous sommes dans l'US5793 et nous nous trouvons à une altimétrie comprise entre 206 et 230cm asl.



Fig. 18. Photo de fouilles de 2006 : vue générale de l'espace 2 et des sondages L et K (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

¹⁵⁴ Pour toutes informations supplémentaires sur l'édifice : consultez le chapitre 2.3.4 portant sur le sujet.

¹⁵⁵ Cf. Annexe 19.

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL5190 se trouvant dans le sondage « L » présentait trois couches :

- 1) Une couche de couleur rose/beige d'environ 12cm d'épaisseur dans laquelle se trouvaient des fragments de terres cuites : *rudus*.
- 2) Une couche de terre argileuse très compacte d'environ 20cm d'épaisseur dans laquelle se trouvaient de nombreux morceaux de mortiers, de blocs de tuf mais également des tessons de céramiques, des morceaux d'enduits peints, des fragments de stucs et divers éléments de constructions : *rudus*.
- 3) Une couche composée d'environ 10cm d'épaisseur de blocs de tuf : *statumen*.

Plusieurs travaux entrepris dans l'atrium ont eu pour conséquence la destruction de certains niveaux de sols.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁵⁶ : sur la lame mince SL5190_PLV.01, nous observons une couche qui correspond à un *rudus* (couche 2) :

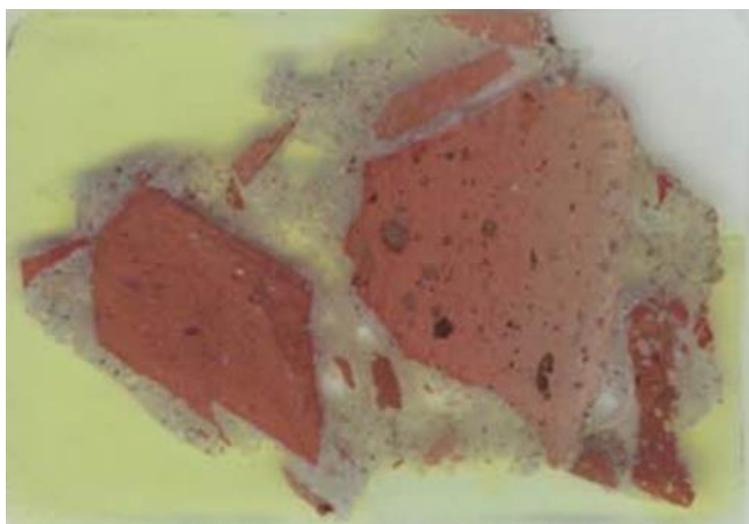


Fig. 19. Lame mince du sol SL5190 de l'échantillon SL5190_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 2 : Mortier de couleur beige/rose d'environ 115mm d'épaisseur. Sur la lame mince, on a deux grands morceaux de tuileau dont les dimensions maximales

¹⁵⁶ Cf. Annexe 20.

sont comprises entre 15mm et 20mm. Tous les agrégats sont de petites dimensions allant jusqu'à 10mm.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et de tuileau. Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état.

b) Lame SL5190_PLV.02¹⁵⁷

Le sol SL5190 se situe dans l'espace 12 qui correspond à la pièce appelée « atrium ». Ce sol a été mis au jour lors de fouilles qui ont eu lieu entre 1998 et 2004 dans le sondage « A ». Concernant l'échantillon SL5190_PLV.02, nous sommes dans l'US5189 et nous nous trouvons à une altimétrie de 219cm asl. Le pavement est bien conservé à l'est du mur MR5772 malgré un petit affaissement.



Fig. 20. Photo de fouilles de 2004 du sondage A (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

¹⁵⁷ Cf. Annexe 21.

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL5190 dans le sondage « A » présentait trois couches :

- 1) Une couche de couleur rose/beige d'environ 12cm d'épaisseur dans laquelle se trouvaient des fragments de terres cuites : *Rudus*.
- 2) Une couche de terre argileuse très compacte d'environ 20cm d'épaisseur dans laquelle se trouvaient de nombreux morceaux de mortiers, des blocs de tuf mais également des tessons de céramiques, des morceaux d'enduits peints, des fragments de stucs et divers éléments de constructions : *Rudus*.
- 3) Une couche d'environ 10cm d'épaisseur composée de blocs de tuf : *Statumen*.

Plusieurs travaux entrepris dans l'*atrium* ont eu pour conséquence la destruction de certains niveaux de sols.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁵⁸ : sur la lame mince SL5190_PLV.02, nous observons trois couches : un bain de pose (couche 4), un *nucleus* (couche 3) :

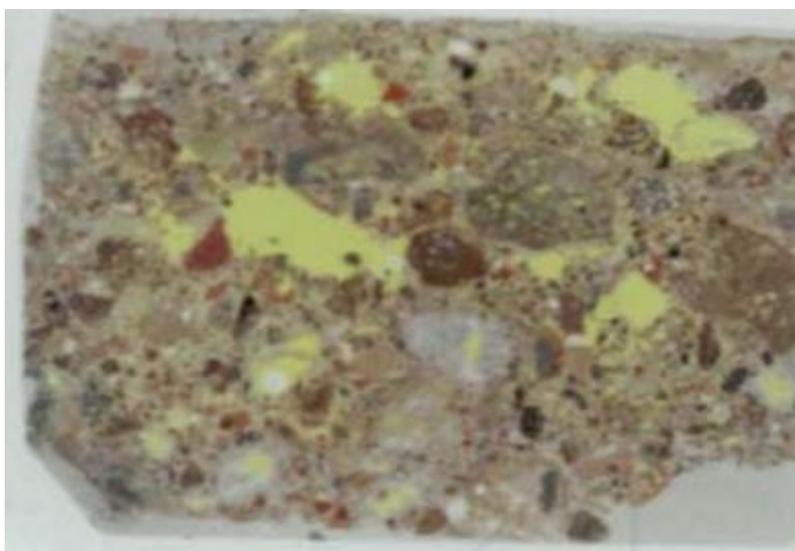


Fig. 21. Lame mince du sol SL5190 échantillon SL5190_PLV.02 (photographie, 2023 © Marie Contino).

¹⁵⁸ Cf. Annexe 22.

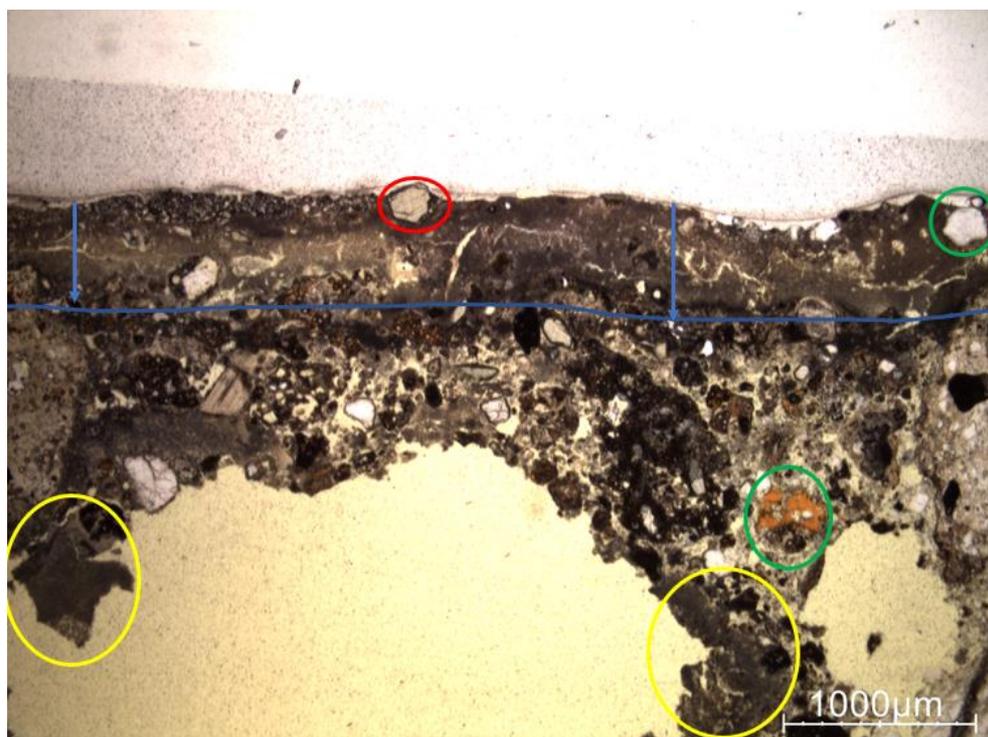


Fig. 22. Photo lame mince du sol SL5190 de l'échantillon SL5190_PLV.02 montrant les différentes couches de sol et certains agrégats (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 4 : Bain de pose d'environ 0.5mm d'épaisseur.
- Couche 3 (en-dessous de la ligne bleue) : Mortier de couleur grise d'environ 5cm d'épaisseur. Les agrégats principaux sont pyroclastiques : *pozzolane rosse*, *pozzolanelle*, fragments d'Italite, scories vitreuses de tuf. On retrouve également la présence de quelques morceaux de tuileau.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état. Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques pauvre en tuileau.

c) Lame SL5190_PLV.03¹⁵⁹

Le sol SL5190 se situe dans l'espace 2 qui correspond à la pièce appelée « atrium ». Ce sol a été mis au jour lors des fouilles 2006 dans le sondage « L ». Concernant l'échantillon SL5190_PLV.03, nous sommes dans les US5791-5792-5793 et nous nous trouvons à une altimétrie comprise entre 188 et 230cm asl.

¹⁵⁹ Cf. Annexe 23.

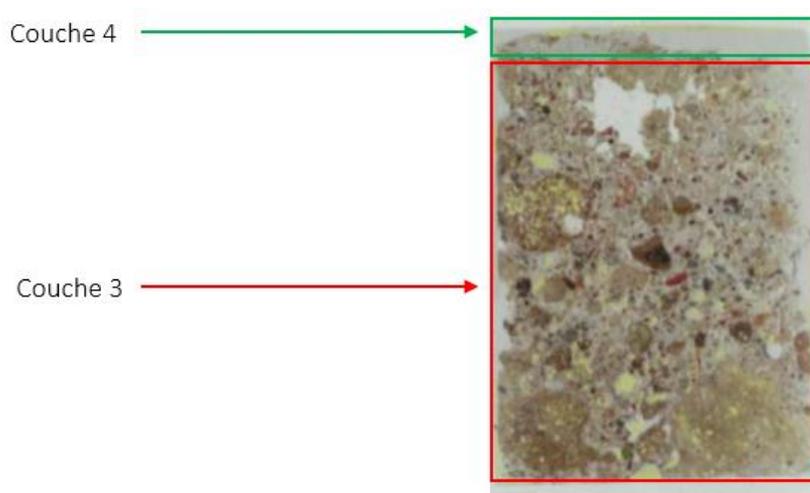
Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL5190 dans le sondage « A » présentait trois couches :

- 1) Une couche de couleur rose/beige d'environ 12cm d'épaisseur dans laquelle se trouvaient des fragments de terres cuites : *Rudus*.
- 2) Une couche de terre argileuse très compacte d'environ 20cm d'épaisseur dans laquelle se trouvaient de nombreux morceaux de mortiers, des blocs de tuf mais également des tessons de céramiques, des morceaux d'enduits peints, des fragments de stucs et divers éléments de constructions : *Rudus*.
- 3) Une couche d'environ 10cm d'épaisseur composée de blocs de tuf : *Statumen*.

Plusieurs travaux entrepris dans l'atrium ont eu pour conséquence la destruction de certains niveaux de sols.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁶⁰ : sur la lame mince, nous observons deux couches : un bain de pose (couche 4) et un *nucleus* (couche 3) :

Fig. 23. Lame mince du sol
SL5190 échantillon
SL5190_PLV.03. (photographie,
2023 © Marie Contino).



- Couche 4 : Bain de pose d'environ 0,3mm d'épaisseur.
- Couche 3 : Mortier de couleur grise d'environ 7cm d'épaisseur. Les principaux agrégats sont des éléments pyroclastiques : *pozzolane rosse*, *pozzolanelle*, fragments d'Italite, scories vitreuses de tuf *lionato*. On retrouve également la présence de quelques morceaux de tuileau.

¹⁶⁰ Cf. Annexe 24.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état. Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques pauvre en tuileau.

d) Lame SL5016_PLV.01¹⁶¹

Le sol SL5016 se situe dans l'espace 38, 73 qui correspond à la pièce appelée « *atrium* ». Ce sol a été mis au jour lors des fouilles de 2005 dans le sondage « S ». Concernant l'échantillon SL5016_PLV.01, nous sommes dans l'US5014 et nous nous trouvons à une altimétrie comprise entre 221 et 233cm asl.



Fig. 24. Photo de fouilles de 2005 du sondage S (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol 5016 comporte trois couches : un *nucleus* (couche 3), un *rudus* (couche 2) et un *statumen* (couche 1) :

¹⁶¹ Cf. Annexe 25.

- 1) Une couche de mortier gris assez fine : *Nucleus*.
- 2) Une couche de mortier blanc avec de grands fragments de terres cuites : *Rudus*.
- 3) Une couche de terre brune dans laquelle se trouve un lit de pierres : *Statumen*.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁶² : sur la lame mince, nous observons une couche correspondant à un *rudus* (couche 2) :

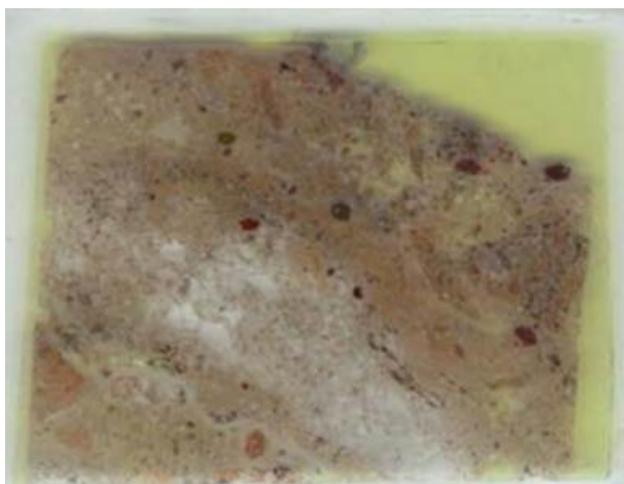


Fig. 25. Lame mince du sol SL5016 échantillon SL5016_PLV.01
(photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 2 : Mortier de couleur beige d'environ 9cm d'épaisseur. Les principaux agrégats sont pyroclastiques tels que des fragments d'Italite, des scories vitreuses de tuf et ils sont de petites dimensions. On retrouve la présence de grumeaux de chaux dont la dimension maximale est de 2,6mm.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état. Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques.

¹⁶² Cf. Annexe 26.

e) lame SL5016_PLV.02¹⁶³

Le sol SL5016 se situe dans l'espace 38, 73 qui correspond à la pièce appelée « atrium ». Ce sol a été mis au jour lors des fouilles de 2005 dans le sondage « S ». Concernant l'échantillon SL5016_PLV.02, nous sommes dans l'US5013 et nous nous trouvons à une altimétrie comprise entre 233 et 239cm asl.

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol 5016 comporte trois couches : un *nucleus* (couche 3), un *rudus* (couche 2) et un *statumen* (couche 1) :

- 1) Une couche de mortier gris assez fine : *Nucleus*.
- 2) Une couche de mortier blanc avec de grands fragments de terres cuites : *Rudus*.
- 3) Une couche de terre brune dans laquelle se trouve un lit de pierres : *Statumen*.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁶⁴ : sur la lame mince, nous observons deux couches : un *nucleus* (couche 3) et un *rudus* (couche 2) :

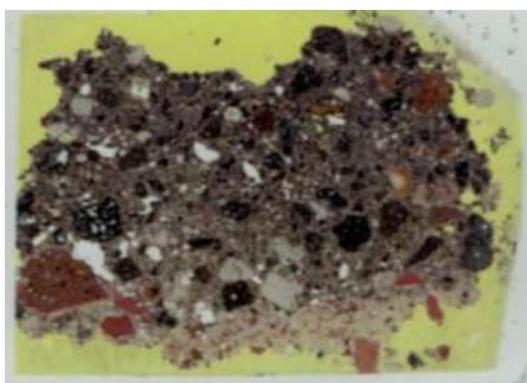


Fig. 26. Lame mince du sol SL5016 échantillon SL5016_PLV.02 : *nucleus* et *rudus* (photographie, 2023 © Marie Contino).

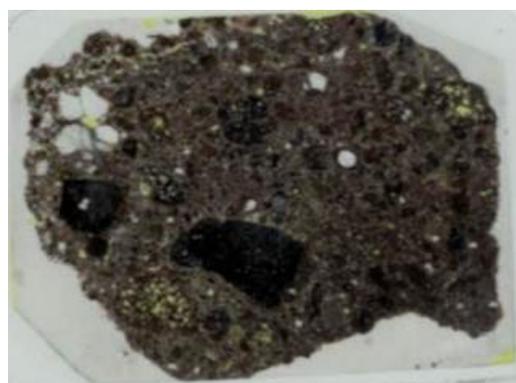


Fig. 27. Lame mince du sol SL5016 échantillon SL5016_PLV.02 : *nucleus* (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 3 : Mortier de couleur gris souris d'environ 4cm d'épaisseur. Les principaux agrégats sont des éléments pyroclastiques tels que des *pozzolane rosse* et des

¹⁶³ Cf. Annexe 27.

¹⁶⁴ Cf. Annexe 28.

fragments d'Italite dans les proportions suivantes : $\frac{1}{4}$ d'Italite pour $\frac{3}{4}$ de *pozzolane rosse*. Les agrégats sont de petites dimensions dont le plus grand mesure 10mm.

Les agrégats représentent 75% du mélange visible sur la lame mince (3 :1). Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état. Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques finement broyés.

- Couche 2 : Mortier de couleur blanc/beige d'environ 5cm d'épaisseur. Les agrégats principaux sont des morceaux de tuileau. Sur la lame mince, nous voyons trois grands morceaux de terres cuites dont les dimensions maximales font : 20mm, 15mm et 12mm. Tous les autres fragments sont de plus petites dimensions (inférieures à 10mm).

Les agrégats représentent 60% du mélange visible sur la lame mince (3 : 2). Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état. Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et de tuileau.

f) *Lame SL5853_PLV.01*¹⁶⁵

Le sol SL5853 se situe, dans l'espace 7, 98 qui correspond à la pièce appelée « *fauces* ». Ce sol a été découvert lors des fouilles de 2005 dans le sondage « Q ». Concernant l'échantillon SL5853_PLV.01, nous sommes dans l'US6294 et nous nous trouvons à une altimétrie comprise entre 224 et 229cm asl.

¹⁶⁵ Cf. Annexe 29.



Fig. 28. Photo de fouilles de 2005 du sondage Q et de l'US6294 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL5853 s'appuie contre le parement du mur MR6291 et que le sol est composé de cinq couches :

- 1) Une couche de mortier gris mesurant entre 5 et 8cm d'épaisseur : *Nucleus*.
- 2) Une couche de mortier blanchâtre mesurant entre 7 et 16cm d'épaisseur et contenant de nombreux fragments violacés (terres cuites ?) : *Rudus*.
- 3) Une couche de terre brune compacte mesurant entre 11 et 18cm d'épaisseur.
- 4) Un radier en moellon de tuf mesurant environ 10cm d'épaisseur : *Statumen*.
- 5) Une fine couche de terre brune très compacte mesurant entre 2 et 6cm d'épaisseur.

Ce sol est limité au sud par les vestiges de la préparation de porte PR6297 qui est perpendiculaire au mur MR6291.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁶⁶ : sur la lame mince, nous observons une couche correspondant à un *nucleus* (couche 3) :

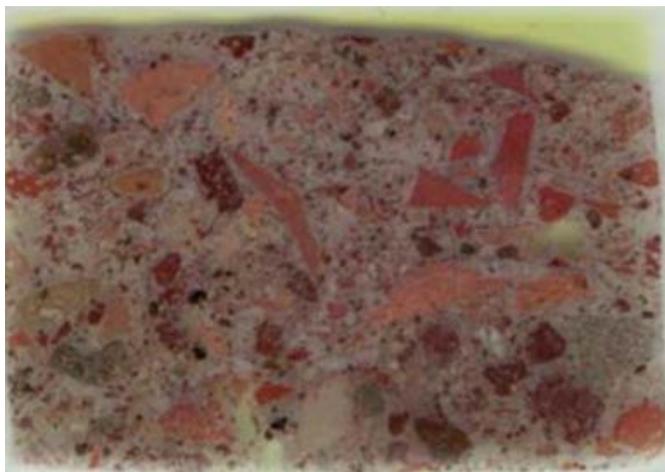


Fig. 29. Lame mince du sol SL5853 échantillon SL5853_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 3 : Mortier de couleur gris/blanc d'environ 7cm d'épaisseur. Les principaux agrégats sont des morceaux de tuileau mais l'on retrouve également plusieurs éléments pyroclastiques tels que des *pozzolane rosse*, des *pozzolanelle* et des fragments d'Italite. Les agrégats sont de petites dimensions mesurant jusqu'à 4,5mm.

Les agrégats représentent 60% du mélange visible sur la lame mince (3 :2). Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état. Le mortier est un mélange composé de chaux aérienne, de tuileau et d'éléments pyroclastiques.

g) Lame SL5853_PLV.02¹⁶⁷

Le sol SL5853 se situe dans l'espace 7, 98 qui correspond à la pièce appelée « fauces ». Ce sol a été découvert lors des fouilles de 2005 dans le sondage « Q ». Concernant l'échantillon SL5853_PLV.02, nous sommes dans l'US6296 et nous nous trouvons à une altimétrie comprise entre 202 et 219cm asl.

¹⁶⁶ Cf. Annexe 30.

¹⁶⁷ Cf. Annexe 31.



Fig. 30. Photo de fouilles de 2006 du sondage Q et de l'US6296 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL5853 s'appuie contre le parement du mur MR6291 et que le sol est composé de cinq couches :

- 1) Une couche de mortier gris mesurant entre 5 et 8cm d'épaisseur : *Nucleus*.
- 2) Une couche de mortier blanchâtre mesurant entre 7 et 16cm d'épaisseur et contenant de nombreux fragments violacés (terres cuites ?) : *Rudus*.
- 3) Une couche de terre brune compacte mesurant entre 11 et 18cm d'épaisseur.
- 4) Un radier en moellon de tuf mesurant environ 10cm d'épaisseur : *Statumen*.
- 5) Une fine couche de terre brune très compacte mesurant entre 2 et 6cm d'épaisseur.

Ce sol est limité au sud par les vestiges de la préparation de porte PR6297 qui est perpendiculaire au mur MR6291.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁶⁸ : sur la lame mince, nous observons une couche correspondant à un *rudus* (couche 2) :



Fig. 31. Lame mince du sol SL5853 échantillon SL5853_PLV.02 (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 2 : Mortier de couleur gris/beige d'environ 3cm d'épaisseur. Les agrégats principaux sont des morceaux de tuileau et des éléments pyroclastiques tels que des *pozzolane rosse*, des *pozzolanelle*, des scories vitreuses de tuf *lionato* et des fragments d'Italite. Notons également la présence d'un sable comme le démontre le fossile mais également la présence de grains arrondis tels que du quartz et des foraminifères. C'est un sable principalement siliceux dont une fraction est calcaire (fragment de coquille). Signalons également la présence d'un petit fragment de charbon. La dimension maximale du grand fragment pyroclastique (1/3 de la lame) composé essentiellement de *pozzolanelle* et d'autres éléments pyroclastiques est de 17mm. La dimension maximale du grand fragment calcaire (grand incuit/nodule) est de 22mm. Tous les autres fragments sont inférieurs à 4mm.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Cependant, il est difficile d'être très précis en raison de la présence de deux grands agrégats qui prennent plus de la moitié de la lame mince. Le liant présente des traces de dissolution et des fissures. Ce dernier est moyennement en bon état. Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne, d'éléments pyroclastiques et de tuileau.

¹⁶⁸ Cf. Annexe 32.

h) Lame SL5853_PLV.03¹⁶⁹

Le sol SL5853 se situe dans l'espace 7, 98 qui correspond à la pièce appelée « fauces ». Ce sol a été découvert lors des fouilles de 2005 dans le sondage « Q ». Concernant l'échantillon SL5853_PLV.03, nous sommes dans l'US6297 et nous nous trouvons à une altimétrie comprise entre 226 et 228cm asl.



Fig. 32. Photo de fouilles de 2005 du sondage Q et de l'US6297 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL5853 s'appuie contre le parement du mur MR6291 et que le sol est composé de cinq couches :

- 1) Une couche de mortier gris mesurant entre 5 et 8cm d'épaisseur : *Nucleus*.
- 2) Une couche de mortier blanchâtre mesurant entre 7 et 16cm d'épaisseur et contenant de nombreux fragments violacés (terres cuites ?) : *Rudus*.
- 3) Une couche de terre brune compacte mesurant entre 11 et 18cm d'épaisseur.
- 4) Un radier en moellon de tuf mesurant environ 10cm d'épaisseur : *Statumen*.
- 5) Une fine couche de terre brune très compacte mesurant entre 2 et 6cm d'épaisseur.

¹⁶⁹ Cf. Annexe 33.

Ce sol est limité au sud par les vestiges de la préparation de porte PR6297 qui est perpendiculaire au mur MR6291.



Fig. 33. Photo de fouilles de 2005 du sondage Q montrant les US6294, 6296 et 6267
(© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Concernant l'analyse pétrographique¹⁷⁰ : sur la lame mince, nous observons une couche correspondant à un *nucleus* (couche 3) :

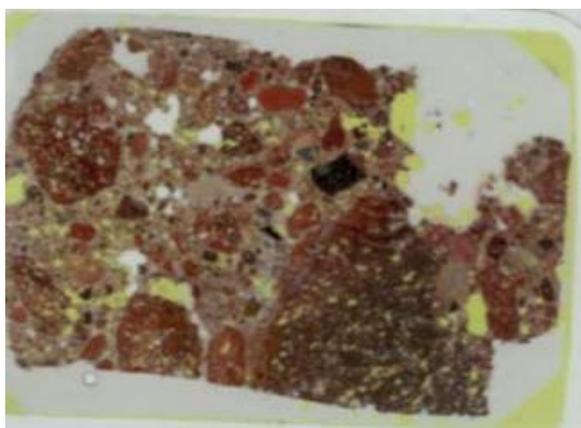


Fig. 34. Lame mince du sol SL5853 échantillon SL5853_PLV.03 (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 3 : Mortier de couleur grise d'environ 7cm d'épaisseur. Les agrégats principaux sont pyroclastiques tels que des *pozzonale rosse* (en très grande quantité), des fragments d'Italite et des scories vitreuses de tuf. La dimension

¹⁷⁰ Cf. Annexe 34.

maximale du plus grand agrégat est de 15mm et tous les autres mesurent maximum 7mm.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état. Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques.

i) lame SL5034_PLV.01¹⁷¹

Le sol SL5034 se situe dans l'espace 38, 71 qui correspond à la pièce appelée « *oecus* 101 ». Ce sol a été découvert lors des fouilles de 2007 dans le sondage « T » US5034 et se trouve à une altimétrie comprise entre 196 et 216cm asl.



Fig. 35. Photo de fouilles de 2007 du sondage T (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Le sol SL5034 conserve les empreintes des dalles de marbre qu'il supportait auparavant. Ce pavement n'est plus présent aujourd'hui, il a sans doute été retiré lors d'une phase de réaménagement de la *domus*.

¹⁷¹ Cf. Annexe 35.

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL5034 présentait trois couches :

- 1) Une couche de mortier blanc mesurant environ 30cm d'épaisseur mêlé à des fragments de terres cuites de couleur rouge/violet : *Rudus*.
- 2) Une couche de terre brune compacte mesurant entre 14 et 18cm d'épaisseur.
- 3) Une couche de radier de sol mesurant entre 6 et 8cm d'épaisseur et constitué de nombreux blocs de tuf irréguliers : *Statumen*.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁷² : sur la lame mince, nous observons deux couches : un *nucleus* (couche 3) et un *rudus* (couche 2) :

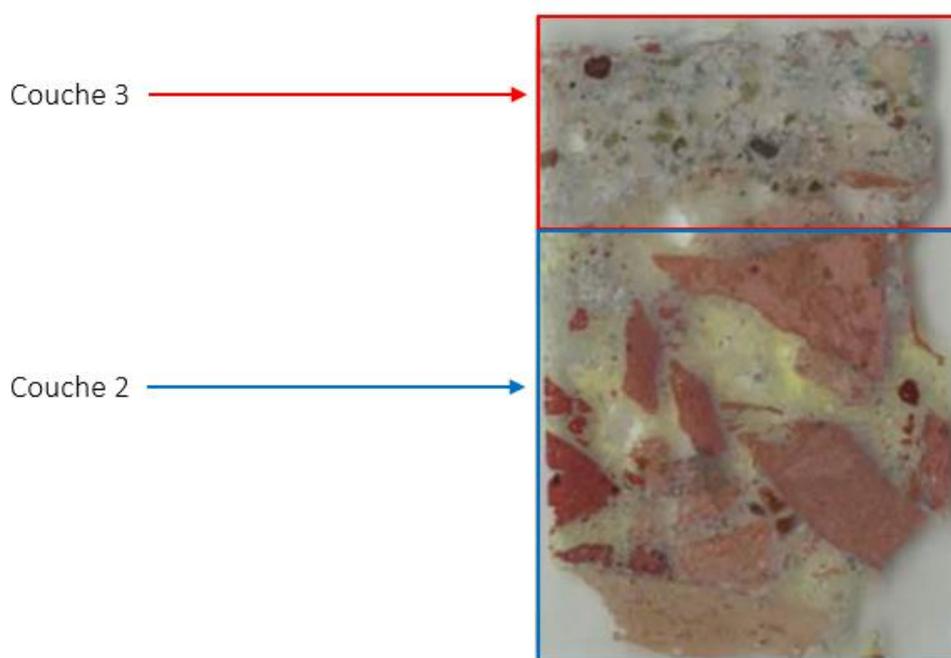


Fig. 36. Lame mince du sol SL5034 échantillon SL5034_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 3 : Mortier de couleur grise d'environ 5cm d'épaisseur. Les principaux agrégats sont des éléments pyroclastiques tels que des *pozzolanelle* et des

¹⁷² Cf. Annexe 36.

fragments d'Italite. Ils sont de très petites dimensions. Notons qu'un pigment bleu est présent sur cette couche. Le pigment est visible sur toute la surface du sol¹⁷³.

Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques très fins.

- Couche 2 : Mortier de couleur beige/blanc d'environ 2cm d'épaisseur. Les principaux agrégats sont des morceaux de tuileau de grandes dimensions mesurant jusqu'à 30mm.

Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et de tuileau.

Les agrégats représentent 40% du mélange visible sur la lame (2 : 3). Le liant présente beaucoup de dissolution, il est fortement altéré.

j) lame SL5023_PLV.01¹⁷⁴

Le sol SL5023 se situe dans l'espace 72 qui correspond à la pièce appelée « *tablinum* ». Ce sol a été mis au jour lors des fouilles qui ont eu lieu entre 1998 et 2001 dans le sondage « E » US5023 et se trouve à une altimétrie comprise entre 219 et 223cm asl.

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL5023 comportait trois couches distinctes :

¹⁷³ Voir chapitre 6.

¹⁷⁴ Cf. Annexe 37.



Fig. 37. Photo des fouilles de 2005 du sol SL5023 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).



Fig. 38. Photo de fouilles du sol SL5023 montrant la stratigraphie du sol. (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

- 1) Une couche de mortier gris assez fin et compact mesurant entre 10 et 14cm d'épaisseur sur lequel se trouvait une mosaïque à tesselles blanches : *Nucleus*.
- 2) Une couche de mortier blanc mesurant entre 8 et 13cm d'épaisseur et constitué de fragments de terres cuites : *Rudus*.
- 3) Une couche épaisse de terre brune mesurant entre 20 et 22cm d'épaisseur dans laquelle se trouvent des pierres : *Statumen*.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁷⁵ : sur la lame mince, nous observons trois couches : un bain de pose (couche 4), un *nucleus* (couche 3a) et un autre *nucleus* (couche 3b) :

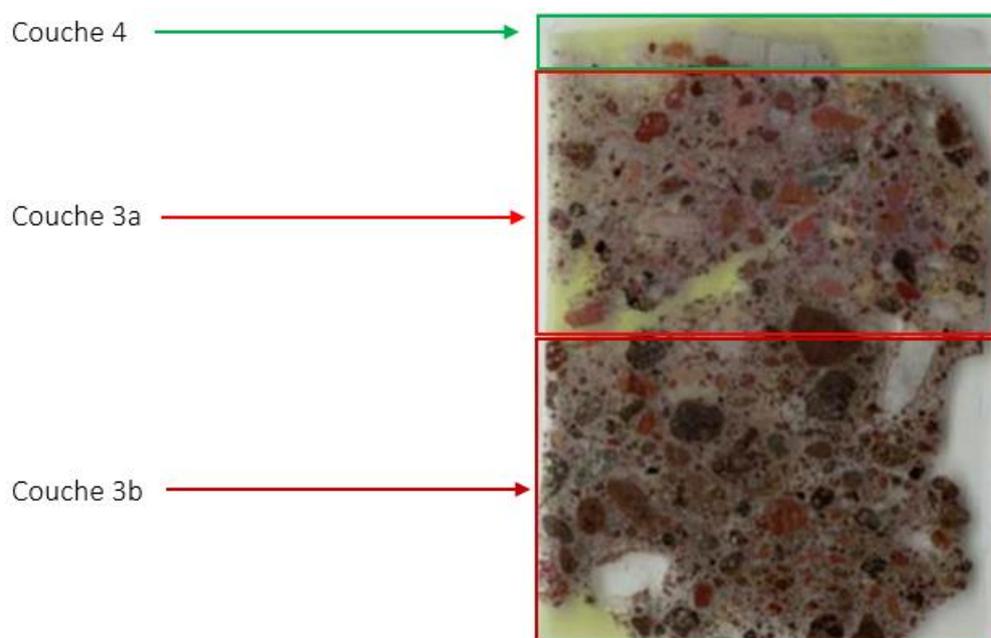


Fig. 39. Lame mince du sol SL5023 échantillon SL5023_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 4 : Bain de pose de couleur blanche d'environ 2,5mm d'épaisseur.
- Couche 3a : Mortier de couleur gris/blanc d'environ 21mm d'épaisseur. Les principaux agrégats sont des morceaux de tuileau, on retrouve également quelques éléments pyroclastiques tels que des fragments *d'Italite*. La dimension maximale des agrégats est de 4mm. On retrouve la présence de grumeaux de chaux dont la dimension maximale est de 2,1mm.

¹⁷⁵ Cf. Annexe 38.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et de tuileau pauvre en éléments pyroclastiques. Le liant présente des traces de dissolution mais reste en bon état.

- Couche 3b : Mortier de couleur grise d'environ 15mm d'épaisseur. Les agrégats sont presque exclusivement des éléments pyroclastiques tels que des *pozzolane rosse*, des fragments d'Italite et des scories vitreuses de tuf *lionato*. On retrouve la présence de nodules dont la dimension maximale est de 5,3mm et de grumeaux de chaux dont la dimension maximale est de 2,3mm.

Les agrégats représentent 50% du mélange visible sur la lame mince (1 :1). Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques. Le liant présente de fortes dissolutions, il est grandement altéré contrairement au *nucleus* qui se trouve juste au-dessus. Il pourrait donc s'agir de deux sols qui ne sont pas contemporains.

Toutes les informations sur la composition des sols analysés ci-dessus sont rassemblées dans un tableau synthétique¹⁷⁶.

¹⁷⁶ Cf. Annexe 39.

5.3.3. La *Schola del Traiano*¹⁷⁷

Un échantillon de cette *domus* a pu être étudié. Il s'agit de l'échantillon SL7059_PLV.01 provenant de la seconde phase de la *Schola del Traiano* appelée *Schola Domus*.

La *Schola Domus*

a) SL7059_PLV.01¹⁷⁸



Fig. 40. Photo de fouilles de 2009 sondage Y espace 47
(© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

Le sol SL7059 se situe dans l'espace 47 qui correspond à l'arrière-corps de l'édifice. Ce sol a été mis au jour lors des fouilles de 2009 dans le sondage « Y » US7067 et se trouve à une altimétrie comprise entre 308 et 328cm asl.

¹⁷⁷ Pour toutes informations supplémentaires sur l'édifice : consultez le chapitre 2.3.5 portant sur le sujet.

¹⁷⁸ Cf. Annexe 40.

Lors de la découverte du SL7059, celui-ci était couvert d'une mosaïque à grosses tesselles noires et blanches.



Fig. 41. Photo de fouilles de 2009 sondage Y, US7062 de la mosaïque de l'espace 47 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

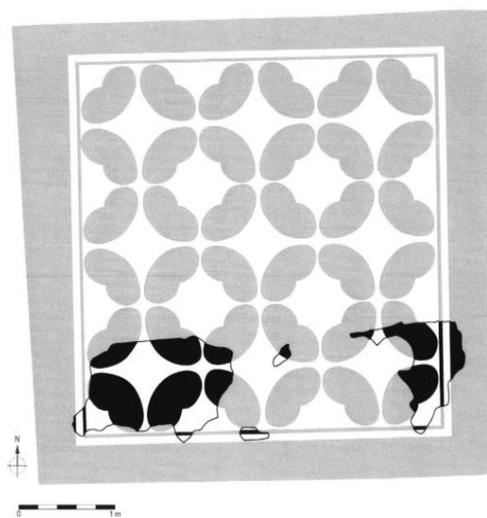


Fig. 42. Reconstitution de la mosaïque de l'espace 47 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).

La composition est encadrée, de l'extérieur vers l'intérieur : d'une bordure de tesselles noires, d'une bande de tesselles blanches (4 rangs) et enfin d'une fine bande de tesselles noires (2 rangs). Le motif central se présente sous la forme d'une composition orthogonale alternant de grands carrés concaves et de petits carrés concaves en opposition de couleurs.

Dans la documentation de fouilles, nous apprenons que le sol SL7059 présentait plusieurs couches :

- 1) Une couche de mosaïque : *Tesselatum*.
- 2) Une couche de chaux : Bain de pose.
- 3) Une couche de mortier gris d'environ 10cm d'épaisseur : *Nucleus*.
- 4) Une dalle d'une épaisseur d'environ 10cm. Celle-ci est composée de trois parties : une couche de mortier sur laquelle reposent de petits blocs de tuf irréguliers sur lesquels une couche de mortier a été appliquée pour rendre la surface plane. Cette couche épaisse semble être un mélange entre un *statumen* et un *rudus*.

Concernant l'analyse pétrographique¹⁷⁹ : sur la lame mince, nous observons une couche qui correspond au *nucleus*.

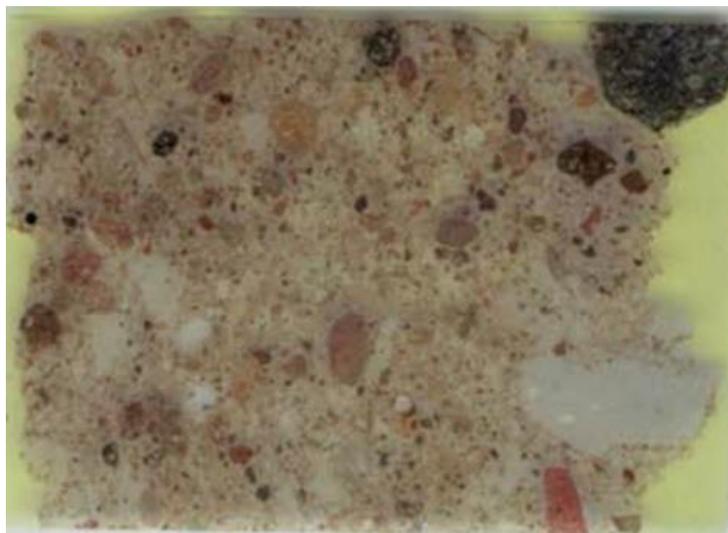


Fig. 43. Lame mince du sol SL7059 échantillon SL7059_PLV.01
(photographie, 2023 © Marie Contino).

- Couche 3 : Mortier de couleur gris/beige d'environ 3cm d'épaisseur. Les agrégats principaux sont de nature pyroclastique : *pozzolane rosse*, *pozzolanelle*, fragments d'Italite, scories vitreuses de tuf et scories vitreuses de tuf *lionato*. On retrouve également quelques fragments de tuileau mais en très petites quantités. Les agrégats sont de toutes petites dimensions (< 2mm sous forme de « poudre »). Certains mesurent jusqu'à 7mm. Nous retrouvons également la présence de grumeaux de chaux dont la dimension maximale est de 9mm.

Les agrégats représentent 40% du mélange visible sur la lame mince (2 :3). Le mortier est composé d'un mélange de chaux aérienne et d'éléments pyroclastiques pauvre en tuileau. Le liant présente de la dissolution mais reste en bon état.

Toutes les informations sur la composition du sol analysé ci-dessus sont rassemblées dans un tableau synthétique¹⁸⁰.

¹⁷⁹ Cf. Annexe 41.

¹⁸⁰ Cf. Annexe 42.

6. Analyse supplémentaire

Parmi tous les échantillons analysés, un sortait de l'ordinaire. En effet, sur l'échantillon SL5034_PLV.01¹⁸¹, lors de l'observation au microscope nous avons constaté la présence d'un pigment de couleur bleue. Cette découverte sur la surface du sol SL5034 nous a poussée à réaliser des analyses supplémentaires afin d'identifier ce pigment.

Lors de l'observation au microscope, nous avons remarqué que le pigment semblait être de nature minérale. Nous avons donc pensé qu'il s'agissait de bleu égyptien mais fallait-il encore le prouver. Amandine Colignon, ancienne étudiante de l'université de Liège qui travaille désormais à l'IRPA et moi-même avons travaillé ensemble. Madame Colignon est la mieux placée pour identifier ce pigment puisque son mémoire porte justement sur l'identification du bleu égyptien dans les peintures égyptiennes¹⁸².

D'abord, nous avons décidé d'utiliser la technique de spectrométrie RAMAN¹⁸³ qui semblait être la technique la plus adéquate et celle qui pourrait nous donner des résultats dans des délais assez courts (quelques minutes). Malheureusement, aucun résultat concluant n'a été obtenu.

Dès lors, nous avons dû trouver une autre manière d'analyser ce pigment minéral. Nous avons alors choisi d'isoler le pigment du mélange dans lequel il se trouvait. Pour cela, nous l'avons broyé/pressé dans une cellule diamant. Ensuite, nous

¹⁸¹ Cf. Annexe 36.

¹⁸² COLIGNON 2020.

¹⁸³ Nous remercions l'IRPA et Amandine Colignon d'avoir gentiment accepté de réaliser cette analyse. La technique de spectrométrie RAMAN est une méthode d'analyse non destructive d'observation de la composante moléculaire de la structure d'un matériau. Cette technique se base sur un phénomène physique selon lequel un milieu, s'il est traversé par une lumière, modifie légèrement la fréquence de celle-ci. Cela correspond à un échange d'énergie entre le milieu et la lumière. On va avoir une lumière incidente qui va être diffractée et on va avoir plusieurs effets comme le premier qui est l'effet Rayleigh puis l'effet Raman qui crée un décalage avec la lumière. On utilise une lumière qui traverse un milieu, dont une toute petite partie va se diffuser en modifiant sa fréquence. Cela donne des spectres où on a des pics avec des nombres. On va obtenir un spectre avec des pics en cm^{-1} . Les spectres pourront ensuite être comparés à des bandes de références préexistantes. Cette technique peut être utilisée sur plusieurs matières mais ne fonctionne pas sur les métaux. Cette méthode est notamment utilisée pour identifier la nature d'un pigment. Notes personnelles issues du cours intitulé « Techniques d'analyses du patrimoine » dispensé par le professeur Strivay en 2021-2022.

avons pris des photos du minéral sous microscope. Par comparaison avec des photos de ce pigment¹⁸⁴, nous avons pu établir qu'il s'agissait bien d'un bleu égyptien¹⁸⁵.

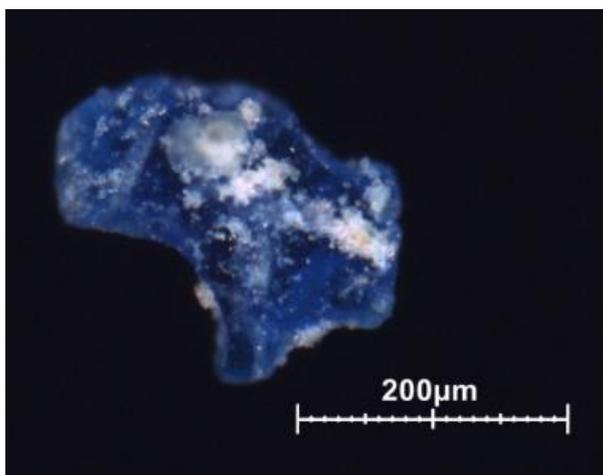


Fig. 44. Grain isolé de bleu égyptien (photographie, 2023 © Marie Contino).

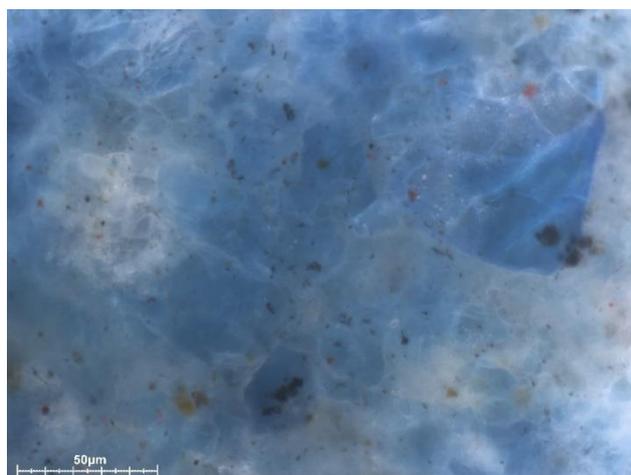


Fig. 45. Plusieurs grains amalgamés de bleu (photographie, 2023 © Marie Contino).

Comment expliquer la présence de ce pigment sur le *nucleus* du sol SL5034 ? Plusieurs possibilités sont envisageables : le pigment se trouvant à la surface du *nucleus* pourrait provenir de coulées ayant eu lieu lorsque le plafond a été peint. Il pourrait également provenir des fragments de plafond peint qui sont tombés lors de la seconde phase de décoration de l'*oecus* 101 et qui auraient marqué la préparation de sol en laissant des traces du pigment. Dans tous les cas, le pigment ne fait pas partie de la préparation initiale du sol, il est postérieur. Il est important de signaler que lors des fouilles archéologiques qui ont été réalisées dans cette pièce, une boule de pigment bleu a été découverte. Si l'on se réfère aux deux grands spécialistes de la peinture antique, c'est-à-dire madame Alix Barbet dans son ouvrage sur la peinture murale en Gaule Romaine et monsieur Jean-Michel Croisille, dans son ouvrage sur la peinture romaine, on apprend que le bleu égyptien est le pigment bleu le plus utilisé pour la peinture murale durant l'Antiquité¹⁸⁶.

¹⁸⁴ WEST FITZHUGH 1997, pp. 23-28.

¹⁸⁵ Le bleu égyptien est un des premiers pigments synthétiques créé par l'Homme. Il a notamment été utilisé pour la réalisation de peintures murales durant l'Antiquité. Il est composé d'un mélange de sable, de cuivre et de deux éléments alcalins : le sodium et/ou potassium. Pour plus d'informations : consultez le mémoire d'Amandine Colignon : COLIGNON 2020.

¹⁸⁶ BARBET 2008, p. 30 ; CROISILLE 2005, p. 290.

Grâce à cette analyse supplémentaire et à ces sources, nous pouvons conclure ce chapitre en disant qu'il n'est pas si surprenant de découvrir ce pigment dans des pièces dotées d'un système décoratif aussi important que celui se trouvant dans l'*oecus* 101. La question que l'on peut réellement se poser est la suivante : à quel moment précis ce pigment s'est-il retrouvé sur la couche du *nucleus* du sol SL5034 ?

7. Interprétations des résultats et hypothèses

Ce chapitre est consacré aux interprétations des résultats présentés ci-dessus. Rappelons qu'au vu du nombre d'échantillons et que ceux-ci ne présentent pas toutes les couches des sols étudiés, toutes les données récoltées lors de l'analyse pétrographique des lames minces ne nous permettent pas de donner les proportions exactes de chaque sol.

L'interprétation des données sera divisée en deux parties. La première portera sur les matières premières et la seconde sur les techniques de préparation des sols.

7.1. Les matières premières

Lors de nos analyses, nous avons pu identifier les différentes matières premières employées pour la réalisation des mortiers de sol de la parcelle de la *Schola del Traiano*. Celles-ci sont les suivantes : de la chaux aérienne, du sable, du tuileau et des éléments pyroclastiques (tuf *lionato*, fragments d'Italite, *pozzolane rosse*, *pozzolanelle*). Nous allons présenter ci-dessous ces éléments et tenter de trouver leur origine.

7.1.1. La chaux¹⁸⁷

La chaux que nous retrouvons dans tous les échantillons étudiés est aérienne. Rappelons que la chaux aérienne effectue sa prise uniquement au contact de l'air, tandis que la chaux hydraulique effectue sa prise initiale principalement au contact de l'eau, bien que s'ensuive aussi une carbonatation (prise à l'air) comme dans le cas de la chaux aérienne. Malheureusement, lors de ce travail nous n'avons pas identifié le type de calcaire utilisé pour réaliser cette chaux. Nous n'avons donc pas pu établir l'origine de celle-ci. Cependant, plusieurs auteurs ont émis l'hypothèse que le lieu d'approvisionnement le plus probable du calcaire en tant que matière première pour

¹⁸⁷ COUTELAS 2009, pp. 33-64 : Dans ce chapitre, monsieur Coutelas réalise tout un historique sur la chaux depuis sa production, en passant par ses diverses utilisations sans oublier l'aspect socio-économique lié à ce matériau.

la réalisation de la chaux proviendrait des Montagnes *Cornicalani* situées en région du Latium proche de Rome¹⁸⁸. Delaine quant à elle, dans son ouvrage de 1995, suggère l'idée que concernant Ostie, la ville de Terracina serait la source la plus probable d'approvisionnement en calcaire pour la production de la chaux¹⁸⁹. Il semble que le transport de cette matière première se faisait par voie navigable et non par voie terrestre¹⁹⁰.

7.1.2. Le sable

Etonnamment, nous n'avons retrouvé la présence de sable non volcanique que dans deux échantillons : un provenant de la *Domus dei Bucrani* (SL5760_PLV.01) et un provenant de la *Domus a Peristilio* (SL5853_PLV.02). Concernant l'échantillon SL5760_PLV.01, nous sommes dans une couche correspondant à un *nucleus* composé de chaux aérienne, de tuileau et d'éléments pyroclastiques. L'utilisation d'un sable est attestée par la présence de grains calcaires arrondis mais également de grains arrondis de quartz. D'autres grains siliceux sont présents, tels que des feldspaths, des pyroxènes et de la silice microcristalline. Il s'agit ici d'un sable siliceux à fraction calcaire (Fig. 46, 47 et 48). Concernant l'échantillon SL5853_PLV.02, nous sommes dans une couche correspondant à un *rudus* composé de chaux aérienne, de tuileau et d'un sable. L'utilisation d'un sable non volcanique est attestée par la présence d'un fossile, de foraminifères¹⁹¹ et de grains arrondis de quartz. Il s'agit d'un sable siliceux à fraction calcaire. Cependant, nous ne retrouvons pas la présence d'un sable dans le *nucleus* se trouvant sur le *rudus* SL5853_PLV.02. Cela s'explique peut-être par le fait que le *nucleus* de ce sol est composé principalement d'éléments pyroclastiques de type pouzzolanique qui seraient employés comme substitut du sable. De plus, les

¹⁸⁸ JACKSON & MARRA 2006, p. 424.

¹⁸⁹ FICHERA et al 2015, p. 97.

¹⁹⁰ DELAINE 1995, p. 560.

¹⁹¹ « Les foraminifères sont des micro-organismes. La plupart de ces micro-organismes ont une coque carbonatée, quelques-uns une coque siliceuse, d'autres encore sont nus. Comme leur nom l'indique, leur coque comporte des trous (foramens), qui ont la taille d'un grain de sable. Ces coques constituent d'ailleurs parfois le sable de certaines plages. » La définition provient du musée national d'Histoire naturelle de Paris.

<https://www.mnhn.fr/fr/foraminifere#:~:text=La%20plupart%20de%20ces%20micro,le%20sable%20de%20certaines%20plages.> (consulté le 29/07/2023).

éléments pouzzolaniques permettent de rendre un mortier hydraulique¹⁹². Concernant l'origine du sable utilisé, nous n'avons rien pu établir de précis. En effet, les éléments se trouvant dans le sable de nos deux échantillons peuvent tous provenir de sable de rivière ou de sable marin. Cependant, au vu de l'emplacement du site d'Ostie (au bord du Tibre), il est fort probable que le sable employé soit de rivière.

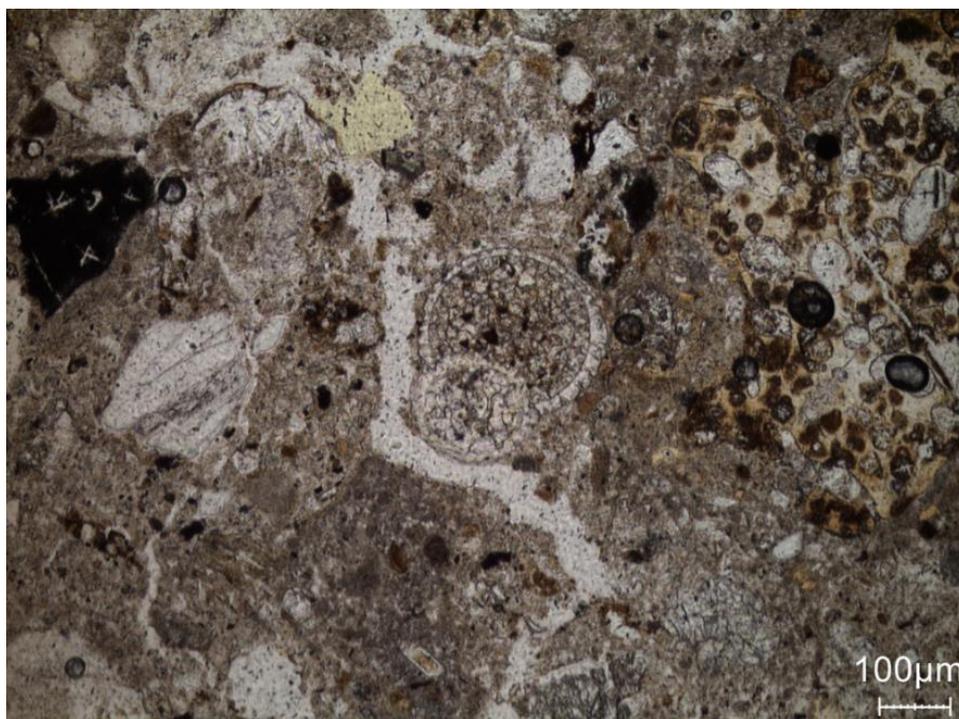


Fig. 46. Foraminifères LPNA échantillon SL5853_PLV.02.

¹⁹² COUTELAS 2009, p. 18 : « Le domaine de l'hydraulicité concerne deux types de mortier hydraulique : soit les mortiers à base de chaux hydraulique, soit les mortiers de chaux aérienne mêlée de granulats réactifs (les pouzzolanes naturelles et artificielles). Les qualités d'un « mortier hydraulique » sont une prise plus rapide, ne nécessitant pas de contact avec l'air et pouvant se faire sous l'eau, une meilleure durabilité en milieu humide et une plus grande résistance mécanique ».

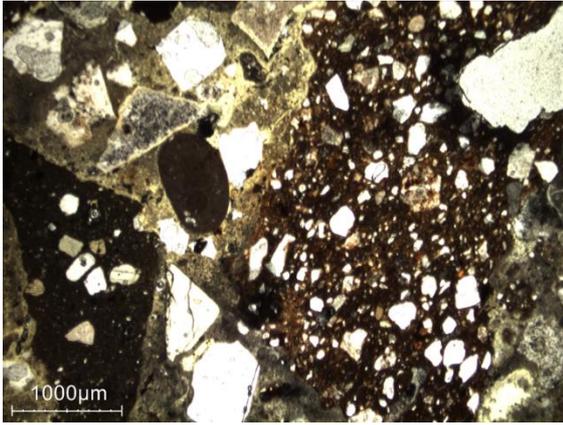


Fig. 47. Tuileau, grain de calcaire arrondi, silice microcristalline, quartz, pyroxène échantillon SL5760_PL.01 LPNA.

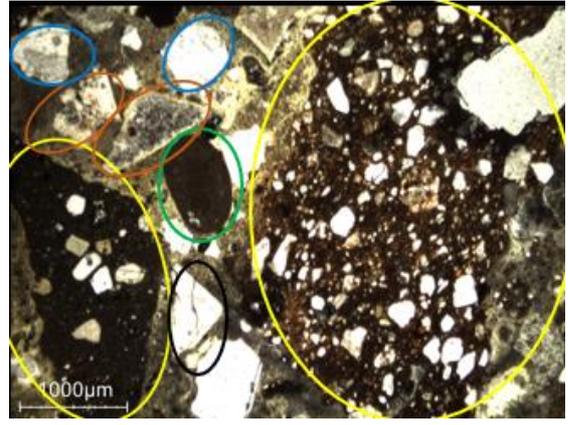


Fig. 48. Tuileau (jaune), grain de calcaire arrondi (vert), silice microcristalline (orange), quartz (bleu), pyroxène (noir) échantillon SL5760_PL.01 LPNA.

7.1.3. Le tuileau¹⁹³

Au vu du temps imparti pour la réalisation de ce travail de mémoire, nous n'avons pas mené d'étude sur le type précis de tuileau utilisé pour la confection des mortiers que nous étudions. Cependant, on remarque clairement la présence de fragments de terres cuites architecturales et de céramiques. Il serait évidemment intéressant de comparer tous ces fragments de tuileau avec les études menées par Lucie Motta sur les céramiques tardo-républicaines de la parcelle de la *Schola del Traiano*, ainsi qu'avec l'article du professeur Xavier Deru en collaboration avec Armand Desbat, Simon Dienst, Grégory Mainet et Lucie Motta sur la céramique de la *Schola del Traiano*¹⁹⁴. Notons que le tuileau utilisé pour la fabrication des mortiers provient probablement de la ville d'Ostie. Cela pourra être confirmé ou infirmé par une étude prochaine sur le sujet.

¹⁹³ COUTELAS 2009, pp. 20-21 : « Ce produit apparaît donc comme une « pouzzolane artificielle ». L'accroissement de « l'activité pouzzolanique » des argiles dépend de leur température de cuisson. [...] Certains auteurs considèrent que toutes les terres cuites « anciennes » ne seraient pas nécessairement de bonnes pouzzolanes artificielles, notamment pour des questions de températures de cuisson ne dépassant pas les 900°C. Cependant, dans une optique plus globale, les essais d'emploi d'argiles cuites ou plus particulièrement de terres cuites broyées ont montré que cet ajout augmente la résistance mécanique et la durabilité du matériau ».

¹⁹⁴ MOTTA 2022 ; MOTTA 2019 ; DERU et al. 2018.

Les éléments pyroclastiques de type pouzzolanique : lors de l'analyse des lames minces, nous avons constaté la présence de divers éléments pyroclastiques que nous allons détailler ici :

7.1.4. Le tuf *lionato*

Les tufs sont formés grâce aux dépôts lithifiés de coulées pyroclastiques. La formation de ce matériau peut prendre plusieurs milliers d'années. La région du Latium dans laquelle se trouve la ville d'Ostie est justement recouverte de dépôts lithifiés de coulées pyroclastiques dues aux nombreuses éruptions des volcans environnants. La raison pour laquelle ce matériau est si présent dans les constructions antiques est qu'il est très abondant. Les tufs sont composés de fragments de verre, de divers cristaux contenus dans la lave (leucites, pyroxènes, biotites) et de roches calcaires contenues dans cette dernière¹⁹⁵. La grande concentration de fragments vitreux, de roches et de cristaux dans les tufs romains leur confèrent une bonne résistance comme pierre de construction¹⁹⁶.

Le tuf *lionato* est issu de la région du Monteverde et du Capitole. C'est un matériau tendre et poreux. L'auteur Tenney Frank, dans son ouvrage portant sur les bâtiments romains et leurs datations par les matériaux de fabrications, affirme que dans le cas de la ville d'Ostie, le tuf *lionato* également appelé « tuf de Monteverde », a été utilisé durant toute la période augustéenne¹⁹⁷. Concernant l'époque tardo-républicaine, les carrières de tuf *lionato* sont nombreuses et produisent de grandes quantités de ce matériau. Celui-ci est alors une pierre utilisée de manière quasiment systématique pour les constructions romaines de la fin du II^e siècle avn jusqu'à la période impériale¹⁹⁸.

Afin de comparer les scories de tuf *lionato* que nous avons pu observer sur nos échantillons, nous allons nous baser sur l'article de Fabrizio Marra, d'Alberto Danti et

¹⁹⁵ JAKSON & MARRA 2006, pp. 11-12.

¹⁹⁶ Idem, p. 13.

¹⁹⁷ FRANCK 1924, pp. 29-30.

¹⁹⁸ Idem, p. 14.

de Mario Gaeta portant sur les agrégats des mortiers anciens du Capitole¹⁹⁹. Dans cette étude, l'échantillon de tuf *lionato* provient des dépôts pyroclastiques des *Monti Albani* :

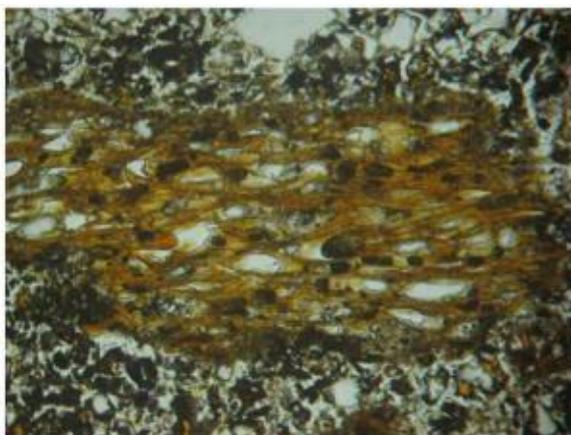


Fig. 49. Echantillon naturel de tuf *lionato* (MARRA, DANTI & GAETA 2015, p.120).

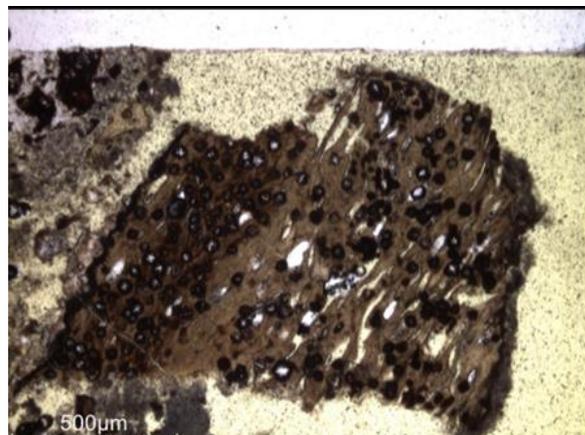


Fig. 50. Scorie vitreuse de tuf *lionato* de l'échantillon SL7059_PLV.02 LPNA.

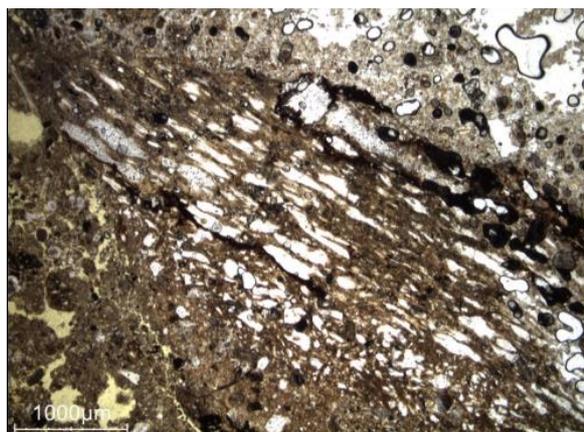


Fig. 51. Scorie vitreuse de tuf *lionato* de l'échantillon SL5016_PLV LPNA.

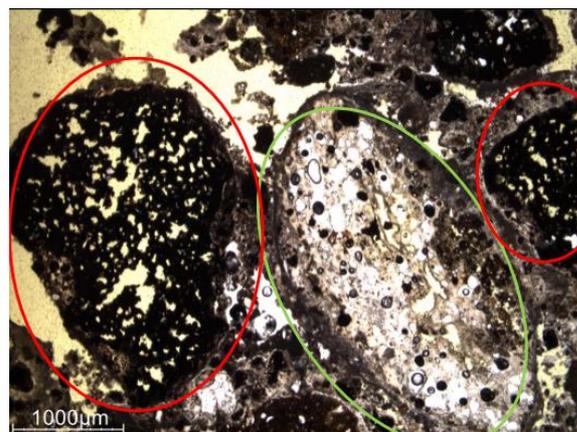


Fig. 52. Scorie vitreuse de tuf *lionato* (en vert) et pozzolane rosse (en rouge) de l'échantillon SL5023_PLV.01 LPNA.

Si nous comparons les images ci-dessus, nous pouvons remarquer les similitudes au niveau de l'allongement des alvéoles se trouvant dans les scories de tuf. Les tufs *lionato* présents dans nos mortiers proviennent donc probablement des *Monti Albani*.

¹⁹⁹ MARRA, DANTI & GAETA 2015, p. 120.

Remarquons que nous avons également trouvé la présence d'autres types de tufs qui sont soit une variété du tuf *lionato*, soit un tout autre type de tuf. Cependant, en raison de cette diversité de faciès, nous avons pris la décision de simplement mentionner qu'il s'agissait d'un tuf. Il va de soi que des études plus poussées mériteraient d'être menées sur le sujet afin de caractériser toutes ces variétés de tufs.

7.1.5. Les pouzzolane (*pozzolane rosse* et *pozzolanelle*)

De manière générale, les *pozzolane* romaines sont des fragments de roches solides granuleux dont seule une partie est lithifiée. Autour de la zone géologique d'Ostie, nous retrouvons trois types de *pozzolane* : *pozzolane rosse*, *pozzolane nere* et *pozzolanelle*. L'analyse de nos mortiers n'a révélé que des *pozzolane rosse* et des *pozzolanelle*. La présence de *pozzolane nere*, quant à elle, n'a pas du tout été retrouvée²⁰⁰.

Les *pozzolane rosse* sont de couleur rouge, variant entre le rose pâle et le rouge noirâtre. Elles sont généralement composées de micro-sories et contiennent des leucites, des cristaux de pyroxène et des cristaux d'olivine. Les leucites sont très caractéristiques de la *pozzolane rosse* et sont reconnaissables grâce à leur forme en étoile²⁰¹.

Comparons les scories de *pozzolane rosse* (Fig. 53, 54 et 55) que nous avons observées dans nos échantillons de mortiers avec l'exemple que l'on retrouve dans l'article de Sarah Boularand, de Marcello Turci et de Philippe Bromblet sur la caractérisation des mortiers hydrauliques d'Ostie²⁰². Nous remarquons, en effet, qu'il s'agit bien de *pozzolane rosse* grâce à la présence caractéristique de cristaux de leucite en forme d'étoile. Cependant, il est difficile d'affirmer sans étude plus approfondie qu'il s'agit bien de dépôts issus des *Monti Albani*.

²⁰⁰ JACKSON & MARRA 2006, p. 26.

²⁰¹ MARRA, DANTI & GAETA 2015, p. 122 ; JACKSON et MARRA 2006, p. 26.

²⁰² BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022, p. 107.

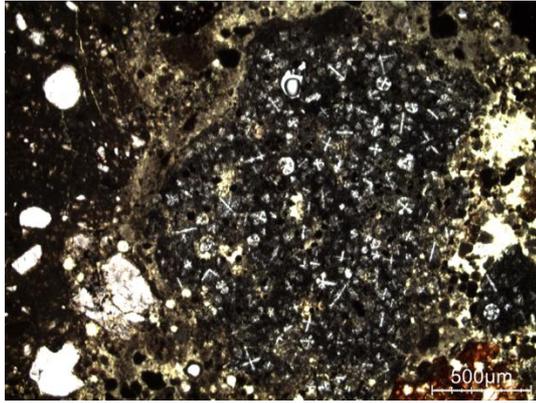


Fig. 53. Scorie de pozzolane rosse avec présence de leucites LPNA Echantillon SL5853_PLV.01.

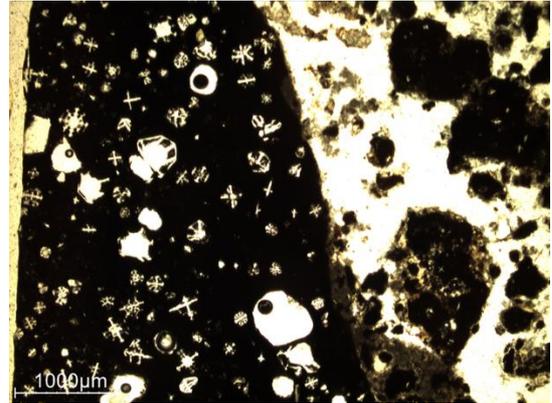


Fig. 54. Scorie de pozzolane rosse avec présence de leucites LPNA Echantillon SL5023_PLV.01.

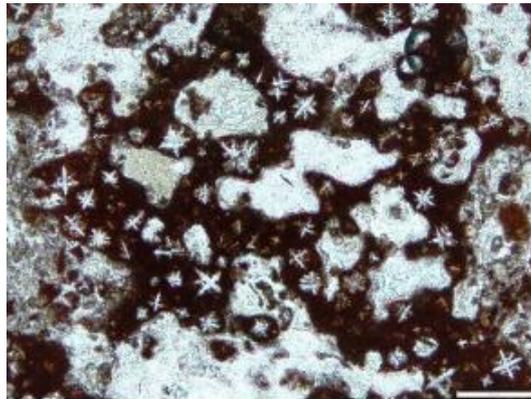


Fig. 55. Scorie de pozzolane rosse avec des cristaux étoilés de leucite provenant des Monti Albani (BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022).

Les *pozzolanelle* sont de couleur brun/jaune²⁰³ et sont composées de verre et de pierres ponces²⁰⁴. On retrouve également une forte concentration de pyroxène et de mica²⁰⁵.

Comparons les scories de *pozzolanelle* (Fig. 56, 57 et 58) que nous avons observées dans nos échantillons de mortiers avec l'exemple que l'on retrouve dans l'article de Sarah Boularand, de Marcello Turci et de Philippe Bromblet sur la caractérisation des mortiers hydrauliques d'Ostie²⁰⁶. Nous remarquons, sans trop de difficultés, les fortes similitudes entre ces trois scories de *pozzolanelle*. Dans ce cas-ci, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'il s'agirait de *pozzalanelle* provenant également

²⁰³ Idem, p. 107.

²⁰⁴ JACKSON & MARRA 2006, p. 27.

²⁰⁵ MARRA, DANTI & GAETA 2015, p. 122 ; JACKSON & MARRA 2006, p. 26.

²⁰⁶ BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022, p. 107.

des dépôts volcaniques des *Monti Albani*. De plus, l'article de Marra, Danti et Gaeta renforce l'idée qu'il s'agit bien de scories de *pozzolanelle* issues des *Monti Albani*²⁰⁷.

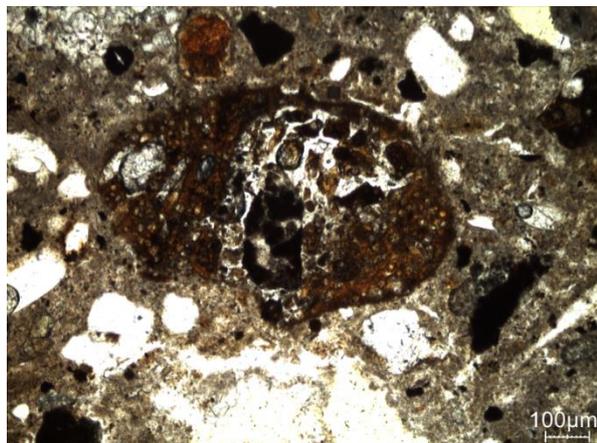


Fig. 56. Scorie de pozzolanelle LPNA échantillon SL5853_PV.02.

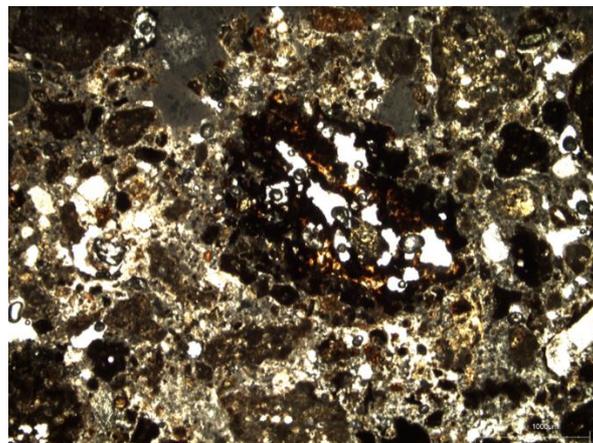


Fig. 57. Scorie de pozzolanelle LPNA échantillon SL5190_PLV.03.

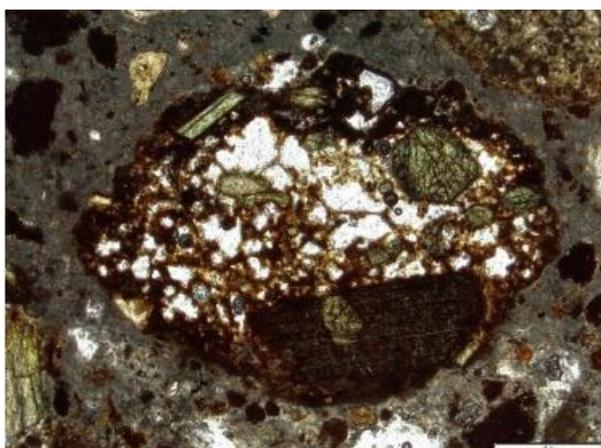


Fig. 58. Cristaux de clinopyroxène et de biotite dans une scorie de pozzolanelle provenant des *Monti Albani* (BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022).

7.1.6. Les fragments d'Italite

Le terme « Italite » et le terme « leucite » sont tous deux employés pour désigner des fragments de lave composés de leucite squelettique, de pyroxène et de magnétite. Ces fragments d'Italite sont habituellement associés à des dépôts pouzzolaniques²⁰⁸. Ces éléments sont très facilement reconnaissables grâce à la présence de cristaux squelettiques de leucite dont la forme est bien visible (Fig. 61) ci-

²⁰⁷ Idem, p. 107 ; MARRA, DANTI & GAETA 2015, p. 120.

²⁰⁸ JACKSON et al. 2007, pp. 25-51 ; MIRIGLIANO 1939, pp. 35-71.

dessous provenant de l'article de Sarah Boularand, de Marcello Turci et de Philippe Bromblet.

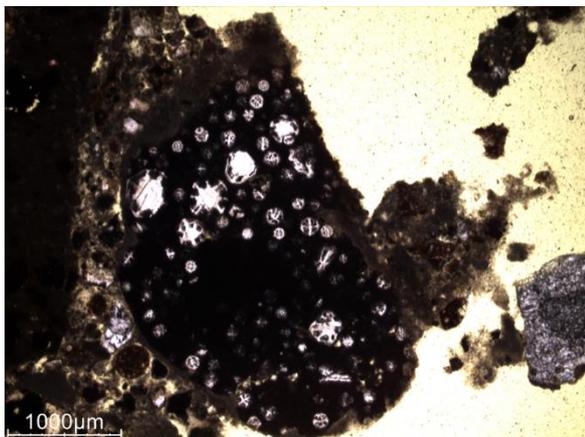


Fig. 59. Fragment d'Italice LPNA échantillon SL502_PLV.01.

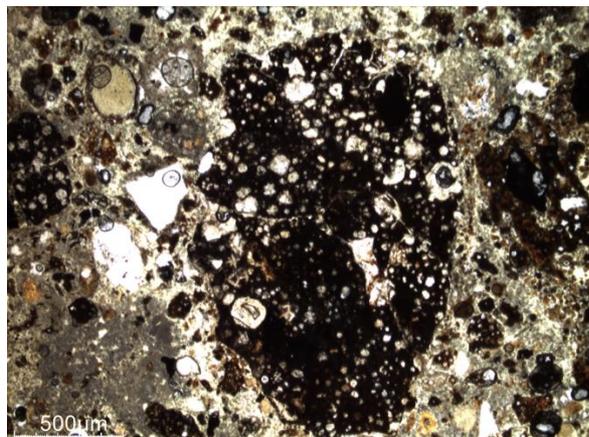


Fig. 60. Fragment d'Italice entouré de petits fragments d'Italice LPNA échantillon SL7059_PLV.02.

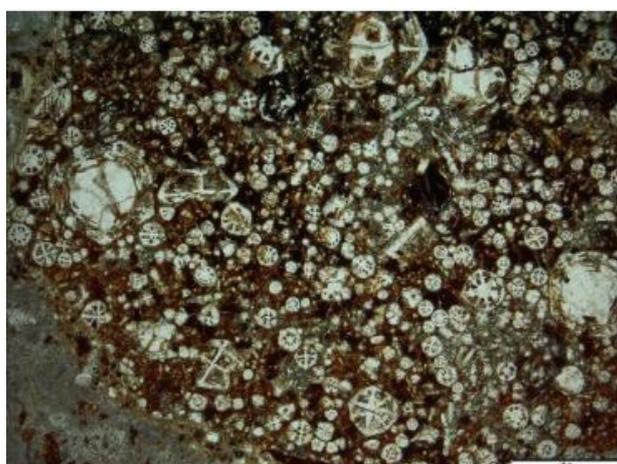


Fig. 61. Fragment d'Italice montrant des cristaux squelettiques de leucite et de clinopyroxène (BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022).

Si nous prenons le tableau de synthèse des agrégats par sol, par pièce et par maison²⁰⁹, nous pouvons constater que tous les échantillons contiennent de la chaux ; une chaux que nous avons caractérisée comme étant aérienne et non hydraulique. Notons la présence récurrente de grumeaux et/ou de nodules-incuits de chaux dans quasiment tous les échantillons peu importe la couche de sol, le type de couverture de celui-ci, le type de pièce dans laquelle le sol se trouve et peu importe le type d'édifice. Dès lors, nous pouvons avancer l'hypothèse suivante : la grande quantité de grumeaux

²⁰⁹ Cf. Annexe 43.

et de nodules de chaux présents est peut-être due au type d'atelier qui a réalisé le liant. En effet, il est possible que les techniques utilisées pour la fabrication de la chaux soient issues d'ateliers artisanaux différents qui se sont succédé sur une période de six siècles²¹⁰. Concernant les agrégats pyroclastiques, nous constatons qu'ils sont présents dans presque chaque sol de chaque édifice. Signalons qu'il y a des différences entre les *rudera* et les *nuclei*. En effet, de manière générale, les *rudera* que nous avons étudiés sont principalement composés de chaux et de tuileau même si nous avons quelquefois la présence d'éléments pyroclastiques tels que des *pozzolane rosse*, du tuf et du tuf *lionato*. A contrario, les *nuclei* sont quasiment toujours composés d'éléments pyroclastiques avec parfois des fragments de tuileau. Concernant les *rudera* et les *nuclei*, nous pouvons avancer l'hypothèse que les agrégats pyroclastiques employés auraient été utilisés comme un sable et non comme un agrégat aux propriétés hydrauliques. En effet, ces agrégats présents dans chaque sol de chaque *domus*, peu importe le type de couverture de celui-ci, indiqueraient qu'ils n'ont pas été utilisés comme agrégats hydrauliques mais bien comme un sable²¹¹. Ceci expliquerait que nous n'ayons trouvé du sable non volcanique que dans deux échantillons. Nuançons tout de même notre propos en disant que les proportions de ces diverses matières premières, quant à elles, changent mais il semble que cela ne soit ni en lien avec le type de sol, ni avec le type de couverture de celui-ci, ni avec le type de pièce, ni en lien avec la fonction de l'édifice. Que l'on soit au début du I^{er} siècle acn ou au V^{ème} siècle pcn, il semble que les artisans ostiens aient utilisés les mêmes matières premières. Soulignons également que malgré le fait que Vitruve provienne de la même zone géographique étudiée et qu'il soit contemporain de la construction de la *Domus dei Bucrani*, nous constatons qu'il ne mentionne pas l'utilisation quasiment systématique d'un sable volcanique comme agrégat.

²¹⁰ Cette conclusion reste bien évidemment une hypothèse. Il est tout à fait possible que ce ne soit pas le cas.

²¹¹ Par exemple, un *rudus* et un *nucleus* ne nécessitent pas spécialement d'avoir des qualités hydrauliques si ceux-ci se trouvent dans un *cubiculum* couvert. Le sol d'un *atrium*, en extérieur, quant à lui, aurait possiblement besoin de ces vertus hydrauliques.

7.2. Les techniques de préparation des sols

Dans ce chapitre, nous allons présenter une synthèse des observations que nous avons pu faire sur base des analyses présentées ci-dessus²¹². Pour ce faire, nous avons réalisé un schéma des couches stratigraphiques des sols que nous avons étudiés (Fig. 62) mais également un tableau synthétique des diverses matières contenues dans chaque type de couches²¹³.

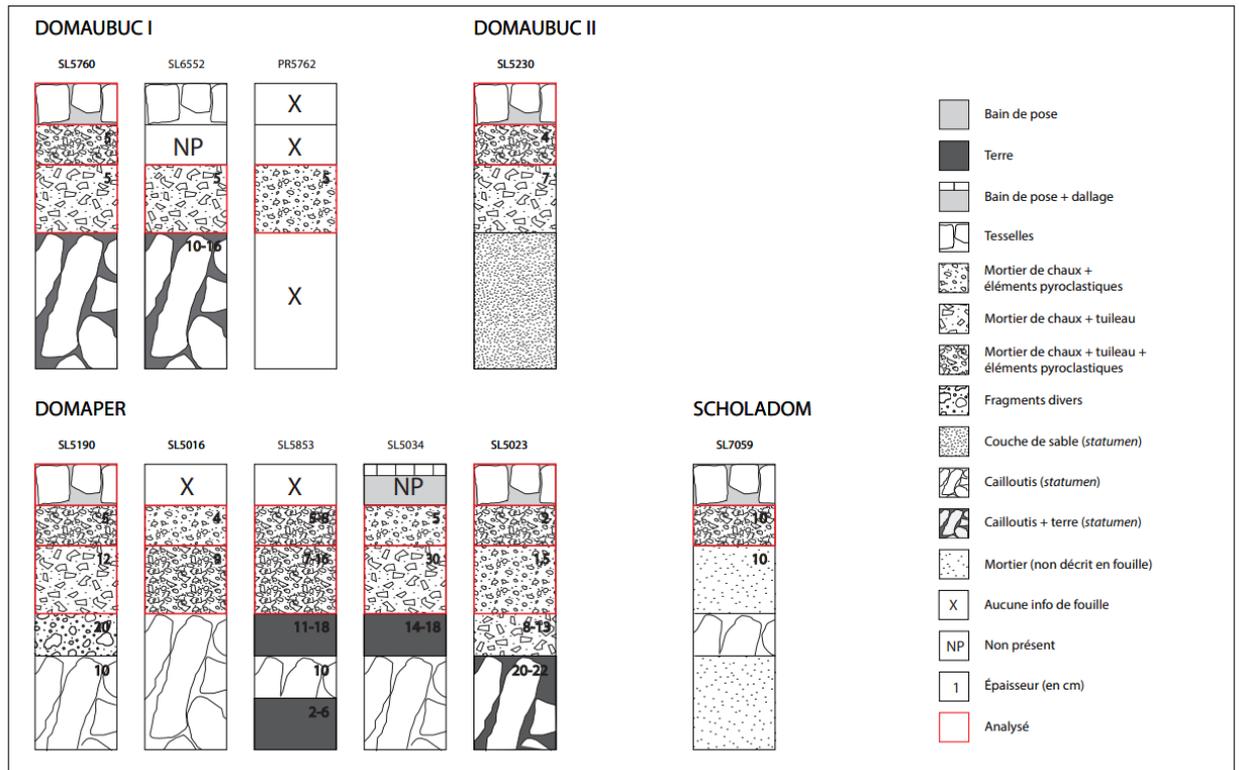


Fig. 62. Schémas représentant les différentes couches des sols étudiés sur la parcelle de la Schola del Traiano.

En premier lieu, notons la présence d'un bain de pose d'une épaisseur de quelques millimètres sur le *nucleus* de plusieurs sols que nous avons analysés (SL5760, SL5230, SL5190, SL5023). Cette fine couche permet l'adhérence des tesselles lors de la pose de celles-ci. Cette couche est constituée de chaux pure. Dans deux des cas que nous avons étudiés (SL5760, SL5230), nous constatons la présence de grains calcaires et d'incuits dans la chaux. Monsieur Coutelas, dans son article de 2012 mentionne le

²¹² Voir le chapitre 5.3.

²¹³ Ces schémas stratigraphiques sont basés sur le modèle créé par monsieur Coutelas. Nous avons pu nous en servir avec son autorisation. Cf. Annexe 44.

fait que cette couche serait utilisée comme « colle » de finition²¹⁴. La présence de ce bain de pose suggère donc la présence d'un *tesselatum* ou d'un dallage sur le sol.

En second lieu, concernant les *nuclei*, nous pouvons observer que tous sont principalement composés d'éléments pyroclastiques avec quelquefois la présence de tuileau. Nous constatons que c'est le cas pour chaque sol, de chaque pièce, de chaque édifice. Il semble qu'entre le I^{er} siècle acn et le V^{ème} siècle pcn, peu importe le type de couverture, le type de pièce ou le type d'édifice, le *nucleus* soit majoritairement composé d'éléments pyroclastiques de types pouzzolaniques. Nous pouvons avancer l'hypothèse que le sable volcanique est fortement utilisé au vu de sa proximité et de son abondance mais que dans le cas des *nuclei*, les éléments pyroclastiques sont également utilisés pour leurs propriétés hydrauliques.

En troisième lieu, nous pouvons constater que concernant les *rudera*, trois types de mélanges sont possibles. La composition que nous avons le plus retrouvée consiste en un mélange de chaux et de fragments de tuileau (SL5760, SL6552, SL5190, SL5034). Cette formule est parfois « améliorée/enrichie » par l'ajout d'éléments pyroclastiques tels que des *pozzolane rosse*, des fragments d'Italite et des scories de tufs (SL5016, PR5762). Cette variante se justifie peut-être par le fait que les éléments pyroclastiques n'ont pas été ajoutés spécifiquement mais proviennent d'un sable volcanique. Une troisième variante consiste en un mélange de toutes les matières premières mais avec des agrégats de grandes dimensions.

Dès lors, il est difficile d'établir une corrélation entre l'utilisation des matières premières et leur emploi spécifique dans le temps. En effet, la variation que nous retrouvons dans l'usage des matières premières peut-être simplement due au lieu d'approvisionnement. Il suffit que les agrégats pyroclastiques proviennent d'un endroit différent pour que les proportions que l'on retrouve dans le mélange soient différentes. Par conséquent, on ne peut plus considérer que la présence spécifique de certains agrégats pyroclastiques est un indicateur chronologique. De même, nous constatons que peu importe le statut de la pièce dans lequel le sol se trouve, la

²¹⁴ COUTELAS 2012, p. 511.

composition du mortier reste la même. Signalons tout de même que le seul fait que certains de ces sols soient recouverts d'une mosaïque ou d'un dallage prouve que l'édifice dans lequel ils se trouvent est doté d'un statut assez important²¹⁵. Cependant, nous pouvons constater que la mise en œuvre des couches de mortiers est sensiblement la même entre le I^{er} siècle acn et le V^{ème} siècle pcn. Les seules réelles différences que nous constatons se trouvent dans l'épaisseur des diverses couches mais cela s'explique peut-être par le fait que tous les édifices étudiés ont subi de nombreuses destructions et réfections au cours de ces six siècles. Si nous prenons le cas de la *Domus dei Bucrani*, nous savons qu'il y a eu une deuxième phase de décoration qui a remplacé les sols de la première phase. Elle a, de plus, été détruite pour être remplacée par la *Domus a Peristilio*. Cela est bien visible dans les études pétrographique et macroscopique puisque dans certains cas, nous avons la preuve que le sol a été rehaussé de plusieurs niveaux allant jusqu'à 1,5m. Notons également que ces changements de phases sont clairement visibles dans certains cas, comme pour le sol SL5023 de la *Domus a Peristilio*, où l'on retrouve deux *nuclei* superposés.

Les techniques de mises en œuvre ne semblent donc pas avoir évolué sur une période aussi longue. Cela tient peut-être au fait que ces techniques étaient efficaces et donc pérennes. Pour appuyer notre propos, nous pouvons citer Jean-Pierre Adam dans son ouvrage sur la construction romaine : « La standardisation des matériaux de construction produits en immense quantité [notamment les briques et les moellons calibrés] est un des secrets de cette incroyable rapidité d'exécution, mais il convient d'y ajouter en corollaire, une planification admirable du chantier et la totale docilité de la main-d'œuvre, très certainement dressée, plus encore que formée, à l'accomplissement de tâches définies et simples »²¹⁶. Ainsi, malgré le fait qu'il semble difficile de croire que l'on utilise les mêmes recettes et les mêmes techniques de mise en œuvre sur six siècles, les résultats de notre étude tendent pourtant à l'affirmer.

²¹⁵ BÜTTNER & COUTELAS 2011, p. 669. Cette hypothèse est clairement corroborée par la découverte des propriétaires des édifices présentés dans ce travail : consultez le chapitre 2.3.4.

²¹⁶ ADAM 1995, p. 84.

8. Discussion²¹⁷

Avant de comparer les données récoltées avec les témoignages antiques, rappelons que ces comparaisons se basent uniquement sur les individus étudiés dans le présent travail et non sur une étude exhaustive des sols de la parcelle de la *Schola del Traiano*.

Les matériaux provenant d'éruptions volcaniques utilisés durant l'Antiquité romaine ont des propriétés physiques et chimiques qui étaient bien connues alors. Si nous reprenons ce que dit Vitruve dans son livre II sur les *pozzolane* : « *Il existe une espèce de poudre à laquelle la nature a donné une propriété admirable. Elle se trouve au pays de Baïes et dans les terres des municipes qui entourent le mont Vésuve. Mêlée avec la chaux et le moellon, non seulement elle donne de la solidité aux édifices ordinaires, mais encore les môles qu'elle sert à construire dans la mer acquièrent sous l'eau une grande consistance.* »²¹⁸, nous constatons que déjà au I^{er} siècle acn, les romains étaient conscients des propriétés de ces éléments qu'ils ont utilisés tout au long de l'Antiquité. Nos analyses corroborent ce que dit Vitruve ; en effet, nous avons retrouvé la présence d'éléments pyroclastiques de type pouzzolanique dans quasiment tous les sols que nous avons étudiés.

Concernant les proportions du mélange dans le mortier, voici ce que dit Vitruve dans son livre II : si le mortier est un mélange de chaux et de sable fossile, les proportions sont une part de chaux pour trois parts de sable fossile ; si le mortier est un mélange de chaux et de sable de rivière ou de mer, les proportions sont une part de chaux pour deux parts de sable ; si le mortier est composé de chaux, de sable de rivière ou de mer et de tuileau, les proportions sont une part de chaux pour deux parts de sable et une part de tuileau²¹⁹.

²¹⁷ Les auteurs postérieurs à Vitruve ayant suivi ses recommandations, nous basons notre discussion essentiellement sur cet auteur antique car ses écrits sont les références les plus importantes en ce qui concerne le mortier et sa mise en œuvre.

²¹⁸ Vitruve livre II, VI Traduit par M. Mauftras et C. L. F. Panckoucke
<https://remacle.org/bloodwolf/erudits/Vitruve/livre2.htm> (consulté le 03/08/2023).

²¹⁹ Vitruve livre II, VI.

Malheureusement, nous n'avons pas fait d'études assez poussées pour connaître les proportions exactes de chaux, de sable et d'agréats pour pouvoir comparer nos données avec les recommandations citées par Vitruve. A cet effet, il serait bien intéressant que des analyses plus approfondies sur le sujet fassent l'objet d'une prochaine recherche et que les résultats soient comparés avec les propos de cet auteur.

Confrontons les techniques de mise en œuvre que nous avons pu observer lors de cette étude avec les recommandations de Vitruve. Chaque sol analysé est composé de la manière suivante : un *statumen* (composé la plupart du temps de terre et de moellons de pierres), un *rudus* (majoritairement composé d'un mélange de chaux et de tuileau avec quelquefois la présence d'éléments pyroclastiques de type pouzzolanique), un *nucleus* (majoritairement composé de chaux et d'éléments pyroclastiques de type pouzzolanique avec parfois la présence de tuileau) et enfin, un bain de pose pour les sols dotés d'une « couverture » comme un *tesselatum* ou un dallage. Si nous reprenons les propos de Vitruve, nous apprenons qu'un sol doit être construit comme suit : « *On posera alors un premier lit fait avec des cailloux qui seront au moins gros à remplir la paume de la main. Ce lit une fois achevé, on s'occupera de la rudération, qui sera composée d'une partie de chaux et de trois de cailloux, si ce sont des recoupes de pierres de taille, et de deux parties de chaux et de cinq de cailloux, s'ils proviennent de démolitions. On étendra ensuite cette matière, et un nombre suffisant d'hommes armés de leviers de bois sera chargé de la battre longtemps, et de la rendre parfaitement compacte ; cette couche terminée n'aura pas moins de neuf pouces d'épaisseur. Là-dessus on fera le noyau composé de tuileaux avec lesquels on mêlera une partie de chaux contre trois de ciment ; son épaisseur sera au moins de six doigts. Sur ce noyau parfaitement dressé avec la règle et le niveau, on appliquera le pavé, qu'il doive être fait en mosaïque ou avec des carreaux.* »²²⁰. Nous retrouvons les trois couches de sols citées par Vitruve, c'est-à-dire, le *statumen*, le *rudus* et le *nucleus*. Si les couches que nous avons étudiées correspondant au *statumen* suivent les recommandations de cet auteur, nous constatons des différences pour le *rudus* et le

²²⁰Vitruve livre VII, 1 : la rudération, traduit par M. Maufra et C. L. F. Panckoucke.
<https://remacle.org/bloodwolf/erudits/Vitruve/livre7.htm#l> (consulté le 06/08/2023).

nucleus. En effet, les *rudera* que nous avons analysés sont composés de chaux et de tuileau (de manière générale) et non de chaux et de cailloux qu'ils soient des pierres de taille et des remplois. Les *nuclei* ne sont pas composés de chaux et de tuileau mais de chaux et d'éléments pyroclastiques avec parfois la présence de tuileau. Nous constatons également que pour les sols de la parcelle de la *Schola del Traiano*, on retrouve quasiment systématiquement la présence d'une couche de bain de pose lorsque le sol est doté d'une couverture. Cela, Vitruve n'en fait pas mention. Signalons également que Jean-Pierre Adam ajoute à cela que peu importe le type de couverture de sol, la technique de mise en œuvre de celui-ci ne change pas²²¹. Cela est également avéré dans notre étude.

²²¹ ADAM 1995, p. 253.

9. Conclusion

Ce mémoire a eu pour objectif de répondre à la question de recherche suivante : « Est-il possible de réaliser une typo-chronologie des mortiers de sol de la parcelle de la *Schola del Traiano* à Ostie grâce à l'analyse pétrographique ? ». Pour y répondre, nous avons d'abord établi un état de l'art portant sur les différentes sources disponibles à propos du mortier antique ainsi que sur les différentes techniques d'analyses appliquées à l'étude de ce matériau. Ensuite, a été mis en place un protocole d'analyse qui a permis l'étude de nos échantillons. L'étude pétrographique associée aux observations macroscopiques ont suffi à caractériser la composition des mortiers, à identifier les agrégats et le liant, à établir l'état de dégradation de ce dernier, à découvrir l'origine des matières premières utilisées et à comprendre la technique de mise en œuvre des sols. S'il est important de combiner plusieurs types d'analyses, nous avons constaté que la pétrographie, par sa pertinence, a été très efficace dans notre recherche pour élaborer ce mémoire.

Au vu des résultats obtenus, nous constatons qu'il est difficile d'établir une typo-chronologie des sols étudiés. En effet, comme nous avons pu le démontrer, que l'on soit dans la *Domus dei Bucrani*, dans la *Domus a Peristilio* ou dans la seconde phase de la *Schola del Traiano*, c'est-à-dire la *Schola Domus*, les matériaux utilisés pour la réalisation des mortiers restent identiques. Nous retrouvons de manière systématique la présence de chaux aérienne, de tuileau et surtout d'éléments pyroclastiques de type pouzzolanique. La raison de l'utilisation de ces mêmes matériaux sur une période de six siècles s'explique probablement par la grande quantité de ces matières premières aux alentours du site d'Ostie. De plus, les techniques de mise en œuvre des mortiers restent également identiques et conformes, à quelques nuances près, aux recommandations de Vitruve. Chaque sol présente la même structure (*statumen – rudus – nucleus – bain de pose*), exceptés les SL5190, SL5023 et SL7059 dont, comme vu précédemment, certaines parties ont parfois été arrachées ou remplacées lors de différentes phases de décoration ou de réfection des *domus*.

Cependant, des questions restent en suspens car ce travail a été confronté à quelques difficultés lors de sa réalisation. En effet, comme nous l'avons mentionné au début de celui-ci, il a été assez compliqué de sélectionner les échantillons puisque nous avons été limités par certaines restrictions du parc archéologique d'Ostie. Une fois ceux-ci rapportés en Belgique²²², nous avons lancé la procédure de réalisation des lames minces pour l'étude pétrographique. Celles-ci devaient d'abord être réalisées pour le mois de janvier, mais ce n'est finalement que fin avril qu'elles furent disponibles. En outre, l'étude pétrographique des lames minces a pris un certain temps pour deux raisons. Premièrement, les analyses ont été réalisées au sein de l'IRPA à Bruxelles à raison de seulement deux fois par semaine²²³. Deuxièmement, hormis le suivi d'un cours de cristallographie et minéralogie dispensé par le professeur Hatert à l'Université de Liège, nous n'avions que peu de connaissances en la matière.

Ces multiples complications ont retardé la réalisation de ce travail qui aurait pu pousser plus loin certaines analyses. En effet, des recherches sur l'établissement du type de calcaire utilisé pour la chaux et son origine n'ont pas pu être réalisées. De plus, des investigations plus poussées auraient été intéressantes à effectuer sur l'origine des agrégats (tuileau et éléments pyroclastiques) et sur le type de sable utilisé, investigations seulement ébauchées ici en tant qu'hypothèses. Il serait donc judicieux et pertinent, dans un second travail, de tenter de répondre à ces questions. Élargir notre méthode d'analyse aux autres sols de la parcelle de la *Schola del Traiano* serait également approprié. Dans l'éventualité de résultats concluants, cette méthode d'analyses pourrait être appliquée à l'échelle du site d'Ostie et de nouveaux résultats pourraient ensuite être comparés à d'autres grands sites archéologiques de la région tels que ceux de Pompéi ou Herculaneum. Ces recherches supplémentaires nous permettraient d'obtenir des réponses à nos interrogations restantes et nous aideraient peut-être à réaliser enfin une typo-chronologie des sols de la parcelle de la *Schola del Traiano*.

²²² Par les soins du professeur Thomas Morard, que je remercie encore.

²²³ Les analyses ont été réalisées par moi-même sous la supervision de Laurent Fontaine. Etant stagiaire, je ne pouvais pas monopoliser le microscope, ni monsieur Laurent Fontaine pour ses conseils et ses corrections alors qu'il avait lui-même du travail. Je le remercie à nouveau grandement pour son implication tant vis-à-vis de mon stage que pour la réalisation de mon mémoire.

A l'issue de ce travail de fin d'études, nous pouvons dire que sur base de l'analyse pétrographique, il n'a finalement pas été possible d'établir une typochronologie des mortiers de sol de la parcelle de la *Schola del Traiano*. Néanmoins, cette étude, en plus d'une meilleure connaissance des sols étudiés, nous a démontré deux choses importantes : les artisans ostiens détenaient entre leurs mains des techniques de construction et des savoir-faire qui ont traversé les siècles mais aussi que l'étude des mortiers de sol de la parcelle de la *Schola del Traiano* n'en est qu'à ses balbutiements.

Il nous reste à espérer que d'autres recherches nous permettent d'approfondir encore nos connaissances et de découvrir de nouvelles choses sur ce site exceptionnel et passionnant qu'est Ostie.

10. Glossaire

Alae : Pièce se trouvant de chaque côté de l'atrium et ouverte sur celui-ci.

Atrium : Pièce principale d'une maison romaine.

Cubiculum : Pièce correspondant à une chambre d'une maison romaine.

Élément pyroclastique : Élément provenant de coulées et d'éruptions volcaniques.

Fauces : Pièce correspondant à des couloirs d'une maison romaine.

Grumeau : Morceau de chaux mal mélangé à la préparation.

Hortus : Jardin d'une maison romaine.

Mortier homogène : Mortier composé d'un mélange d'éléments qui sont répartis de manière uniforme.

Mortier hétérogène : Mortier composé d'un mélange d'éléments qui ne sont pas repartis de manière uniforme.

Nodule – incuit : Morceau de calcaire mal cuit.

Nucleus : Couche assez dure et compacte dont le rôle est de supporter la surface de circulation.

Oecus : Pièce correspondant à un salon d'une maison romaine.

Opus tessellatum : Tapis de mosaïques.

Péristyle : Colonnade entourant généralement une cour.

Pouzzolane : Dépôt pyroclastique partiellement lithifié provenant d'éruptions volcaniques violentes.

Rudus : Couche constituée d'un blocage épais de chaux, de sable, de graviers ou de cailloux ($\frac{3}{4}$ d'agrégats pour $\frac{1}{4}$ de chaux).

Sable : Sédiment détritique meuble formé de grains de dimensions comprises entre 672,5 μm à 2 mm.

Statumen : Couche de fondation en cailloux posés à sec, si possible en hérisson, de façon à laisser passer l'eau.

Tablinum : Pièce ouverte donnant sur l'atrium.

Tuileau : Fragment de terre cuite.

Triclinium : Pièce servant de salle à manger composée de trois lits dans une maison romaine.

11. Table des figures

Fig. 1. Carte géologique de la ville de Rome et de ses environs montrant les dépôts volcaniques des Monti Sabatini et des Monti Albani, les dépôts de travertin proche du Tivoli et les anciennes voies romaines. (JACKSON & MARRA 2006, modifié de KARNER et al.).....	4
Fig. 2. Cycle de la chaux (Coutelas 2009, p. 15, tiré de Büttner).	14
Fig. 3. Illustration des différentes catégories de tri d'un granulat dans une lame mince (Coutelas 2003 d'après Pettijohn et al 1973).	18
Fig. 4. Tableau synthétique personnel des différents éléments se trouvant dans l'échantillon.	30
Fig. 5. Charte de référence personnelle – Fréquence des agrégats dans le mélange.....	30
Fig. 6. Photographie du conditionnement des prélèvements de mortiers stockés dans les dépôts du parc archéologique d'Ostia Antica (photographie, 2022 © Marie Contino).	34
Fig. 7. Tableau des couches de sol.....	36
Fig. 8. Photo de fouilles de 2003 du sondage F (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	37
Fig. 9. Photo de la coupe stratigraphique du sol SL5760 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	38
Fig. 10. Lame mince du sol SL5760 échantillon SL5760_PLV.01 : mise en évidence des couches (photographie, 2023 © Marie Contino).	38
Fig. 11. Photo de fouilles de 2007 des espaces 37 et 71 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	40
Fig. 12. Lame mince du sol SL6552, échantillon SL6552_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).	41
Fig. 13. Photo de fouilles de 2003 du sondage F montrant la préparation du seuil PR5762 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	42
Fig. 14. Lame mince du seuil de porte PR5752 échantillon PR5762_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).	43
Fig. 15. Lame mince du seuil de porte PR5752 échantillon PR5762_PLV.02 (photographie, 2023 © Marie Contino).	43
Fig. 16. Photo de fouilles de 2002 du sondage F (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	44
Fig. 17. Photo lame mince du sol SL5230, échantillon SL5230_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).	45
Fig. 18. Photo de fouilles de 2006 : vue générale de l'espace 2 et des sondages L et K (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	47
Fig. 19. Lame mince du sol SL5190 de l'échantillon SL5190_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).	48
Fig. 20. Photo de fouilles de 2004 du sondage A (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	49
Fig. 21. Lame mince du sol SL5190 échantillon SL5190_PLV.02 (photographie, 2023 © Marie Contino)..	50

Fig. 22. Photo lame mince du sol SL5190 de l'échantillon SL5190_PLV.02 montrant les différentes couches de sol et certains agrégats (photographie, 2023 © Marie Contino).	51
Fig. 23. Lame mince du sol SL5190 échantillon SL5190_PLV.03. (photographie, 2023 © Marie Contino).	52
Fig. 24. Photo de fouilles de 2005 du sondage S (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	53
Fig. 25. Lame mince du sol SL5016 échantillon SL5016_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).	54
Fig. 26. Lame mince du sol SL5016 échantillon SL5016_PLV.02 : nucleus et rudus (photographie, 2023 © Marie Contino).	55
Fig. 27. Lame mince du sol SL5016 échantillon SL5016_PLV.02 : nucleus (photographie, 2023 © Marie Contino).	55
Fig. 28. Photo de fouilles de 2005 du sondage Q et de l'US6294 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	57
Fig. 29. Lame mince du sol SL5853 échantillon SL5853_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).	58
Fig. 30. Photo de fouilles de 2006 du sondage Q et de l'US6296 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	59
Fig. 31. Lame mince du sol SL5853 échantillon SL5853_PLV.02 (photographie, 2023 © Marie Contino).	60
Fig. 32. Photo de fouilles de 2005 du sondage Q et de l'US6297 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	61
Fig. 33. Photo de fouilles de 2005 du sondage Q montrant les US6294, 6296 et 6267.	62
Fig. 34. Lame mince du sol SL5853 échantillon SL5853_PLV.03 (photographie, 2023 © Marie Contino).	62
Fig. 35. Photo de fouilles de 2007 du sondage T (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	63
Fig. 36. Lame mince du sol SL5034 échantillon SL5034_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).	64
Fig. 37. Photo des fouilles de 2005 du sol SL5023 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	66
Fig. 38. Photo de fouilles du sol SL5023 montrant la stratigraphie du sol. (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	66
Fig. 39. Lame mince du sol SL5023 échantillon SL5023_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).	67
Fig. 40. Photo de fouilles de 2009 sondage Y espace 47	69
Fig. 41. Photo de fouilles de 2009 sondage Y, US7062 de la mosaïque de l'espace 47 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	70
Fig. 42. Reconstitution de la mosaïque de l'espace 47 (© Mission archéologique Schola del Traiano, Université de Liège).	70
Fig. 43. Lame mince du sol SL7059 échantillon SL7059_PLV.01 (photographie, 2023 © Marie Contino).	71
Fig. 44. Grain isolé de bleu égyptien (photographie, 2023 © Marie Contino).	73
Fig. 45. Plusieurs grains amalgamés de bleu (photographie, 2023 © Marie Contino).	73
Fig. 46. Foraminifères LPNA échantillon SL5853_PLV.02.	77

<i>Fig. 47. Tuileau, grain de calcaire arrondi, silice microcristalline, quartz, pyroxène échantillon SL5760_PL.01 LPNA.....</i>	<i>78</i>
<i>Fig. 48. Tuileau (jaune), grain de calcaire arrondi (vert), silice microcristalline (orange), quartz (bleu), pyroxène (noir) échantillon SL5760_PL.01 LPNA.....</i>	<i>78</i>
<i>Fig. 49. Echantillon naturel de tuf lionato (MARRA, DANTI & GAETA 2015, p.120).....</i>	<i>80</i>
<i>Fig. 50. Scorie vitreuse de tuf lionato de l'échantillon SL7059_PLV.02 LPNA.....</i>	<i>80</i>
<i>Fig. 51. Scorie vitreuse de tuf lionato de l'échantillon SL5016_PLV LPNA.....</i>	<i>80</i>
<i>Fig. 52. Scorie vitreuse de tuf lionato (en vert) et pozzolane rosse (en rouge) de l'échantillon SL5023_PLV.01 LPNA.....</i>	<i>80</i>
<i>Fig. 53. Scorie de pozzolane rosse avec présence de leucites LPNA Echantillon SL5853_PLV.01.....</i>	<i>82</i>
<i>Fig. 54. Scorie de pozzolane rosse avec présence de leucites LPNA Echantillon SL5023_PLV.01.....</i>	<i>82</i>
<i>Fig. 55. Scorie de pozzolane rosse avec des cristaux étoilés de leucite provenant des Monti Albani.....</i>	<i>82</i>
<i>Fig. 56. Scorie de pozzolanelle LPNA échantillon SL5853_PV.02.....</i>	<i>83</i>
<i>Fig. 57. Scorie de pozzolanelle LPNA échantillon SL5190_PLV.03.....</i>	<i>83</i>
<i>Fig. 58. Cristaux de clinopyroxène et de biotite dans une scorie de pozzolanelle provenant des Monti Albani.....</i>	<i>83</i>
<i>Fig. 59. Fragment d'Italite LPNA échantillon SL502_PLV.01.....</i>	<i>84</i>
<i>Fig. 60. Fragment d'Italite entouré de petits fragments d'Italite LPNA échantillon SL7059_PLV.02.....</i>	<i>84</i>
<i>Fig. 61. Fragment d'Italite montrant des cristaux squelettiques de leucite et de clinopyroxène.....</i>	<i>84</i>
<i>Fig. 62. Schémas représentant les différentes couches des sols étudiés sur la parcelle de la Schola del Traiano.....</i>	<i>86</i>

12. Bibliographie

ADAM 1984

Jean-Pierre ADAM, *La construction romaine : Matériaux et techniques*, Paris 1984.

ADAM 1995

Jean-Pierre ADAM, *La construction romaine : Matériaux et techniques*, Bordeaux 1995³.

AUBRY & BROQUET 2007

Sebastien AUBRY & Camille BROQUET, « La datation des phases de construction et de destruction de la Domus aux Bucranes : céramiques et monnaies », in Bernard PERRIER (éd.), *Villas, maisons, sanctuaires et tombeaux tardo-républicains : découvertes et relectures récentes. Actes du colloque international de Saint-Romain-en Gal en l'honneur d'Anna Gallina Zevi*, (Saint-Romain-en Gal 8-10 février 2007), Rome, pp. 33-47.

AUBRY, BOCHERENS & MORARD 2014

Sébastien AUBRY, Christophe BOCHERENS & Thomas MORARD, « Chronologia assoluta e chronologia relativa. L'indagine della Schola del Traiano a Ostia », in *L'Academia belgica di Roma e gli scavi belgi in Italia. FORMA URBIS. Itinerari nascoti di Roma antica*, Rome 2014, pp. 28-33.

BARBET 1985

Alix BARBET, *La peinture murale romaine. Les styles décoratifs pompéiens*, Paris 1985.

BARBET 2008

Alix BARBET, *La Peinture Murale en Gaule Romaine*, Paris 2008.

BEAUX, PLATEVOET & FOGELGESANG 2019

Jean-François BEAUX, Bernard PLATEVOET & Jean-François FOGELGESANG, *Atlas de pétrologie*, Paris 2019³ (2012).

BECATTI 1961

Giovanni BECATTI, *Scavi Di Ostia IV. Mosaici e pavimenti marmorei*, Rome 1961.

BELFIORE, FICHERA, LA RUSSA et al. 2015

Cristina Maria BELFIORE, Giusj Valentina FICHERA, Mauro Francesco LA RUSSA, et al., « A Multidisciplinary Approach for The Archaeometric Study Of Pozzolan Aggregate in Roman Mortars : The Case of Villa Dei Quintili (Rome, Italy) », *Archaeometry* 57 (2015), pp. 269–296.

BERNO 2012

Francesca Romana BERNO, « Pliny the Elder (Gaius Plinius Caecilius Secundus maior), *Naturalis historia* », *Brill's New Pauly Supplements I - Volume 5 : The Reception of Classical Literature*, 2012 [En ligne].

BOCHERENS & ZEVI 2007

Christophe BOCHERENS & Fausto ZEVI, « La Schola du Trajan et la Domus du consul Caius Fabius Agrippinus à Ostie », *ArchCl* 58 (2007), pp. 257-271.

BOULARAND, TURCI & BROMBLET 2022

Sarah BOULARAND, Marcello TURCI & Philippe BROMBLET, « Mineral, Chemical and Petrographic Characterization Of Hydraulic Mortars & Chronological Building Correlation Of The Baths Of Porta Marina In Ostia Antica (Italy) », in *6th Historic Mortars Conference*, actes de colloque (Ljubljana 21-23 September 2022), Ljubljana 2022, pp. 98-112.

BRUN 2016

Giulia BRUN, « Recettes de l'Antiquité et du Moyen Âge pour mortiers et enduits : récupération, interprétations et comparaisons avec les sources manuscrites », in François FLEURY et al. (dir.), *Les temps de la construction. Processus, acteurs, matériaux*, Paris 2016, pp. 1113-1122.

BÜTTNER & COUTELAS 2011

Stéphane BÜTTNER & Arnaud COUTELAS, « Mortiers de chaux et décors architecturaux en Gaule de l'Antiquité au haut Moyen Âge », in Catherine BALMELLE, Hélène ERISTOV & Florence MONIER, *Décors et espace architectural en Gaule : mosaïques, peinture, stuc, entre l'Antiquité et le haut Moyen Âge*, actes de colloque (Toulouse, 9-12 octobre 2008), Bordeaux 2011.

BÜTTNER 2020

Stéphane BÜTTNER, « L'étude archéologique des mortiers de chaux médiévaux : vers une meilleure compréhension des gestes du maçon », in Anne BAUD & Gérard CHARPENTIER (dir.), *Chantiers et matériaux de construction. De l'Antiquité à la Révolution industrielle en Orient et en Occident*, Lyon 2020, pp. 129-141.

COLIGNON 2020

Amandine COLIGNON, *Étude de tombes thébaines par imagerie multi-hyperspectrale*, mémoire de master, Université de Liège (2020).

COUTELAS 2003

Arnaud COUTELAS, *Pétraarchéologie du mortier de chaux gallo-romain. Essai de reconstitution et d'interprétation des chaînes opératoires : du matériau au métier antique*, thèse de doctorat, Université de Panthéon-Sorbonne, Paris 2003.

COUTELAS 2009

Arnaud COUTELAS (dir.), *Le mortier de chaux*, Paris 2009.

COUTELAS 2012

Arnaud COUTELAS, « Les mortiers de chaux et de sable : produits d'un artisanat et témoins du chantier de construction », in Cécile DOULAN, Laure LAÛT, Arnaud COUTELAS, David HOURCADE, Gabriel ROCQUE & Sandra SICARD, *Dossier Cassinomagus : l'agglomération et les thermes, résultats des recherches*

récentes (2003-2010) à Chassenon (Charente), Aquitania 28 (2012), pp. 171-178.

COUTELAS 2012

Arnaud COUTELAS, « La planification et le déroulement des chantiers de construction en Gaule romaine : l'apport de l'étude des matériaux non lithiques », in Stefano CAMPOREALE, Hélène DESSALES & Antonio PIZZO (éds.), *Arqueología de la Construcción III : Los procesos constructivos en el mundo romano : la economía de las obras*, Mérida 2012, pp. 131-143.

COUTELAS 2021

Arnaud COUTELAS, « Le mortier de chaux dans la peinture murale gallo-romaine : l'apport des analyses à la compréhension d'un patrimoine technique ancien », in Marco CAVALIERI & Paolo TOMASSINI (éds.), *La peinture murale antique, méthodes et apports d'une approche technique*, actes du colloque (Louvain-la-Neuve, 21 avril 2017), Padoue 2021, pp. 149-160.

COUTELAS 2022

Arnaud COUTELAS, « Pétroarchéologie des échantillons de peintures murales de Poitiers », rapport *Aquitania Ornata (2021)*, Poitiers 2022.

CROISILLE 2005

Jean-Marc CROISILLE, *La peinture romaine*, Paris 2005.

DELAINE 1995

Janet DELAINE, « The Insula of the Paintings at Ostia 1.4.2-4. Paradigm for a city in flux », in Tim J. CORNELL & Kathryn LOMAS, *Urban Life in Roman Italy*, Londres 1995, pp. 79-106.

DELAINE 2021

Janet DELAINE, « Production, Transport and on-site Organisation of Roman Mortars and Plasters », *Archaeological and Anthropological Sciences* 13 (2021), p. 195.

DELIBRIAS & LABEYRIE 1963

Georgette DELIBRIAS & Jacques LABEYRIE, « La datation des mortiers antiques par la méthode du Carbone 14 », *Revue Archéologique* 2 (1963), pp. 209-211.

DELOYE 1996

François-Xavier DELOYE « La chaux à travers les âges », *Bull. des Labo. P. et Ch.* 201, (1996), pp. 94-98.

DERU et al. 2018

Xavier DERU, Armand DESBAT, Simon DIENST, Grégory MAINET & Lucie MOTTA, « La ceramica della Schola del Traiano a Ostia Antica », in Claire DE RUYT, Thomas MORARD & Françoise VAN HAEPEREN (éds.), *Ostia Antica. Nouvelles études et recherches sur les quartiers occidentaux de la cité*, actes de colloque (Rome-Ostie, 22-24 septembre 2014), [en ligne], Rome 2018.

DIENST 2014

Simon DIENST, Les phases d'abandon de la parcelle de la *Schola del Traiano* à Ostia Antica : Le témoignage du comblement des canalisations, mémoire de master, Université de Liège, 2014.

DI GIACOMO 2013

Stéphane DI GIACOMO, *Mission archéologique de la Schola du Trajan. Le plan de la Domus à Péristyle d'Ostia Antica revisité*, Mémoire de master, Université de Liège, 2013.

ELSEN 2006

Jan ELSÉN, « Microscopy of historic mortars, a review », *Cement and Concrete Research* 36 (2006), pp. 1416-1424.

ERGENÇ, FORT, VARAS-MURIEL et al. 2021

Duygu ERGENÇ, Rafael FORT, Maria VARAS-MURIEL et al., « Mortars and Plasters - How to Characterize Aerial Mortars and Plasters », *Archaeological and Anthropological Sciences* 13 (2021), p. 197.

FALZONE 2007

Stella FALZONE, *Ornata aedificia. Pitture parietali delle case ostiensi*, Rome 2007.

FICHERA et al 2015

Giusj FICHERA, Riccardo FRONTINI, Giuliana GALLI et al., « Limestone provenance in Roman lime-volcanic ash mortars from the Villa dei Quintili, Rome. », *Geoarchaeology* 30, pp. 79-99.

FRANK 1924

Tenney FRANK, *Roman Buildings of the Republic : An Attempt to Date Them from Their Materials*, Rome 1924.

FRIZOT 1982

Michel FRIZOT, « L'analyse des mortiers antiques, problèmes et résultats » in *ICCROM, Mortiers, ciments et coulis utilisés dans la conservation des bâtiments historiques*, actes de colloque (Rome 3-6 novembre 1981), Rome 1982, pp. 331-338.

FOURNIER et al. 2012

Jérôme FOURNIER et al., *Analyses granulométriques. Principes et méthodes*, CNRS, Dinard 2012.

FURLAN & BISSENGER 1975

Vinicio FURLAN & Paul BISSENGER, « Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifique », *Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte* 32 (1975), pp. 166-178.

GINOUVES & MARTIN 1985

René GINOUVES & Roland MARTIN, *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine*, tome 1, *Matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor*, Rome 1985.

GODARD 2022

Anne GODARD, *Maçonneries carolingiennes : Études et analyses des mortiers, quels supports à l'archéologie ? Mise en place d'un protocole appliqué aux mortiers provenant des implantations carolingiennes du Thier d'Olne, d'Amay et de Pont-de-Bonne*, Mémoire de master, Université de Liège, 2022.

HERENS 2022

Elodie HERENS, « Le II^e style "ostien" sous enquête. Imagerie et analyses physico-chimiques des enduits peints de la Domus aux Bucranes », in Grégory MAINET & Stella Maria GRAZIANO (éd.), *Ad Ostium Tiberis, Proceedings of the Conference « Ricerche archeologiche alla Foce del Tevere. Primo Incontro Internazionale dei Dottorandi e Dottorati di Ricerca »* (Rome-Ostie, 18-20 Décembre 2018), Leuven-Paris-Bristol 2022, pp. 191-206.

HUGHES & CALLEBAUT 2002

John HUGHES & Kristof CALLEBAUT, « In-situ visual analysis and practical sampling of historic mortars. », *Materials and Structures* 35 (2002), pp. 70-75.

JACKSON & MARRA 2006

Marie JACKSON & Fabrizio MARRA, « Roman Stone Masonry: Volcanic Foundations of the Ancient City », *American Journal of Archaeology* 110(3) (2006), pp. 403-436.

JACKSON et al. 2007

Marie JACKSON, « Geological observations of excavated sand (harenae fossiciae) used as fine aggregate in ancient Roman pozzolanic mortars », *Journal of Roman Archaeology* 20 (2007), pp. 25-51.

LEIGH MURGATROYD 2016

Jennifer LEIGH MURGATROYD, *Ancient Mortar Production in Ostia, Italy: Builders and their choices*, Oxford 2016.

MAINET 2018

Grégory MAINET, « Maintaining an atrium house during the Principate in Ostia », in Ine WOUTERS, Stephanie VOORDE, Inge BERTELS, Bernard ESPION, Krista JONGE & Denis ZASTAVNI (éd.), *Building Knowledge, Constructing Histories, Proceedings of the 6th International Congress on Construction History* (Bruxelles, 9-13 juillet 2018), Bruxelles 2018, pp. 13-20.

MAINET 2018

Grégory MAINET, « Comprendre le Caseggiato delle Taberne Finestrate en fonction de la parcelle de la Schola del Traiano. Nouvelle lecture d'un édifice méconnu », in Claire DE RUYT, Thomas MORARD & Françoise VAN HAEPEREN

(éd.), *Ostia Antica. Nouvelles études et recherches sur les quartiers occidentaux de la cité*, Actes de colloque international (Rome et Ostie, 22-24 septembre 2014), Rome-Bruxelles 2018, pp. 191-200.

MARRA & ROSA 1995

Fabrizio MARRA & Carlo ROSA, « Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana », in Renato FUNICIELLO (éd.), *La Geologia di Roma. Il Centro Storico*, Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia 50, Rome 1995, pp. 49-118.

MARRA, DEOCAMPO, JACKSON et al. 2011

Fabrizio MARRA, Daniel DEOCAMPO, Marie D. JACKSON et al, « The Alban Hills and Monti Sabatini volcanic products used in ancient Roman masonry (Italy) : an integrated stratigraphic, archeological, environmental and geochemical approach », *Earth Sci. Rev.* 108 (3-4) (2011), pp. 115-136.

MARRA, DANTI & GAETA 2015

Fabrizio MARRA, Alberto DANTI & Mario GAETA, « The volcanic aggregate of ancient Roman mortars from the Capitoline Hill: Petrographic criteria for identification of Rome's "pozzolans" and historical implications », *Journal of Volcanology and Gethermal Research* 308 (2015), pp.113-126.

MIRIGLIANO 1939

Giuseppe MIRIGLIANO, « Italite tipica fra i prodotti dell'eruzione del Vesuvio nel 79 d. C. », *Bulletin volcanique* V (1939), pp. 35-71.

MOTTA 2019

LUCIE MOTTA, *La céramique tardo-républicaine en Italie centro-tyrrhénienne : établissement et confrontation des faciès du Latium septentrional et d'Etrurie méridionale entre le IIe s. et le Ier s. av.n.è.*, Thèse de doctorat de l'université de Lyon en cotutelle avec l'université de liège, 2019.

MOTTA 2022

Lucie MOTTA, « Les céramiques tardo-républicaines de la Schola del Traiano. Étude croisée des pâtes et des données morpho-typologiques », in Grégory MAINET & Maria Stella GRAZIANO (éd.), *Ad Ostium Tiberis, Proceedings of the Conference « Ricerche archeologiche alla Foce del Tevere. Primo Incontro Internazionale dei Dottorandi e Dottorati di Ricerca »* (Rome-Ostia, 18-20 décembre 2020), Leuven-Paris-Bristol 2022, pp. 279-296.

MORARD & WAVELET 2002

Thomas MORARD & David WAVELET, « Prolégomènes à l'étude du site de la Schola du Trajan à Ostie », *MEFRA* 114 (2002), pp. 759-815.

MORARD 2007

Thomas MORARD, « Le plan de la Domus aux Bucranes et son système décoratif : pavements, parois peintes, stucs, plafonds », » in Bertrand PERRIER (éd.), *Villas, maisons, sanctuaires et tombeaux tardo-républicains : découvertes et relectures récentes*, actes du colloque international de Saint-Romain-en Gal en l'honneur

d'Anna Gallina Zevi, (Saint-Romain-en Gal, 8-10 février 2007), Rome 2007, pp. 55-80.

MORARD, AUBRY & BOCHERENS 2015

Thomas MORARD, Sébastien AUBRY & Christophe BOCHERENS, « L'Université de Liège à *Ostia Antica* : entre héritage et continuité », *Bulletin de l'ASLIRA XXVIII* (2013-2015), pp. 175-198.

MORARD 2018

Thomas MORARD, « Quelques éléments de réflexions à propos de l'occupation de la parcelle de la Schola del Traiano (IV, V, 15-16) à Ostia Antica », in Claire de Ruyt, Thomas MORARD & Françoise VAN HAEPEREN, *Nuovi studi e confronto delle ricerche nei quartieri occidentali*, actes de colloque (Ostie, 22-24 septembre 2014), Rome 2018, pp. 167-190.

MORARD & WASTIAU 2021

Thomas MORARD & Charles WASTIAU, « Les sols en béton de tuileau de la Domus aux Bucranes à Ostie. Contexte de production et observations technologiques » in Véronique BLANC-BIJON (éd.), *Pavements et sols en mortier : vocabulaire, techniques, diffusion*, actes de colloque (Aix-en-Provence, 26-27 avril 2017), Bordeaux 2021, pp. 69-85.

NONNI, MARZAIOLO, MIGNARDI et al. 2017

Sara NONNI, Fabio MARZAIOLI, Silvano MIGNARDI et al., « Radiocarbon Dating of Mortars With a Pozzolana Aggregate Using the Cryo2sonic Protocol to Isolate the Binder », *Arizona Board of Regents on behalf of the University of Arizona* (2017), pp. 1-21.

PALAZZO-BERTHOLON 2000

Bénédicte PALAZZO-BERTHOLON, « Archéologie et archéométrie des mortiers et des enduits médiévaux. Étude critique de la bibliographie », *Archéologie médiévale* 29 (2000), pp. 191-216.

PAPADAKIS & VENUAT 1974

MICHEL PAPADAKIS & MICHEL VENUAT, *Industrie de la chaux, du ciment et du plâtre*, Paris 1974.

PAPADAKIS, FARDIS & VAYENAS 1992

Vagelis G. PAPADAKIS, Michael FARDIS & Constantinos G. VAYENAS, « Effect of composition, environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation », *Materials and Structure* 25 (1992), pp. 293-304.

PECCHIONI, FRATINI & CANTISANI 2017

Elena PECCHIONI, Fabio FRATINI & Emma CANTISANI, *Atlante delle malte antiche in sezione sottile al microscopio ottico. Atlas of the ancient mortars in thin section under optical microscope*, Florence 2017.

PERRIER 2007

Bertrand PERRIER, « Les trois édifices successifs : Schola du Trajan, Domus à Péristyle, Domus aux Bucranes », in Bertrand PERRIER (ed.), in *Villas, maisons, sanctuaires et tombeaux tardo-républicains : découvertes et relectures récentes*. Actes du colloque international de Saint-Romain-en Gal en l'honneur d'Anna Gallina Zevi, (Saint-Romain-en Gal 8-10 février 2007), Rome 2007, pp.15-32.

RODUIT 2007

Nicolas RODUIT, *JMicroVision: un logiciel d'analyse d'images pétrographiques polyvalent*, thèse de doctorat, Université de Genève, 2007.

SCRINARI & RICCIARDI 1996

Valnea Santa MARIA SCRINARI & Maria Antonietta RICCIARDI, *La Civiltà dell'Acqua in Ostia Antica*, Rome 1996.

SOURIS 2019

Magali SOURIS, *Analyse et contextualisation des restes d'enduits peints trouvés dans l'église Saint-Georges-et-Sainte-Ode d'Amay*, Mémoire de master, Université de Liège 2019.

SOURIS à paraître

Magali SOURIS, *De la matière picturale aux décors. Les enduits peints de la Domus aux Bucranes à Ostie comme témoins des particularités techniques des premier et deuxième en Italie centrale tardo-républicaine*, thèse de doctorat, Université de Liège, à paraître.

TOMASSINI 2014

Paolo TOMASSINI, « Anciennes fouilles et nouvelles données concernant les phases tardo-républicaine et julio-claudienne de la parcelle du Caseggiato delle Taberne Finestrata (IV, V, 18) » in Claire de RUYT, Thomas MORARD & Françoise Van Haeperen, *Ostia antica : Nuovi studi e confronto delle ricerche nei quartieri occidentali*, actes de colloque (Rome, 22-24 Septembre 2014), Leuven 2018, p. 201-206.

TOMASSINI 2022

Paolo TOMASSINI, *Ostie, fenêtres sur cour. Le Caseggiato delle Taberne Finestrata : reconstruire cinq siècles de vie*, Leuven-Paris-Bristol, 2022.

TOMASSINI, BRACCI et MORANO 2022

Paolo Tomassini, Susanna Bracci et Martina Marano, « Enriching the knowledge of Ostia Antica painted fragments : a multi-methodological approach. », In *Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol. 265, pp. 120-260 (2022).

TOMASSINI & MORANO 2023

Paolo TOMASSINI & Martina MARANO, « Al di sotto della pellicola pittorica: riflessioni sulla presenza di pigmenti nell'intonachino di alcune pitture ostiensi.

Pittura, Luce, Colore. », in *IV Colloquio internazionale dell'Associazione Italiana Ricerche Pittura Antica (AIRPA)* (Urbino 17-19 juin 2021), 2023 [en ligne].

VAN BALEN, VAN HEES, VAN HUNEN et al. 2015

Koenraad VAN BALEN, Rob VAN HEES, Michiel VAN HUNEN et al., *Les dossiers de l'IPW*, tome 16, *Le livre de la chaux. L'utilisation de la chaux comme liant pour mortiers de construction et de jointoiement de l'origine à nos jours*, Namur 2015.

VAN DEMAN 1912

Esther Boise VAN DEMAN, « Methods of Determining the Date of Roman Concrete Monuments », *Journal of Archaeology* 16 (2) (1912), pp. 230-251.

VASSAL 2006

Véronique VASSAL, *Les pavements d'opus signinum: Techniques, décor, fonction architecturale*, Oxford 2006.

VICAT 1856

Louis-Joseph VICAT, *Traité de pratique et théorie de la composition des mortiers, ciments et gangues à pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux*, Grenoble 1856.

VIOLLET-LE-DUC 1863

Eugène VIOLLET-LE-DUC, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*, tome 6, *Gâble – Ouvrier*, Paris 1863, pp. 402-403.

VOLA, GOTTI, BRANDON et al. 2011

Gabriele VOLA, Emmanuele GOTTI, Chris BRANDON et al., « Chemical, mineralogical and petrographic characterization of Roman ancient hydraulic concretes cores from Santa Liberata, Italy, and Caesarea Palestinae, Israel », *Periodico di Mineralogia* 80 (2011), pp. 317-338.

WASTIAU 2017

Charles WASTIAU, *Les limites de la stylistique: mise en contexte et étude comparatives de l'arrière-corps de la Schola del Traiano à Ostia Antica*, Mémoire de master, Université de Liège 2017.

WEST FITZHUGH 1997

Elisabeth WEST FITZHUGH, *Artists' Pigments: a Handbook of Their History and Characteristics. Volume 3*, Londres 1997.

12.1. Sources antiques

CATON L'ANCIEN, *De re rustica*, texte traduit par M. Nisard, Paris, 1877.

CETIUS FAVENTINUS, *Abrégé d'architecture privée*, texte établi, traduit et commenté par M.-T. Cam, CUF, 2001.

PLINE L'ANCIEN, *Histoire naturelle, Livre XXXV : La peinture*, texte établi et traduit par J.-M. CROISILLE, Paris, Les Belles Lettres, 1997.

VITRUE, *De l'architecture, Livre II*, texte traduit par L. CALLEBAT et commenté par P. GROS, Paris, Les Belles Lettres 1999.

VITRUE, *De l'architecture, Livre VII*, texte traduit par B. LIOU et M. ZUINGHEDAU, et commenté par M.-Th. CAM, Paris, Les Belles Lettres 1995.

VITRUE, *Les dix livres d'architecture*, traduction intégrale de PERRAULT C. (1673), 1979.

12.2. Ressources en ligne

The Planetary Society, Wentworth (1922) grain size classification.

https://planetary.s3.amazonaws.com/web/assets/pictures/20130116_wentworth_192_02_f01.gif (consulté le 23/07/2023).

Ecole des Mines Saint-Etienne, Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation spectrométrie d'absorption atomique.

<https://metrologienuclmadagascar.files.wordpress.com/2012/10/theorie-aas-francais.pdf> (consulté le 10/08/2023).

Techno-Sciences, Vitruve.

<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Vitruve.html> (consulté le 3/08/2023).

Remarcle. <https://remacle.org/>.

MAROTEL & TOUBIANA, « Poster scientifique de préparation de lames minces », 2013.

https://factuel.univlorraine.fr/sites/factuel.univlorraine.fr/files/field/gallery/2015/02/affiche_processus.jpg (consulté le 10/08/2023).

Musée National d'Histoire naturelle de Paris, « foraminifère ».

<https://www.mnhn.fr/fr/foraminifere#:~:text=La%20plupart%20de%20ces%20micro,le%20sable%20de%20certaines%20plages> (consulté le 10/08/2023).