

# L'EMPLOI DE TUF VOLCANIQUE ET DE LA POUZZOLANE DANS QUELQUES CONSTRUCTIONS DE FORUM IULII (FRÉJUS, VAR)

Éléments de réflexion sur l'utilisation et la diffusion  
de la pouzzolane en Méditerranée occidentale

Pierre EXCOFFON<sup>1</sup>  
avec la contribution de Michel DUBAR<sup>2</sup>

La présente contribution s'intègre dans une étude globale sur « l'importation, l'exportation et l'utilisation des matériaux de construction dans la cité de *Forum Iulii* ». Les nombreuses opérations archéologiques, préventives et programmées, menées ces dernières années sur la commune de Fréjus, apportent régulièrement leur lot de données sur les matériaux de construction utilisés dans la ville antique<sup>3</sup>. Souvent difficile à exploiter au moment de la fouille menée dans une fourchette temporelle des plus courtes, le développement d'une telle problématique à l'échelle de la ville, permet d'envisager la question des matériaux de construction en amont des projets de fouilles. Ces précautions permettent ainsi d'avoir « le bon réflexe » au moment voulu, en assurant le prélèvement méthodique de ces éléments peu « nobles », ou considérés comme sans intérêt (mortier, moellons, tuiles, terre crue, etc.). Récemment, diverses opérations menées par le service du Patrimoine de la Ville de Fréjus, ont permis de porter notre attention sur un matériau peu connu dans notre région : le tuf volcanique et sa forme dérivée, la pouzzolane.

## 1. Le matériau

Vitruve qualifie ainsi la pouzzolane (qu'il désigne *puluis*)<sup>4</sup> dans le chapitre VI de son deuxième livre : « Il y a aussi un genre de poudre qui a, par nature, des propriétés remarquables. Elle se forme dans la région de Baies et sur le territoire des municipes qui sont aux alentours du Vésuve. Mêlée à la chaux et aux moellons, non seulement elle assure la solidité des différentes constructions, mais, plus particulièrement aussi, elle fait s'affermir sous l'eau la maçonnerie des digues de mer ». L'essentiel est dit : il

s'agit d'un matériau, une poudre ou forme meuble d'un tuf volcanique, que l'on trouve dans le sud de l'Italie et qui possède l'intéressante propriété de prendre dans l'eau. Néanmoins la nature de ce matériau, comme le processus chimique de prise des bétons en milieu immergé, sont comprises de façon empirique par Vitruve. Pour lui, ces particularités sont dues à une activité souterraine durant laquelle les roches sont brûlées, perdant ainsi toute leur humidité ; réduites en poudre, assemblées à la chaux et réhydratées, un phénomène d'effervescence produit la saturation en eau et agrège fermement ces corps entre eux<sup>5</sup>. Mieux maîtrisée depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, on sait désormais que c'est en réalité la forte quantité de silicate d'alumine (à l'état colloïdal) présente dans cette roche pyroclastique qui provoque, une fois mélangé à la chaux, cette « réaction pouzzolanique » et permet la prise en eau (Vicat 1856 ; Frizot 1975, 29 et 313 ; Davidovits 2007, 297 ; Coutelas 2009, 19-20)<sup>6</sup>.

## 2. Provenance et diffusion du matériau

Si la pouzzolane doit son nom à la ville de Pouzzoles, le terme désigne un tuf volcanique riche en alumine, et d'autres régions du monde recèlent ce type de matériau. Vitruve mentionne que les sites permettant d'exploiter ce matériau sont concentrés dans la région de Baies<sup>7</sup> et du Vésuve, ainsi que près de l'Etna en Sicile et en Mysie en Asie Mineure (II, 6, 4) (fig. 1). S'il admet que d'autres endroits regroupant les mêmes caractéristiques sont susceptibles de contenir un matériau de ce type, il n'en cite aucun et semble même sous-entendre qu'aucun autre n'était connu à son époque. Des tufs volcaniques existent ailleurs, notamment en Italie (les Monts Albains, l'Étrurie méridionale, les Abruzzes ou

1- Ville de Fréjus, service du Patrimoine/chercheur associé au CCI / UMR 7299.

2- Chercheur associé au CÉPAM / UMR 7264.

3- La contribution de Sandrine Ardisson, dans cette même revue, sur l'emploi des briques trapèzes à Cimiez et Fréjus (Ardisson 2011a), ainsi que l'étude des matériaux lithiques employés pour la construction de l'amphithéâtre de Fréjus (Excoffon 2011) participent à cette même thématique.

4- Pour Pierre Gros, l'adjectif *puteolanus*, qui donnera Pouzzoles, n'est pas mentionné par Vitruve mais la première fois par Sénèque (*Quaest. Nat.*, III, 20, 3).

5- L'origine éruptive de la roche, comme l'activité volcanique réelle de la région de *Baiae*, ne semblent pas connues à cette époque (Commentaire de P. Gros, Vitruve, *De Architectura*, Livre II, CUF, 2003, 94).

6- De nos jours, en science des matériaux, le terme pouzzolane désigne les matériaux siliceux ou silico-alumineux ne possédant pas de propriétés liantes mais qui, intégrés à l'hydroxyde de calcium, réagissent chimiquement (Coutelas 2009, 19).

7- Entre Cumès et le promontoire de Minerve (V, 12, 2).



Fig. 1 : Méditerranée antique, principaux sites mentionnés.

encore les Pouilles)<sup>8</sup>, mais ceux-ci ne possèdent pas les mêmes caractéristiques pratiques que celles provenant de Campanie<sup>9</sup>. Pourtant, un matériau aux propriétés similaires était connu sur l'île de Santorin en Grèce (γῆ θηραική) (Ginouès, Martin 1985, 44) et était déjà exploité à l'époque hellénistique. Il en est ainsi pour la réalisation des citernes de Théra ou de certaines structures du port de Délos et de Zéa (Passalimani au Pirée, port d'Athènes) (Orlandos 1966, 140). Plus récemment, au XVIII<sup>e</sup> siècle, des mines et carrières ont été ouvertes pour extraire des tufs volcaniques aux mêmes propriétés que la pouzzolane, comme le trass d'Andernach découvert aux Pays-Bas (Frizot 1975, 29) ou encore ceux extraits à Rochemaure en Vivarais (Ardèche) (Faujas de Saint-Fond 1778, 123)<sup>10</sup>.

8- Sur la « Pouzzolane Rosse » provenant des Monts Albains et employée notamment pour la construction du forum et des marchés de Trajan à Rome, voir la récente contribution de Jackson *et al.* 2010. Les carrières reconnues dans ce secteur géographique, aux portes de Rome, ont essentiellement servi à fournir la ville éternelle en matériaux volcaniques (Jackson, Marra 2006).

9- Vitruve mentionne une variante à la pouzzolane et qui serait mieux adaptée aux constructions sur la terre ferme, qu'il définit comme *carbunculus*, qui proviendrait essentiellement d'Étrurie et dont la couleur et la préparation diffèrent de la pouzzolane classique (Lugli 1957, 398-399). Pour d'autres, il s'agirait d'une pouzzolane artificielle produite par la cuisson d'une zéolithe (Davidovits 1994). À noter qu'il a été signalé la possible identification de *carbunculus* dans les maçonneries immergées de la partie sud-ouest du port de Claude à Ostie (Morelli, Paroli, Verduchi 2005, 255).

10- Notamment employés pour construire le port de Toulon et ses propriétés étaient jugées encore supérieures à la pouzzolane provenant d'Italie.

Durant l'Antiquité, de nombreuses constructions portuaires immergées employant des pouzzolanes sont connues. L'identification de ces mortiers, de composition variable contenant de la pouzzolane, a conduit certains spécialistes sous l'impulsion de John Peter Oleson<sup>11</sup> à créer un groupe de recherche en 2002 désigné Roman Maritime Concrete Study (ROMACONS) (Oleson *et al.* 2004). La méthodologie consiste à réaliser un prélèvement systématique sur des sites maritimes italiens (Ostia, Anzio, Cosa, Santa Liberata, Egnatia, Baia, etc.) et de Méditerranée orientale (Caesarea, Chersonios, Soli-Pompeipolis, Alexandrie, etc.) afin de les confronter à un échantillonnage effectué dans des carrières potentielles, proches des lieux de découvertes et plus éloignées (Pouzzoles, Baia, Bacoli, Lago di Averno, le Vésuve, les îles de Santorin et de Cos, etc.). Ce projet a permis de démontrer l'importation, depuis les Champs Phlégréens, du tuf volcanique employé pour la construction des structures immergées du port de Soli-Pompeipolis au I<sup>er</sup> s. apr. J.-C. (Mersin, Turquie) (Stanislao *et al.* 2011), ainsi que plus anciennement celui des môles nord et sud du port de *Caesarea* (Sebastos, Israël) (Oleson, Branton 1992). Pour le port romain de Chersonios en Crète, c'est également une origine italique qui est envisagée pour l'importation de la pouzzolane bien que des gisements plus

11- Université de Victoria, Canada.

proches, notamment sur l'île de Cos et dans le sud de la Turquie, soient connus (Brandon *et al.* 2005).

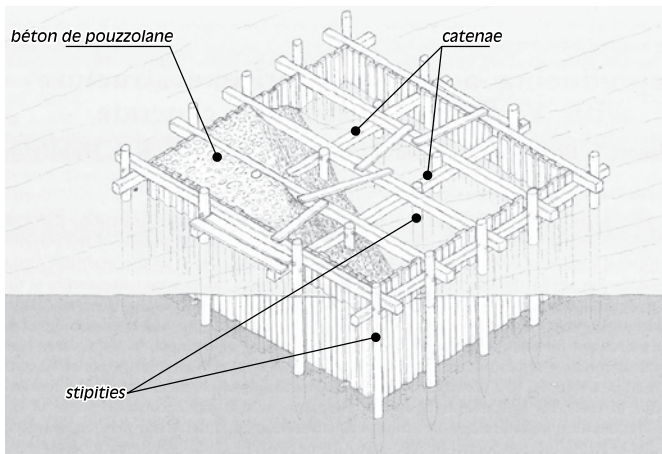


Fig. 2 : restitution du système de construction de quai immergé en eau vive selon Vitruve (d'après Oleson *et al.* 2006, 30, fig. 1).

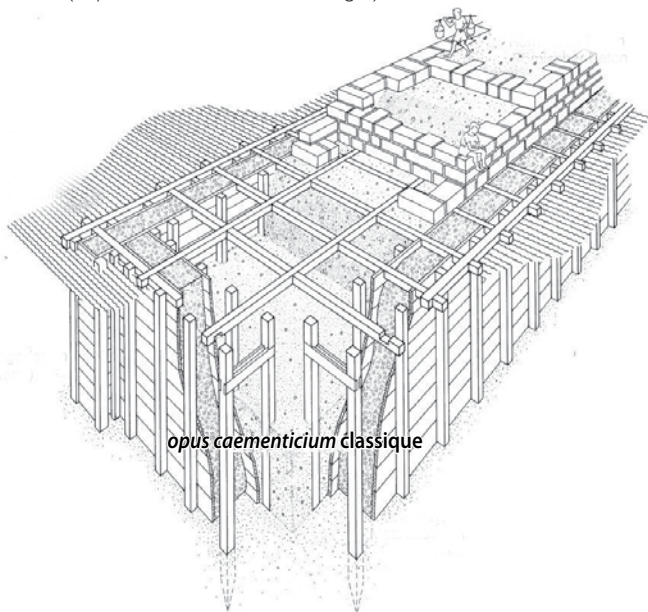


Fig. 3 : restitution du système de construction de quai immergé en caisson étanche selon Vitruve (d'après Lamprecht 1996, 146, fig. 119).

### 3. L'utilisation de la pouzzolane : mise en œuvre

#### 3.1. Les structures portuaires

Depuis l'Antiquité, la pouzzolane trouve l'un de ses principaux intérêts dans la construction de structures portuaires, en particulier pour les digues et les môles (*De Architectura*, II, 6, 1) comme nous l'apprend Pline l'Ancien au sujet du port de Claude à Ostie (*Histoire Naturelle*, XXXV, 165). La méthode de construction de ces structures, en caissons non étanches avec pouzzolane, nous est fournie par Vitruve (*De Architectura*, V, 12, 2-3)<sup>12</sup>. Il s'agit d'un coffrage sans fond dont les parois de bois sont maintenues par des traverses horizontales (les *catenae*) ; l'ensemble est lié à des pieux verticaux (les *stipites*)

qui permettent, une fois enfoncés dans le sol, de maintenir sous l'eau le caisson. Un mélange de chaux (1/3) avec de la poudre de pouzzolane (2/3) est ensuite vidé à l'intérieur du coffrage pour l'emplir totalement (fig. 2). Cette technique trouve plusieurs résonances dans les vestiges de structures portuaires exhumées ces dernières années, en particulier par les négatifs du coffrage, voire les éléments de bois eux-mêmes, comme ce fut le cas par exemple à *Caesarea* en Israël (Oleson, Branton 1992, 54, area G) ou encore pour le quai F 120 découvert place Jules Verne à Marseille (Hesnard 2004, 194-201)<sup>13</sup>. Une méthode de construction de quai sans pouzzolane, et donc à sec, est également décrite par Vitruve (V, 12, 5-6). Elle consiste à mettre en place un caisson, dont les parois sont rendues étanches, avant d'en extraire l'eau avec un système de roue ou de tambour. Dans le vide ainsi libéré, le béton est coulé, sans ajout de pouzzolane. Un cas de ce type a également été découvert à Marseille (quai F 28) (*ibid.*, 189-194) (fig. 3). Dans la majorité des cas, les structures comportent comme agrégats dans le massif de maçonnerie concrète, des fragments plus importants de tuf volcanique. C'est par exemple ce que l'on observe pour les structures du port de Cosa, employant pour les parties immergées de gros éléments de tuf jaune (Ciampoltrini, Rendini 2004, 135 ; Lamprecht 1996, 140). Ainsi, le tuf volcanique se retrouve présent sous deux formes : celle de sable, donc de pouzzolane, et celle de gros « cailloux » pour constituer l'agrégat.

Enfin, en 2004, une reconstitution expérimentale grandeur nature de la construction d'une *pila* en pleine eau de 8 m<sup>3</sup> a été réalisée par C. Brandon, R. L. Hohlfelder et J. P. Oleson dans le port de Brindisi. Celle-ci a suivi le même procédé que celui décrit par Vitruve, en caisson non étanche, avec une même proportion chaux / pouzzolane et avec de gros agrégats en éléments de tuf. Cette expérience a permis de vérifier la faisabilité du principe de construction (Oleson *et al.* 2006)<sup>14</sup>.

#### 3.2. Les structures non portuaires

Outre les structures portuaires, la mise en œuvre de pouzzolane trouve une destination dans la réalisation d'autres aménagements maritimes comme les viviers. C'est notamment le cas de celui de Grosseto à Santa Liberata, sur la presque île d'Orbetello.

En dehors du contexte maritime, le tuf volcanique et la pouzzolane sont employés dans certains cas précis et pour des fonctions définies. Comme Vitruve le précise, cette adjonction de pouzzolane permet une prise très forte des mortiers en milieu non humide. Également, la très faible densité du tuf volcanique, voire des pierres ponces, tout en possédant un squelette siliceux résistant, permet d'alléger le poids de certaines structures aériennes, en particulier des coupoles comme c'est le cas par exemple pour la coupole à niches du *laconicum* des thermes du Centre à Pompéi (fig. 4), où encore celle du Panthéon à Rome (Adam 1984, 196-200).

12- Pour les détails sur l'interprétation de ce passage du *De Architectura* on se reportera à Felici 1998, 298-312.

13- Dans ce cas précis l'auteur ne conclut pas à une construction en eau vive, mais au sein d'une tranchée creusée dans une zone asséchée par la mise en place d'un double batardeau. Il s'agirait en quelque sorte donc d'une construction hybride.

14- L'opération a duré plus de 6 jours. Rappelons qu'après la mise en place, Vitruve estime à deux mois environ le temps de séchage (*De Architectura*, V, 12, 4).



Fig. 4 : vue de détail de la coupole de la *laconicum* des thermes du Centre à Pompéi où le tuf volcanique est employé pour alléger la structure (cl. S. Ardisson).

#### 4. Les structures employant du tuf volcanique et de la pouzzolane à Fréjus

De récentes opérations menées sur la commune de Fréjus ont mis en évidence l'emploi de ces matériaux particuliers dans plusieurs constructions, tant maritimes que terrestres (fig. 5).

##### 4.1. Les structures immergées

Un sondage archéologique réalisé en 2011<sup>15</sup> au croisement du Chemin de La Lanterne et la rue du Gendarme Veilex (opération *Villa Augusta*) a permis de mettre en évidence l'extrémité sud de la jetée, ou avant-mur, du port antique de Fréjus (Gébara, Morhange 2010). Celle-ci fût édifée dans le prolongement du môle sud, après l'atterrissement constitué à sa base, et dans le but d'empêcher l'ensablement du port provoqué par la progradation rapide du littoral (Excoffon *et al.* 2010). Un massif de maçonnerie, fait à partir de pouzzolane et fragments de tuf volcanique jaune, a ainsi été découvert (fig. 6). Ce massif, situé à l'extrémité de la jetée, devait supporter une structure monumentale servant de repère aux bateaux (phare ou balise) installée sur une plate-forme bordée d'un garde corps en grès<sup>16</sup>.

15- Ce sondage a fait suite à deux diagnostics archéologiques réalisés sur la parcelle en 1998 et 2007 (Georges *et al.* 2010).

16- Étude en cours : S. Ardisson, P. Excoffon.

Les conditions de fouille n'ont pas permis de mettre en évidence des traces du coffrage de la construction, mais la présence d'un béton pouzzolanique implique sa construction en eau vive. Cette jetée ou môle était mis en place sur un important massif de blocs de grès brut d'extraction, et constituant le soubassement jusqu'au fond marin situé à plus de 6 m de profondeur à l'époque romaine<sup>17</sup>. Un élément de structure circulaire en maçonnerie concrète avec parement en petit appareil appartenant à cet ensemble, a été découvert rejeté à quelques mètres. Le remplissage de l'*opus caementicium* comprenait aussi des morceaux de tufs centimétriques (fig. 7). La datation de cet ensemble reste approximative, mais peut être située dans la deuxième moitié du 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C. À noter également que le massif désigné M7, situé en face de la Lanterne d'Auguste est également édifé avec de la pouzzolane et des petits morceaux de tuf de 1 cm maximum (Gébara, Morhange 2010, 63-65)<sup>18</sup>.

En 2008, un sondage archéologique au n° 305 de la rue Aristide Briand à Fréjus (opération Kipling), a permis de mettre en évidence un vivier édifé dans la première moitié du 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C. (Excoffon à paraître). Aujourd'hui situé au cœur de la ville actuelle à plus d'un kilomètre et demi du littoral, les nouvelles données connues sur la position et la morphologie du littoral antique, permettent de localiser le site durant l'Antiquité, en bord de mer, au fond d'un golfe largement ouvert (Excoffon *et al.* 2010). Le site se situe au sud de l'agglomération et hors de l'enceinte du Haut Empire. Lors de l'aménagement du bassin, le rempart n'est pas encore construit et la ville ne s'étend pas encore au-delà du quart sud-ouest défini par le réseau urbain A et attribuable aux dernières décennies du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. (Rivet *et al.* 2000, 362-367). Enfin, au moment de cet aménagement, le port existe sans doute déjà, mais sous une forme différente de celle qu'il prendra au cours des siècles suivants. Dans son dernier état de fonctionnement, le vivier dispose d'un bassin intérieur, faisant office de filtre, réalisé par coffrage avec béton de pouzzolane et agrégats de tuf volcanique d'une dizaine de centimètres (fig. 8). La datation de cet ensemble est à situer vers le milieu du 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C.

##### 4.2. Les structures hors d'eau

Un exemple de voûte concrète, utilisant comme agrégat du tuf volcanique est connu à Fréjus. Situés en dehors de la ville antique, dans le quartier de Villeneuve, les thermes de Villeneuve sont les mieux conservés de l'antique *Forum Iulii*. Un sondage préliminaire, réalisé en 2007 a mis en évidence la nature de la construction des voûtes en berceau plein cintre couvrant l'édifice de l'est (Ardisson 2011b) (fig. 9).

Dans les espaces A, B et C de la zone 10, les voûtes sont entièrement conservées. Dans la grande salle à piscine chauffée (zone 8), la voûte s'est effondrée et une coupe de la structure de la maçonnerie concrète est visible ; on peut ainsi

17- À ce moment le niveau marin se situe aux alentours de - 0,30 m NGF (Excoffon, Devillers 2006).

18- Également à Fréjus, les fondations des thermes du Port à la Porte d'Orée comporteraient un matériau de « type pouzzolane » (Gébara, Morhange 2010, 65, note 77).



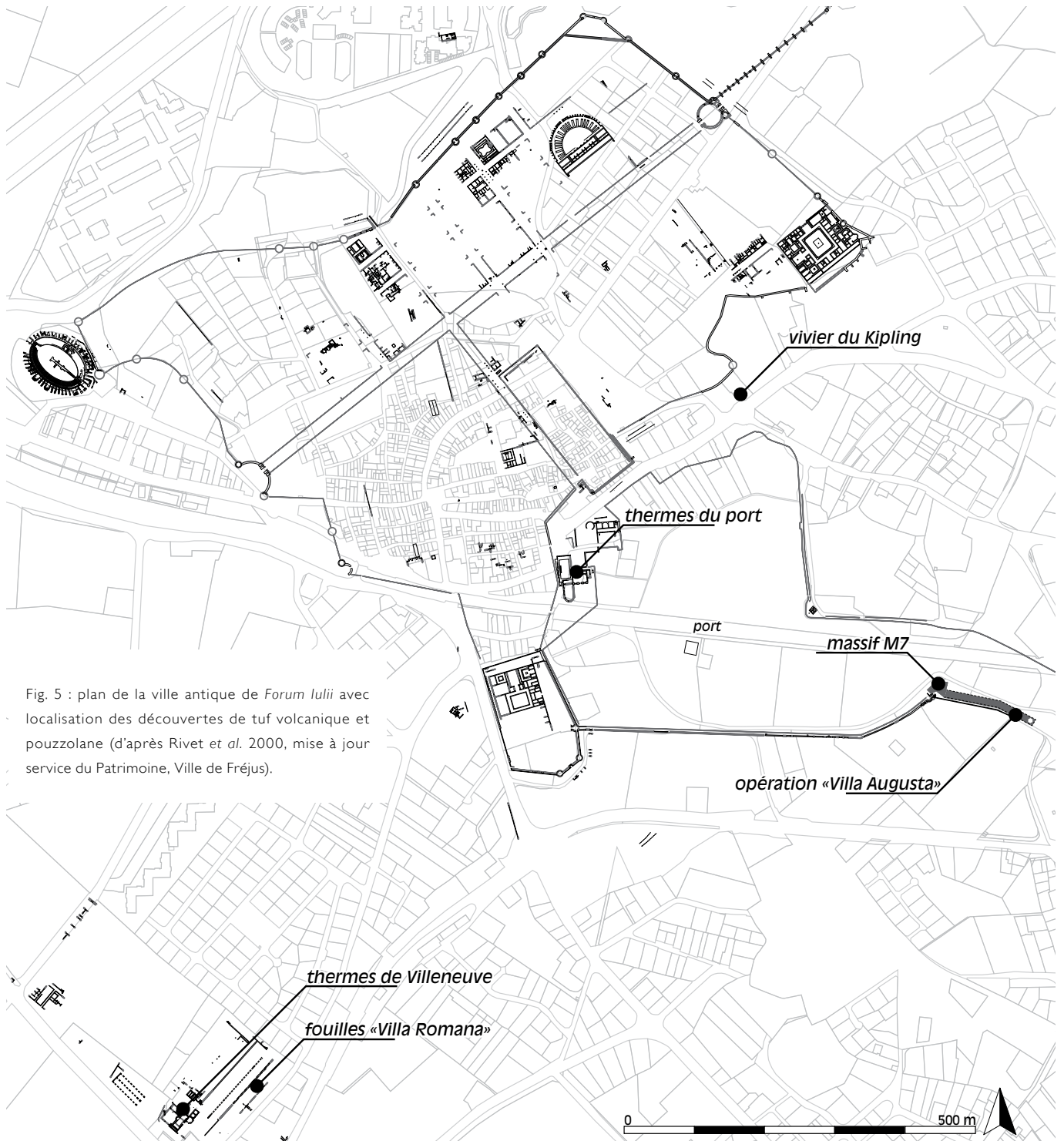
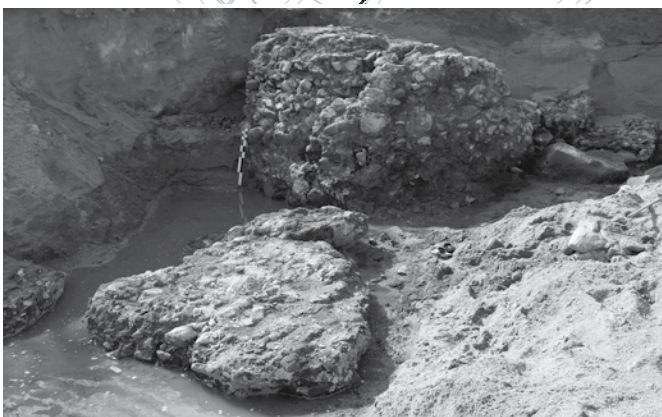


Fig. 5 : plan de la ville antique de *Forum Iulii* avec localisation des découvertes de tuf volcanique et pouzzolane (d'après Rivet et al. 2000, mise à jour service du Patrimoine, Ville de Fréjus).



observer l'utilisation d'un tuf volcanique de couleur jaune. Celle-ci avait une portée totale de 9,25 x 23,25 m de long, une épaisseur maximale de 1,34 m, une flèche de 2,66 m et une hauteur sous l'*intradós* minimale de 6 m (Excoffon, Ardisson 2007) (fig. 10). L'imposante structure de la voûte a nécessité deux temps de construction par emplissage d'un coffrage sur cintre en bois. L'*intradós* mis en place en premier est composé d'un mortier de chaux et d'un agrégat à faible densité de tuf volcanique. L'*extradós* est lui constitué d'un mortier de chaux avec agrégat plus classique de grès brun. Le même

Fig. 6 : vue du massif de maçonnerie concrète (cl. P. Excoffon).

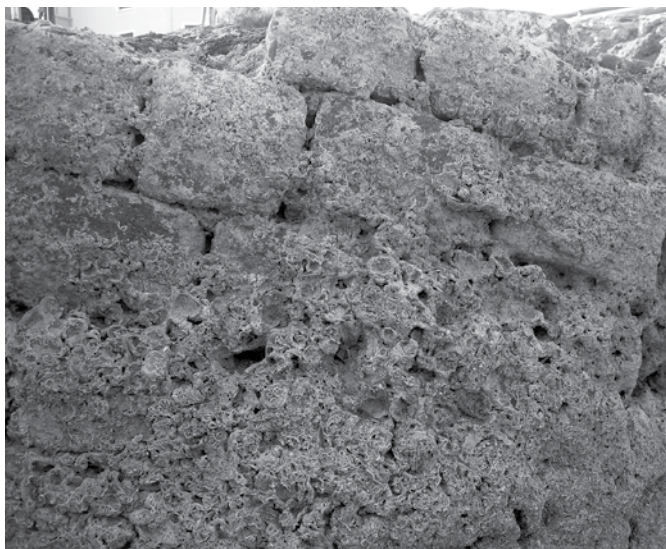


Fig. 7 : détail du parement de la structure circulaire couverte de vers marins (cl. P. Excoffon).



Fig. 8 : le vivier du Kipling en cours de fouille, vue du nord. Le bassin filtre apparaît au premier plan (cl. P. Excoffon).

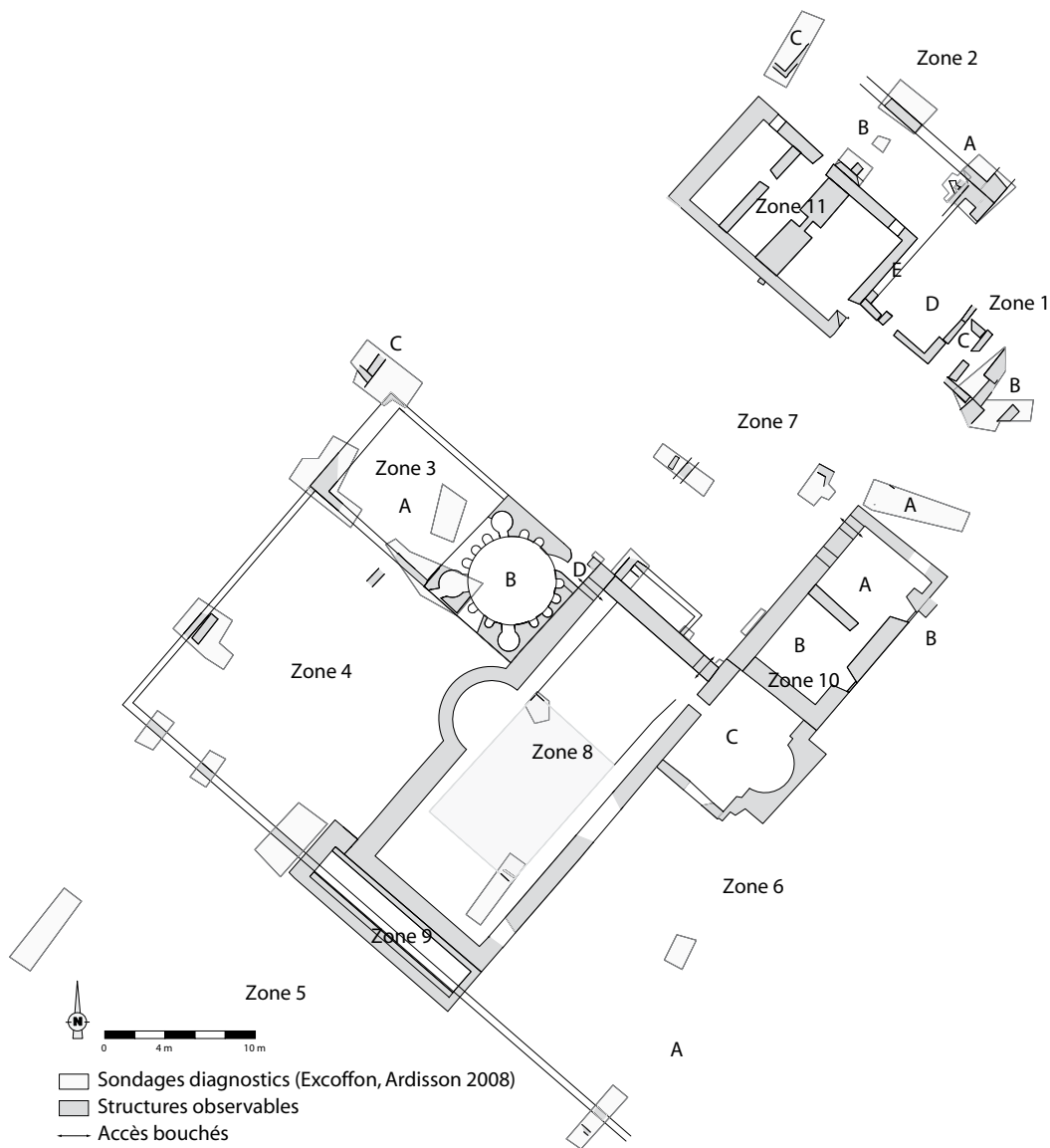


Fig. 9 : plan et vue d'ensemble des thermes de Villeneuve (d'après Excoffon 2011).





Fig. 10 : vue du grand *caldarium* des thermes de Villeneuve où sont visibles les départ de maçonnerie de la voûte (cl. R. Hacquard).

procédé s'observe pour la voûte en cul-de-four de l'abside. Les éléments de tuf volcanique mesurent entre 10 et 15 cm en moyenne. La datation des thermes de Villeneuve dans leur dernier état de fonctionnement remonte au milieu du 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C. (Excoffon 2011, 96).

Plus anecdotiques et d'usage sans doute détourné, deux moellons retaillés de tuf volcanique jaune étaient utilisés dans les parements de l'un des deux murs de clôture délimitant la bande cultivé découverte à l'est des thermes de Villeneuve lors de la fouille de Villa Romana (Excoffon 2011). Ces moellons d'environ 0,40 m de côté sont les plus gros éléments de tuf volcanique de cette nature connus à Fréjus (fig. 11). Leur fonction dans ce mur n'est pas à mettre en relation avec leurs caractéristiques, mais le site est proche des thermes de Villeneuve, d'où ils provenaient peut-être.

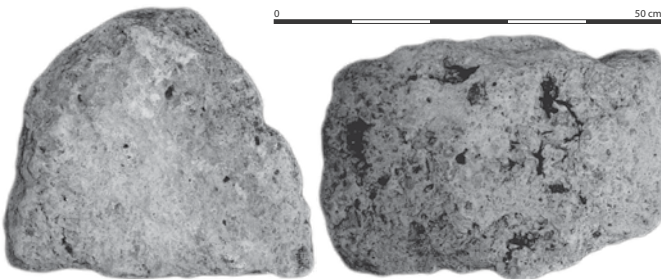


Fig. 11 : gros fragments de tuf volcanique découverts lors des fouilles de Villa Romana (cl. J. Cordonnier).

## 5. Identification des tufs volcaniques

(M. Dubar)

Des prélèvements ont été effectués sur l'ensemble de ces structures<sup>19</sup>. L'analyse au microscope géologique après décalcification des mortiers montre la présence en abondance de débris anguleux de ponce flexueuse (fig. 12) de couleur beige à grise. La présence de minéraux volcaniques très frais (augite) complète le contexte : pouzzolane broyée et sables volcaniques mélangés à de la chaux.

Dans l'Estérel aucun faciès à pouzzolane n'est connu, bien

19- Extrémité de la jetée : Prlt. n° 1 (US1003), structure semi-circulaire : Prlt. n° 2 (US1008), mur contre la lanterne d'Auguste : Prlt. n° 3 (M7), la paroi du bassin du Kipling : Prlt. n° 4 (MR9024) la voûte des thermes de Villeneuve : Prlt. n° 5 (VT8006).

que des niveaux pyroclastiques liés au volcanisme basique (basalte, dolérite) effusif existent çà et là. Ce sont surtout des niveaux bréchiques qui ne pourraient être utilisés pour la fabrication de mortier. Dans le cas des maçonneries antiques de Fréjus, le tuf est de faciès vésuvien et atteste d'une origine très probable du sud de l'Italie (région de Naples). Elle se différencie du faciès strombolien d'Italie et du Massif Central français. On écarte ainsi un site intéressant du littoral méditerranéen, celui d'Agde.

Des analyses chimiques devraient permettre de confirmer ces premiers résultats.

Charles Texier, en 1849, est le premier et le seul, à identifier les pouzzolanes du quai sud et suppose alors qu'elles proviennent de la région de Civitavecchia (Texier 1849, 251-252).

## 6. Discussion

Bien que la tendance doive être confirmée, l'importation depuis la région de Pouzzoles de tuf volcanique pour être employé sous forme de pouzzolane et d'agrégat, apparaît comme une hypothèse sérieuse. Le transport sur longues distances de tuf volcanique pour l'édification de structures portuaires est un fait bien établi, en particulier à partir des données de l'étude du port de *Caesarea*. L'estimation calculée à partir d'une restitution du volume total de la maçonnerie concrète des deux môles du port, soit 78 000 m<sup>3</sup>, a permis d'établir que 17 600 m<sup>3</sup> de pouzzolane avait été importés entre la région de Pouzzoles et le port de *Caesarea* en Israël au moment de son édification, à la fin du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. (Votruba 2007). L'auteur va plus loin en supposant la nécessité de l'emploi de 44 navires de 400 tonnes chacun (*ibid.*, 327). Actuellement, un tel calcul n'est pas possible pour les aménagements du port de Fréjus, mais les dimensions des deux bassins portuaires sont proches : 10 à 11 ha pour Fréjus (Gébara, Morhange 2010, 115) contre 10 ha à *Caesarea* (Boyce *et al.* 2004). Toutefois, les éléments de tuf mis en évidence récemment, sont postérieurs à la création proprement dite du port de *Forum Iulii*, daté de la fin du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. Seul le massif M7 pourrait remonter à cette fondation. Les autres témoignages : la jetée, le bassin filtre du vivier du Kipling et les voûtes des thermes de Villeneuve, remonteraient au milieu du 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C.

L'exportation d'une telle quantité de tuf à la fin du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. pour édifier le port de *Caesarea* s'expliquerait par une volonté de l'Empire d'assurer son hégémonie et de sécuriser les trajets Alexandrie-Rome, via Pouzzoles<sup>20</sup>, véritable plaque tournante de l'économie romaine, essentielle pour l'alimentation de Rome en blé. Selon R.L. Hohlfelder, cette stratégie d'hégémonie et la construction du port de *Caesarea* seraient essentiellement

20- C'est au cours de la deuxième guerre punique, sous l'impulsion de Scipion l'Africain (199 av. J.-C.), que le port de Pouzzoles se développa pour devenir un relais majeur dans le commerce méditerranéen, notamment pour le transit de l'annone, en remplacement de Syracuse passée aux mains des carthaginois (Zevi 1994). Plus tard, le début du règne d'Auguste marque une phase d'effervescence du commerce à Pouzzoles (Zevi 1993), mais en particulier vers la partie orientale de l'Empire (Tchernia 2010, 62-73). La construction du port de Trajan à l'embouchure du Tibre, destiné notamment à recevoir directement les importations de blé égyptien, ne mit pas en péril le commerce et le port de Pouzzoles qui, au contraire, continuèrent de prospérer jusqu'au III<sup>e</sup> s. apr. J.-C.

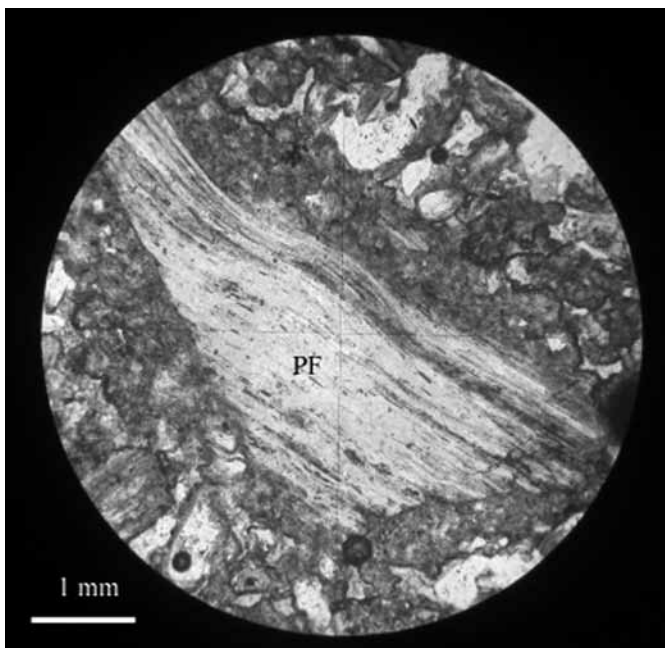


Fig. 12 : analyse au microscope géologique après décalcification des mortiers (M. Dubar).

le fait de Marcus Agrippa (Hohlfelder 2000). Ce dernier serait également à l'origine de l'exportation de pouzzolane en masse, ainsi que de main-d'œuvre italique spécialisée dans la construction de béton spécifique en Judée (*ibid.*, 250). Si l'on suit ce raisonnement qui fait d'Agrippa le personnage déterminant dans la diffusion à grande échelle de la pouzzolane pour les aménagements portuaires de l'Empire naissant, la présence en masse de ce même matériau à *Forum Iulii* pourrait découler de la même logique. Christian Goudineau (Goudineau, Brentchaloff 2009) a bien montré l'importance d'Agrippa dans la constitution du camp militaire de Villeneuve et de la mise en place du port<sup>21</sup>. En reprenant la datation proposée par Ch. Gébara et Chr. Morhange, qui placent la construction des môles et quais en maçonnerie concrète à la fin du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C., l'importation de pouzzolane s'inscrirait dans le même mouvement de développement des carrières de la région de Pouzzoles en lien notamment avec la création du port de *Caesarea*. Cette période marquerait le début du développement de la diffusion de la pouzzolane pour édifier les structures immergées des ports de Méditerranée orientale, mais aussi occidentale. Ce mouvement se poursuit jusqu'à 115 apr. J.-C. avec la création du port de Trajan à Ostie. Il en est ainsi pour les quais découverts places Villeneuve-Bargemont et Jules Verne à Marseille, datés du début du 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C., le port de Claude vers 50 apr. J.-C. à Ostie et celui de Cosa vers 60 apr. J.-C. Ainsi, la période allant de la fin du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C. à la fin du siècle suivant, marque la plus forte activité dans la construction portuaire. Le commerce et la diffusion de la pouzzolane, que Vitruve, architecte d'Auguste, mentionne comme la seule nécessaire à la construction de digues et de môles, connaissent alors leur apogée. L'exportation

21- Christian Goudineau propose en réalité une autre localisation pour le premier port en lien avec le camp militaire (quartier Villeneuve à l'ouest de Fréjus).

de ce matériau dans des contextes non portuaires, et très éloignée du gisement d'origine, comme c'est le cas pour le vivier du Kipling et les thermes de Villeneuve, peut s'expliquer par la présence du port, et la nécessité de le transformer vers le début de la deuxième moitié du 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C. par la construction de la jetée<sup>22</sup>. En effet, s'il peut paraître peu réaliste d'affréter spécifiquement un bateau transportant le tuf volcanique depuis Pouzzoles pour de si modestes aménagements<sup>23</sup>, l'idée que leur réalisation ait profité directement de l'apport massif du matériau pour la construction ou le réaménagement du port apparaît plausible.

Enfin, l'information intéressante fournie par les deux modules de taille importante découverts sur la fouille de Villa Romana, permet de restituer la façon dont le matériau était transporté et débité en carrière. S'agissant sans doute d'éléments réutilisés, et non transformés en sable ou agrégats, on peut en déduire que la poudre de pouzzolane était probablement produite sur le site de construction, peut-être grâce à des moulins, comme les agrégats l'étaient par concassage de morceaux plus gros. On comprend bien l'intérêt de transporter ce matériau peu pondéreux par unités empilables, plutôt que sous forme de vrac, aussi bien pour le volume obtenu que pour la commodité du transport et du chargement/déchargement.

La diffusion de la pouzzolane à partir du règne d'Auguste, jusqu'au début du 1<sup>er</sup> s. apr. J.-C., est un fait établi pour la Méditerranée orientale à partir des données recueillies dans le cadre du projet ROMACONS. Pour la partie occidentale, les données sont plus éparées et surtout les prélèvements et analyses systématiques ne sont pas coutumes. L'emploi de pouzzolane est assuré pour le port de Marseille et celui de Fréjus. À Narbonne, pourtant deuxième plus grand port romain en Occident et malgré des recherches intensives (Cavero *et al.* 2010), les bassins portuaires sont quasiment inconnus, et les observations faites sur des éléments de quai, ont été trop sporadiques pour déterminer la nature exacte de la maçonnerie (Falguera, Bernard, Jézégou 2003). Pour l'Espagne, les données ne sont pas connues ou non publiées. Le dossier est donc à poursuivre, et permet déjà d'envisager un commerce à grande échelle, d'un matériau d'apparence très ordinaire, bien différent des marbres somptueux exportés dans tout l'Empire. Ce « commerce » a dû assurer aux propriétaires des carrières des Champs Phlégréens une certaine prospérité avec un débouché, même ponctuellement, garanti par l'Empire, en situation de monopole, voire d'oligopole, à moins que celles-ci n'aient été dès l'origine propriétés impériales<sup>24</sup>. Nous sommes en ce sens loin de la configuration d'un marché impulsé principalement par la nécessité de composer les chargements

22- La construction des thermes du Port de la Porte d'Orée, comprenant de la pouzzolane dans ses fondations (*infra* note 16), pourrait également relever de ce même phénomène, surtout si l'on considère avec d'autres (Ardisson 2011c, 324 ; Lemoine 2012) que l'édification de ce monument ne remonte pas à la deuxième moitié du 1<sup>er</sup> siècle comme présumé (Gébara, Béraud 1990, 9), mais à la deuxième partie du siècle précédent.

23- S'ajoute à cela le fait que le tuf volcanique employé simplement comme agrégat destiné à alléger la charge de la voûte dans le cas des thermes de Villeneuve, apparaît d'autant un luxe que des tufs calcaires à très faible densité existent non loin de Fréjus (aux Arcs-sur-Argens par exemple).

24- Sur cette question des propriétés d'Empire dans le cas de matériaux de construction diffusés à grande échelle, voir notamment Andreau 2010, 103-141.



des bateaux en retour de transports annonaires, en servant ainsi de lest utile comme on l'envisage généralement pour le commerce maritime des terres cuites architecturales par exemple (Rico 1995, 52-53 ; Thébert 2000).

La « translation » de cette problématique vers la partie occidentale de la Méditerranée, permet d'aller dans le sens d'une reconsidération du trafic commercial de Pouzzoles, qui fut longtemps considéré comme essentiellement tourné vers l'Orient et l'Égypte en particulier. Plusieurs indices (Camodeca 1992, 144-145), et notamment les archives des *Sulpicci* (Cébeillac-Gervasoni 2000), montrent pourtant

l'importance des échanges vers l'Occident (Afrique et Bétique en particulier)<sup>25</sup>. Dans ce contexte de courants commerciaux à l'échelle de la Méditerranée depuis Pouzzoles, la diffusion et le commerce du tuf volcanique des Champs Phlégréens, bien que très rarement évoqués dans les considérations sur le commerce et les échanges<sup>26</sup>, peut apporter beaucoup à ce dossier.

25- C'est en particulier les échanges dans le sens Bétique/Pouzzoles qui sont mis en avant, en particulier par l'exportation massive de *garum* (Cébeillac-Gervasoni 2000, 109-110).

26- En effet, il est généralement fait état de l'exploitation des matières premières à Pouzzoles pour la production de fer et de plomb, mais aussi la fabrication de pigments, de produits cosmétiques ou encore de céramiques (Camodeca 199, 34-41).

## Bibliographie

- Adam 1984** : ADAM (J.-P.) – *La construction romaine. Matériaux et technique*. Paris, Picard, 1984, 368 p.
- Andreau 2010** : ANDREAU (J.) – *L'économie du monde romain*. Paris, Ellipses, 2010, 281 p.
- Ardisson 2011a** : ARDISSON (S.) – La brique trapèze : un matériau de construction inédit à Cimiez et à Fréjus. *Revue du Centre Archéologique du Var 2010*, 2011, pp. 77-81.
- Ardisson 2011b** : ARDISSON (S.) – Le complexe des thermes de Villeneuve. In : EXCOFFON (P.) (dir.), *Ville et campagne de Fréjus romaine. La fouille préventive de « Villa Romana »*. Errance, Centre Camille Jullian, 2011, 96-107 (Bibliothèque d'archéologie méditerranéenne et africaine, 8).
- Ardisson 2011c** : ARDISSON (S.) – La place des thermes dans la ville, les exemples de Fréjus et Cimiez. In : PASQUALINI (M.) (textes réunis par), *Fréjus romaine. La ville et son territoire. Agglomérations de Narbonnaise, des Alpes-Maritimes et de Cisalpine à travers la recherche archéologique*. Antibes, APDCA, 2011, pp. 317-330.
- Boyce et al. 2004** : BOYCE (J. I.), REINHARDT (E. G.), RABAN (A.), POZZA (M. R.) – Marine Magnetic Survey of a Submerged Roman Harbour, Caesarea Maritima, Israel. *International Journal of Nautical Archaeology*, 33, 2004, pp. 122-136.
- Brandon et al. 2005** : BRANDON (Chr.), HOHLFELDER (R. L.), OLESON (J. P.), STERN (Ch.) – The Roman Maritime Concrete Study (ROMACONS) : the harbor of Chersonios in Crete and its Italian connection. Étude du ciment hydraulique romain : le port de Chersonios (Crète). *Méditerranée*, 1.2, 2005, pp. 25-29.
- Camodeca 1992** : CAMODECA (G.) – Per una storia economica e sociale di puteoli fra Augusto e i Severi. In : GIGANTE (M.) (éd.), *Civiltà dei Campi Flegrei*. Naples, 1992, pp. 139-172.
- Camodeca 1993** : CAMODECA (G.) – La società e le attività produttive. In : ZEVI (F.), *Puteoli*. Naples, Banco di Napoli, vol. I, 1993, pp. 31-47.
- Cavero et al. 2010** : CAVERO (J.), DRUEZ (M.), GÜNTHER-MARTIN (H.), JÉZÉGOU (M.-P.), MATHÉ (V.), SANCHEZ (C.), STORCH (K.) – Les ports antiques de Narbonne : approche méthodologique et premiers résultats. In : HUGOT (L.), TRANOY (L.), *Les structures portuaires de l'Arc atlantique dans l'Antiquité*. 2010, pp. 121-147 (Supplément à *Aquitania*, 18).
- Cébeillac-Gervasoni 2000** : CÉBEILLAC-GERVASONI (M.) – Les enseignements fournis par les archives des *Sulpicci* pour une meilleure connaissance de certaines couches de la société de Puteoli. *Cahiers du Centre Gustave Glotz*, 11, 2000, pp. 107-111.
- Ciampoltrini, Rendini 2004** : CIAMPOLTRINI (G.), RENDINI (P.) – Il sistema portuale dell'ager *Cosanus* e delle isole del Giglio e di Giannutri. In : ZEVI (A. G.), TURCHETTI (R.) (dir.) – *Le strutture dei portici degli approdi antichi*, ANSER, 2004, pp. 127-150.
- Coutelas 2009** : COUTELAS (A.) (dir.) – *Le Mortier de chaux*. Paris, Errance, 2009, 159 p.
- Davidovits 1994** : DAVIDOVITS (F.) – À la découverte du *carbunculus*. *Voces*, 5, 1994, pp. 33-46.
- Davidovits 2007** : DAVIDOVITS (F.) – *Géologie et construction dans le De Architectura de Vitruve*. Thèse de III<sup>e</sup> cycle, sous la direction de L. Callebat, Université de Basse-Normandie, 2007, dactylographié, 501 p.
- Excoffon 2010** : EXCOFFON (P.) – Extraction et mise en œuvre des blocs de grand appareil. In : PASQUALINI (M.), THERNOT (R.), GARCIA (H.), *L'amphithéâtre de Fréjus, Archéologie et architecture, relecture d'un monument*. Bordeaux, Ausonius Éditions, 2010, pp. 78-88 (Mémoires, 22).
- Excoffon 2011** : EXCOFFON (P.) (dir.) – *Ville et campagne de Fréjus romaine. La fouille préventive de « Villa Romana »*. Errance/Centre Camille Jullian, 2011, 306 p. (Bibliothèque d'archéologie méditerranéenne et africaine, 8).
- Excoffon à paraître** : EXCOFFON (P.) – Le vivier antique du « Kipling », rue Aristide Briand à Fréjus. Premières approches et données topographiques. Presse Universitaire de Provence, à paraître.
- Excoffon, Ardisson 2007** : EXCOFFON (P.), ARDISSON (S.) – *Rapport de diagnostic archéologique des Thermes de Villeneuve*. Fréjus, 2008.

- Excoffon, Devillers 2006** : EXCOFFON (P.), DEVILLERS (B.), BONNET (St.) (coll.), BOUBY (L.) (coll.) – Le diagnostic archéologique du Théâtre d'Agglomération (Fréjus, Var) : nouvelles données géoarchéologiques sur le littoral antique. *Archéosciences*, 30, 2006, pp. 205-221.
- Excoffon et al. 2010** : EXCOFFON (P.), BONNET (St.), DEVILLERS (B.), BERGER (J.-F.) – Évolution du trait de côte aux abords de Fréjus, de sa fondation jusqu'au II<sup>e</sup> s. apr. J.-C., du quartier de Villeneuve à la butte Saint Antoine. In : DELESTRE (X.), MARCHESI (H.) (dir.), *Archéologie des rivages méditerranéens : 50 ans de recherches, actes du Colloque d'Arles, 28-30 octobre 2009*. Paris, Errance, 2010, pp. 47-53.
- Falguera, Bernard, Jézégou 2003** : FALGUERA (J.-M.), BERNARD (H.), JÉZÉGOU (M.-P.) – Données d'archéologie sous-marine récentes à Port la Nautique : pour une approche du système portuaire narbonnais. In : BELANGA (G. P.), BALLESTER (J. P.) (coord.), *Puertos Fluviales Antiguos : Ciudad, Desarrollo e Infraestructuras*. Actas IV jornadas internacionales de arqueología subacuática, 2003, pp. 203-211.
- Faujas de Saint-Fond 1778** : FAUJAS DE SAINT-FOND – *Recherche sur la pouzzolane sur la théorie de la chaux et sur la cause de la dureté du mortier*. 1778, 125 p.
- Felici 1998** : FELICI (E.) – La ricerca sui porti romani in cementizio metodi e obiettivi. In : VOLPE (G.) (dir.), *Archeologia subacquea, come opera l'archeologo sott'acqua. Storie dalle acque*. Florence, 1998, pp. 275-340.
- Frizot 1975** : FRIZOT (M.) – *Mortiers et enduits peints antiques. Étude technique et archéologique*. Centre de recherches sur les techniques gréco-romaines, Université de Dijon, 1975, 351 p. et 26 pl. h. t.
- Gébara, Morhange 2010** : GÉBARA (C.), MORHANGE (Chr.) – *Fréjus (Forum Iulii) : Le port antique*. Portsmouth, Rhode Island, 2010, 152 p. (Supplément au Journal of Roman Archaeology, 77).
- Georges et al. 2010** : GEORGES (K.), MICHEL (J.-M.), SIVAN (O.), DUFRAIGNE (J.-J.), EXCOFFON (P.) – Le port antique de *Forum Iulii* (Fréjus, Var) : découverte d'une jetée à l'extrémité est du quai méridional. *Archéopages*, 30, 2010, pp. 44-53.
- GINOUVES, MARTIN 1985** : GINOUVES (R.), MARTIN (R.) – *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. I. Matériaux techniques de construction, techniques et formes du décor*. Rome, 1985, 307 p., 65 pl. (Collection de l'École Française de Rome, 84).
- Goudineau, Brentchaloff 2009** : GOUDINEAU (Ch.), BRENTCHALOFF (D.) – *Le camp de la flotte d'Agrippa à Fréjus, Les fouilles du quartier de Villeneuve, 1979-1981*. Paris, Errance, 2009, 591 p.
- Hesnard 2004** : HESNARD (A.) – Vitruve, *De Architectura*, V, 12 et le port de Marseille. In : ZEVI (A. G.), TURCHETTI (R.) (dir.), *Le strutture dei porti degli approdi antichi : II seminario. ANSER Anciennes routes maritimes méditerranéennes : Roma-Ostia, 16-17 aprile 2004*. 2004, pp. 175-203.
- Hohlfelder 2000** : HOHLFELDER (R. L.) – Beyond coincidence ? Marcus Agrippa and King Herod's harbor. *Journal of Near Eastern Studies*, 59, 2000, pp. 241-253.
- Lamprecht 1996** : LAMPRECHT (H.-O.) – *Opus Caementitium. Bautechnik der Römer*. Verlag bau+technik, Düsseldorf, 1996, 264 p.
- Lemoine 2012** : LEMOINE (Y.), SATRE (S.) (coll.) – *Nouvel Espérandieu, Fréjus et son territoire, IV, Recueil général des sculptures sur pierre de la Gaule*. Paris, 2012 (sous la direction de Henri Lavagne).
- Lugli 1957** : LUGLI (G.) – *La tecnica edilizia Romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*. Rome, 1957.
- Morelli, Paroli, Verduchi 2005** : MORELLI (C.), PAROLI (L.), VERDUCHI (P.-A.) – Summary of other recent fieldwork at Portus. In : KEAY (S.), MILLETT (M.), PAROLI (L.), STRUTT (K.) (dir.), *Portus. An archaeological survey of the port of imperial Roma*. Rome, 2005, pp. 241-268 (Archaeological Monographs of British School at Rome, 15).
- Jackson, Marra 2010** : JACKSON (M.), MARRA (F.) – Roman Stone Masonry : Volcanic foundations of the Ancient City. *American Journal of archaeology*, 10.3, 2006, pp. 403-436.
- Jackson et al. 2010** : JACKSON (M.), DEOCAMPO (D.), MARRA (F.), SCHEETZ (B.) – Mid-Pleistocene Pozzolan volcanic Ash in Ancient Roman Concretes. *Geoarchaeology : An International Journal*, 25.1, 2010, pp. 36-74.
- Oleson, Branton 1992** : OLESON (J. P.), BRANTON (G.) – The technology of King Herod's harbour. In : VANN (R. L.), *Caesarea Papers. Straton's Tower, Herod's Harbour, and Roman and Byzantine Caesarea*. 1992, pp. 49-67 (Supplément au Journal of Roman Archaeology, 5).
- Oleson et al. 2004** : OLESON (J. P.), BRANDON (C.), CRAMER (S. M.), CUCITORE (R.), GOTTI (E.), HOHLFELDER (R. L.) – The ROMACONS Project : a Contribution to the Historical and Engineering Analysis of Hydraulic Concrete in Roman Maritime Structures. *International Journal of Nautical Archaeology*, 33 (2), 2004, pp. 199-229.
- Oleson et al. 2006** : OLESON (J. P.), BOTTALICO (L.), BRANDON (C.), CUCITORE (R.), GOTTI (E.), HOHLFELDER (R.L.) – Reproducing a roman maritime structure with Vitruvian pozzolan concrete. *Journal of Roman Archaeology*, 19 (1), 2006, pp. 29-52.
- Orlandos 1966** : ORLANDOS (A.) – *Les matériaux de construction et la technique architecturale des anciens grecs. Première partie*. Athènes, 1966, 162 p. (École Française d'Athènes, Fasc. XVI).
- Rico 1995** : RICO (Chr.) – La diffusion par mer des matériaux de construction en terre cuite : un aspect mal connu du commerce antique en Méditerranée occidentale. *Mélanges de l'École Française de Rome, Antiquités*, 107/2, 1995, pp. 767-800.

- Rivet et al. 2000** : RIVET (L.), BRENTCHALOFF (D.), ROUCOLE (S.), SAULNIER (S.) – *Atlas topographique des villes de Gaule méridionale*, 2. *Fréjus*. Montpellier, 2000, 509 p. (Supplément à la RAN, 32).
- Stanislao et al. 2011** : STANISLAO (C.), RISPOLI (C.), VOLA (G.), CAPPELLETTI (P.), MORRA (V.), GENARRO (M. de) – Contribution to the knowledge of ancient Roman seawater concretes : Phlegran pozzolan adopted in the construction of the harbour at Soli-Pompeipolis (Mersin, Turkey). *Periodico di Mineralogia*, 80, 3, 2011, pp. 471-488.
- Texier 1849** : TEXIER (Ch.) – Mémoires sur la ville et le port de Fréjus. *Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres de l'Institut National de France*. Paris, 2<sup>e</sup> série, II, 1849, pp. 169-277, 6 pl. h. t.
- Tchernia 2011** : TCHERNIA (A.) – *Les romains et le commerce*. Naples, Centre Jean Bérard/Centre Camille Jullian, 2011, 439 p. (Études, 8).
- Thébert 2000** : THÉBERT (Y.) – Transport à grande distance et magasinage de briques dans l'Empire romain. Quelques remarques sur les relations entre production et consommation. In : BOUCHERON (P.), BROISE (H.), THÉBERT (Y.), *La brique antique et médiévale. Production et commercialisation d'un matériau*. 2000, 341-356 (Cahiers de l'École Française de Rome, 272).
- Vicat 1856** : VICAT (L.-J.) – *Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues à pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux, suivi des moyens d'en apprécier la durée dans les constructions à la mer*. Grenoble, 1956.
- Votruba 2007** : VOTRUBA (G. F.) – Imported Building Materials of Sebastos Harbour, Israel. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 36 (2), 2007, pp. 325-335.
- Vitruve** : *De Architectura*, Livre II. Callebat (L.) (édit.), commenté par Gros (P.). Paris, Les Belles Lettres/CUF, 1998, 190 p.
- Zevi 1993** : ZEVI (F.) – *Puteoli*. Naples, Banco di Napoli, 2 vol., 1993.
- Zevi 1994** : ZEVI (F.) – Le grandi navi mercantili, Puteoli et Roma. In : *Le ravitaillement en blé de Rome et des centres urbains des débuts de la République jusqu'au Haut-Empire*. Centre Jean Bérard/École Française de Rome, 1994, pp. 61-72.







