

Carbunculus, extrait de la thèse « Géologie et construction dans le *De architectura* de Vitruve » (2007)

Frédéric Davidovits *Ph. D.*

11 août 2020

DOI registered at Research Gate as Preprint: [10.13140/RG.2.2.26618.72644](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26618.72644)

1 Etymologie de *carbunculus*

CARBUNCULUS (\bar{i} , m) « sable volcanique, charbon (maladie), escarboucle » est le diminutif de *carbō*, $\bar{o}nis$ (m) « charbon de bois, produit de la combustion ». *Carbunculus* « petit charbon » est à l'origine du verbe *carbunculō* « souffrir de la maladie du charbon » et les dérivés de ce verbe, comme *carbunculatio*, $\bar{o}nis$ (f) « atteinte portée par la gelée ou la chaleur aux bourgeons naissants des arbres »^I. On rapproche *carbo* avec le gothique *hauri* « charbon », le vieil islandais *hyrr* « feu », le lituanien *kūrti* « chauffer », le vieil havestique *herd* « foyer », et avec une racine *ker- (cf. *crēmō*, $\bar{a}s$, $\bar{a}re$ « brûler, détruire par le feu »). Mais le rapprochement est lointain et le \bar{b} n'est pas expliqué. L'équivalent grec de *carbunculus*, $\acute{\alpha}\nu\theta\rho\alpha\acute{\xi}$ (*anthrax*) possède à peu près les mêmes sens : « charbon de bois », « houille », « escarboucle, grenat » et enfin « furoncle » dans les traités de médecine. Le suffixe $\bar{c}ulus$ a une valeur différenciatrice qui peut exprimer la notion de diminution^{II} (cf. le suffixe français $\bar{e}t$ ou $\bar{e}tte$).

2 Emploi et sens de *carbunculus* avant Vitruve

La mention la plus ancienne de *carbunculus* est chez Plaute (*Most.* 986) et l'occurrence la plus récente est usitée par Isidore de Séville (*Orig.* 16, 14, 1)^{III}. On

I. Ernout, Meillet 1985, p. 99, *s. v.* Carbo.

II. Leumann 1963, pp. 216-217; pour M. Fruyt, il peut avoir une qualité métaphorique ou connotative : Fruyt 1989.

III. *T. L. L.*, III, col. 432-433, l. 27-70. La liste des auteurs que nous indiquons est indicative. Pour plus de détails, nous reportons le lecteur au *Thesaurus*.

trouve cinq acceptions : « charbon ardent, braise » (Plaute, « Rhétorique à Herennius », Apulée, saint Jérôme, Isidore de Séville etc.), « sable » (Varron, Columelle, Pline l’Ancien, Gargile), « tuf, pierre » (« Liber Coloniarius »), « escarboucle, grenat » (Pétrone, Pline le Naturaliste, saint Jérôme, la Vulgate, saint Ambroise, saint Augustin) et « maladie (des hommes, des animaux, des plantes) » (Largius, Celse, Gargile, Pline l’Ancien, Columelle).

3 *Carbunculus* chez Vitruve

Carbunculus « tuf volcanique, sable volcanique, carboncle » est usité quatre fois : 2, 4, 1 ; 2, 6, 6 (bis) ; 8, 1, 2^{IV}. — *harena carbunculus* « tuf volcanique peu dur » : 8, 1, 2.

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

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

Une première définition du *carbunculus* peut être donnée à partir du livre VIII. En 8, 1, 2, évoquant la qualité des eaux souterraines selon la nature d’un site, notre architecte énumère toute une série de roches : en fonction des particularités de celles-ci, les eaux peuvent avoir bon ou mauvais goût. Pour les terrains éruptifs, il écrit :

« En outre dans l’argile sableuse et dans l’arène rougeâtre (*harena carbunculo*) les veines sont mieux assurées et plus constantes ; et de plus, elles ont bon goût. Dans la roche rouge (*Rubro saxo*) elles sont à la fois abondantes et bonnes, quand elles ne se perdent pas en s’échappant par des fissures. »^V (TRADUCTION L. CALLEBAT)

Saxum rubrum « roche rouge » fait référence en partie à 2, 7, 1 et 5 où Vitruve décrit les *Rubrae lapidicinae* à savoir les carrières de tuf volcanique rouge sombre à grain relativement fin de Saxa Rubra au nord de Rome. Pour le carboncle, l’architecte associe deux noms, *harena* et *carbunculus* en une expression désignative à deux termes. La proximité dans le texte de la lexie complexe *saxum rubrum* « tuf volcanique rougeâtre de Saxa Rubra » indique que l’*harena carbunculus* est aussi une roche de cette nature. Il présente ainsi un tuf volcanique dont le grain est proche de la dimension d’un sable et dont la qualité peu indurée est manifeste : il peut se déliter pour donner une arène. Le tuf *carbunculus* est cité par le *Liber*

IV. Callebat, Fleury 1995, p. 33.

V. Vit. 8, 1, 2 : [...] *Item sabulone masculo harenaque carbunculo certiores et stabiliores sunt copiae ; eaeque sunt bono sapore. Rubro saxo et bonae et copiosae, si non per interuenia dilabuntur et liquescant.* [...]. De même, Plin. *Nat.*, 31, 48 et Pallad. 9, 8.

Coloniarum (I, p. 243, 11), lequel mentionne qu'il est une pierre avec laquelle on fait des bornes pour les frontières et les champs (*in saltibus scorofiones et carbunculus, id est scorofion molis petrarum constructi*)^{VI}. L'élément déterminant pour la nature volcanique du tuf est donné par Columelle (3, 11, 7), lequel procure des conseils pour la culture de la vigne :

« Quel cultivateur en effet, même médiocre, ignorerait que même le tuf le plus dur ou la roche charbonneuse (*carbunculus*), une fois qu'ils ont été concassés et ramenés à la surface, sous l'effet des tempêtes et du gel non moins que des chaleurs estivales, deviennent friables et s'ameublissent, que, l'été, ils rafraîchissent merveilleusement les racines des vignes et retiennent le suc — phénomènes très favorables à l'alimentation de l'arbuste ? »^{VII} (TRAD. J. C. DUMONT.)

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

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

VI. *Lib. Col.* I p. 243, 11 ; de même, 227, 16 ; 228, 6 ; II p. 252, 21 ; 259, 26.

VII. *Quis enim uel mediocris agricola nesciat etiam durissimum tufum uel carbunculum, simulatque sit confractus et in summum regestus, tempestatibus et gelu nec minus aestiuis putrescere caloribus ac resoluui; eumque pulcherrime radices uitium per aestatem refrigerare, succumque retinere - quae res alendo surculo sunt accommodatissimae ?*

VIII. Trad. J. André.

IX. Palladius, *De l'agriculture*, édit. Saboureux de la Bonnetterie, Collection Nizard, Paris, 1851.

X. Sur les autres textes agronomiques : Varron *Rust.* 1, 9, 2 ; Pline *Nat.* 17, 29. Sur le problème

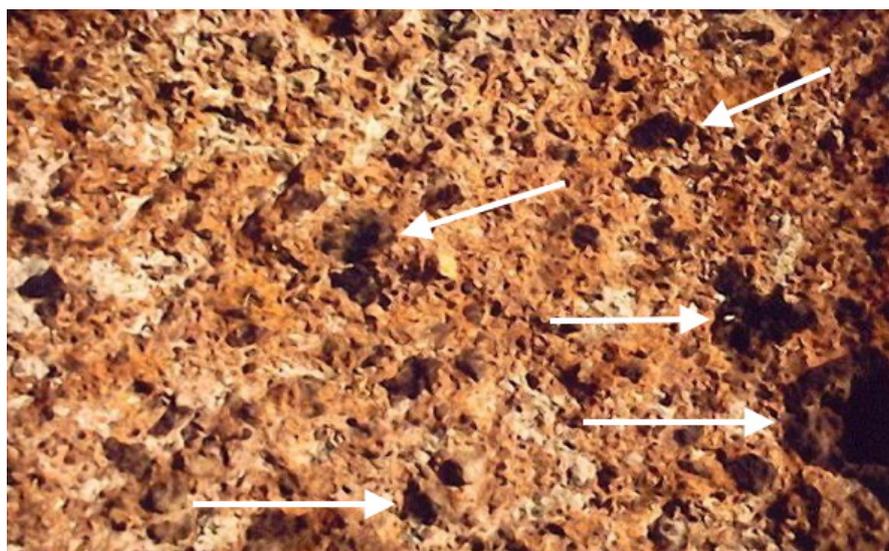


FIGURE 1 – tuf volcanique de Norchia (NE de Tarquinia) à inclusion de particules noires (octobre 95) qui est la roche mère de la figure 2.

parmi les « pouzzolanes », et non pas dans les grès (*sandstone*), comme l'affirmait de façon erronée C. D. Curtis^{XI}.

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

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

Dans la littérature archéologique italienne, on convient que le *carbunculus* est assimilé au *nenfro* d'Etrurie : on définit celui-ci comme un tuf gréseux solide.

de ce dernier passage plinien, où nous préférons *macra* à la correction de J. André : André 1961 ; Pline XVII, note 1, p. 127 ; Columelle III, note 14, pp. 91-92 .

XI. Cf. Guillaume 1877, p. 395 ; Curtis 1913.



FIGURE 2 – terrain agricole dont le sol est retourné : ce sol est de la même couleur que le tuf volcanique sous-jacent (octobre 95) de la figure 1.

Pour l'archéologue G. Lugli, le *nenfro*, de couleur brune, doit être identifié au *carbunculus*. Il est tendre quand on le taille ou on l'extrait, et c'est pourquoi pour un usage édilitaire, on doit le faire vieillir pendant un an. Ainsi, il durcit lorsqu'on l'expose aux intempéries, comme beaucoup de tufs légers. On le rapproche du carboncle parce qu'il contient des noyaux de carbone noir : d'où le nom latin de *carbunculus* « petit charbon » ou « petite braise »^{XII}.

En effet, les caractéristiques du *nenfro*, décrits par G. Lugli correspondent à un tuf volcanique qu'on trouve à Norchia, lieu réputé pour sa nécropole étrusque sculptée dans les falaises à l'est de Tarquinia (Fig. 1-2). Il est brun-rouge et possède des particules noires. Il dispose de propriétés de délitement qu'on attribue au *carbunculus* car, s'il reste cohérent en tant que roche mère, il se désagrège en surface pour devenir un sol de culture, dont la couleur ne distingue pas du substratum. L'appellation de *nenfro*, voire de *peperino*, usitée par les carriers locaux et les archéologues, n'apporte en elle-même aucune information sur la composition de ces pierres. En fait, on précisera que le *nenfro* et le *peperino* entrent dans la catégorie géologique que A. Mottana, R. Crespi, et G. Liborio nomment « tuf pépérin » (*tufo peperino*). Celui-ci est une roche pyroclastique. Il se compose d'une prédominance de cristaux noirs d'augite et de biotite, avec des feldspaths clairsemés et d'abondantes leucites ; ces cristaux sont associés à des lapilli de composition variée et à des petits cailloux calcaires, le tout pouvant être faiblement lié avec un ciment autigène (zéolithes). L'aspect extérieur est le suivant : une couleur grise ou brune, mouchetée de noir ; la texture clastique peut être parfaitement cimentée,

XII. Lugli 1957, p. 397-398 ; Ginouvès, Martin 1985, p. 43 ; Giuliani 1990, p. 165 ; Vitruve II, p. 99, n. 2.

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

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

Le carboncle doit être identifié sous la forme d'un tuf volcanique, vraisemblablement d'un « tuf pépérin », d'une ignimbrite trachytique ou téphrito-leucitique^{XIV}, lesquels peuvent se déliter pour donner une arène. Vitruve dépeint effectivement sous ce dernier aspect le *carbunculus* avec les autres *harenae fossiciae*, qu'utilise le maçon romain en 2, 4, 1 : « Les différents types de sable (volcanique) de carrières sont les suivants : le noir, le gris blanchâtre, le rouge, et le carboncle (*Genera autem harenae fossiciae sunt haec : nigra, cana, rubra, carbunculus.*) ». Comme les autres *harenae fossiciae*, le carboncle est choisi selon les mêmes critères :

« Parmi ces sables, le meilleur est celui qui crisse quand on le frotte dans la main ; celui, en revanche, qui est terreux n'accrochera pas. Si l'on jette par ailleurs du sable sur une toile blanche que l'on secoue ensuite pour le chasser, et si ce sable ne la tache pas et n'y laisse pas de terre, il sera d'un bon usage. » (TRAD. L. CALLEBAT)

Le maçon choisit du sable propre non mêlé naturellement à de la terre ou à de l'argile (cf. *Harena*). Sous ce sens de *carbunculus* « sable », se retrouvent trois occurrences usitées chez Vitruve et cinq autres auteurs postérieurs comme Pline (*Nat.* 17, 29 ; 17, 147 ; 31, 48) et Gargile (*Pom.* 4, 5).

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

XIV. L'ignimbrite est une « roche formée par l'accumulation de débris de laves soudés à chaud, à aspect de ponce ou de lave un peu fluidale. Ces formations proviennent d'éruptions explosives catastrophiques (nuées ardentes) et peuvent couvrir des surfaces importantes (20 000 km² ou plus) » : <http://www.brgm.fr/volcan/glossaire.htm> .

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

Pour trouver une description du *carbunculus* en tant que sable, il est utile d'examiner le célèbre sixième chapitre du livre II. C'est dans ce paragraphe (2, 6, 6), que Vitruve décrit les attributs du carboncle, comme matériau volcanique. Ce texte est réputé pour les difficultés de traduction et de commentaire qu'il suscite :

« Dans les lieux où les montagnes n'ont pas un sol terreux (*non sunt terrosi montes*), mais de type rocheux (*genere materiae*), la violence du feu brûle ces roches quand elle traverse leurs veines ; elle consume les parties amorphes et tendres, mais laisse intactes les parties dures (quod est molle et tenerum, exurit, quod autem asperum relinquit). C'est ainsi que si, en Campanie, la terre consumée (*exusta terra*) par le feu donne de la cendre (*cinis*), en Étrurie c'est le carboncle (*carbunculus*) que donne la roche portée à haute température (*excocta materia*). Ces deux matériaux sont excellents pour les maçonneries, mais les propriétés du second conviennent particulièrement aux constructions sur la terre ferme, celles du premier aux digues de mer. Ce matériau est par nature plus tendre que le tuf (*mollior quam tofus*), de plus grande cohésion que la terre (*solidior quam terra*), et sa calcination par les vapeurs venues des profondeurs produit, en certains endroits, le type de sable que nous appelons carboncle (*carbunculus*). »^{XV} (TRAD. L. CALLEBAT)

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

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

l'eau, mais au feu (volcanique) souterrain, et c'est de cette seule altération que parle notre auteur dans ce sixième chapitre du livre II.

Ces matériaux cuits naturellement ont des propriétés fascinantes pour l'ingénieur et l'architecte qu'est Vitruve. Leur utilisation est illustrée en 2, 6, 3, où le tuf volcanique (*tofus*) et la pouzzolane (*pulvis*) sont mélangés à la chaux vive pour constituer un béton hydraulique qui fait prise sous l'eau de mer. Les trois ingrédients, d'après la chimie vitruvienne, sont des corps « atomiquement » modifiés et incomplets.

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

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

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

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

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

alio genere lapidis).

En fait, dans le sixième chapitre du livre II, l'image du chauffour, qui explique les activités éruptives, apporte, avec elle le champ sémantique de la coction de la chaux. Si pour notre architecte, ces phénomènes des profondeurs terrestres sont de même nature que ceux qu'on trouve dans un four, il est normal qu'il emploie le vocabulaire technique de la chaux pour dépeindre le volcanisme. Ainsi, sous un sens figuré, *excoquere* signifie « calciner par un feu volcanique ». Le volcanisme décrit par Vitruve ne se caractérise pas par des éruptions, mais il se manifeste indirectement, au moyen des vapeurs soufrées souterraines — lesquelles fournissent une chaleur pour une sudation (2, 6, 1) — et des sources d'eau bouillante localisées en Etrurie.

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

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

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

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

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

Les effets du feu souterrain sur la *materia excocta* « roche calcinée à haute température » sont décrits dans deux passages. D'abord en 2, 6, 6 :

« Dans les lieux où les montagnes n’ont pas un sol terreux (non sunt terrosi montes), mais de type rocheux (genere materiae), la violence du feu brûle ces roches quand elle traverse leurs veines ; elle consume les parties amorphes et tendres, mais laisse intactes les parties dures (quod est molle et tenerum, exurit, quod autem asperum relinquit) ». (TRAD. L. CALLEBAT)

Ce passage résume à lui seul la théorie volcanique vitruvienne. Le second texte où la *materia* est décrite est en 2, 6, 5 :

« Ce ne sont pas les mêmes types de terres ni les mêmes types de pierres qui se forment dans les différents lieux et les différentes régions : certains sols sont de nature terreuse d’autres alluvionnaires et aussi graveleuses, mais dans d’autres lieux il y en a de nature sablonneuse et également rocheuse (*materia*), et les profils de sol sont de types tout à fait dissemblables et variés en fonction de la diversité des régions (*Omnibus locis et regionibus non eadem genera terrae nec lapides nascuntur, sed nonnulla sunt terrena, alia sabulosa itemque glareosa, aliis locis harenosa, non minus materia, et omnino dissimili disparique genere in regionum uarietatibus qualitates insunt in terra*). » (IDEM)

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

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

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

XVII. *Vitruve II*, p. 98, n. 1.

induré, c'est-à-dire qu'il est solide. Il se compose de plagioclase, de feldspath potassique, de pyroxène, d'une matrice vitreuse et de montmorillonite. Il fut échantillonné à des fins d'analyse^{XVIII}. Durant la visite, qui fut instructive sur la nature de la *materia*, nous avons vu une curiosité pour les spécialistes des matériaux volcaniques (Fig. 3) : alors qu'à quelques dizaines de mètres, on extrayait du tuf, les géologues nous montrèrent un endroit inexploité de la carrière. Et pour cause : la pierre avait la même composition que la roche bien indurée et elle contenait des cristaux de dimensions identiques, mais elle se délitait en sable, quand on y passait l'ongle ou le doigt. Ils nous expliquèrent qu'au cours du refroidissement de la couche volcanique, qui doit se faire lentement pour que la roche durcisse, un brusque dégazage dans cette couche de tuf laissa des colonnes par lesquelles les gaz s'échappèrent : la pierre n'a pas eu le temps d'avoir une bonne cimentation en se refroidissant. Cela montrait le degré de cohésion entre les deux types de pierres : l'une s'est refroidie doucement pour acquérir une certaine cohérence, tandis que le dégazage faisait de l'autre une roche tendre et peu indurée. D'après les géologues qui nous accompagnaient sur le site, la différence d'induration entre deux roches de composition semblable est un phénomène courant.

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

3.2.5 Relation entre *carbunculus* et *materia* : les ignimbrites, le gaz pipe et les fumerolles fossiles

Les gaz pipes sont des phénomènes caractéristiques des coulées de dépôts pyroclastiques et des ignimbrites. Les explosions pyroclastiques, dont font partie les nuées ardentes — comme celles du Vésuve en 79 de notre ère qui détruisirent Pompéi et Herculanium —, sont les éruptions volcaniques les plus dangereuses. Les nuées ardentes sont un grand volume de gaz brûlants à très forte pression transportant, comme suite à la violente explosion d'un volcan, des masses considérables de débris de lave (des cendres aux blocs en passant par les scories) et se déplaçant à grande vitesse (100 km/h et plus). Juste après une explosion, on constate l'expansion rapide d'un magma qui se désintègre lors d'un dégazage. Sur la trajectoire des coulées pyroclastiques, on observe l'accumulation des débris volcaniques éjectés (projections), et des éléments chauds (fragments de verres, de cristaux ou de roches). Le lent refroidissement et le durcissement de ces éléments donnent naissance aux pyroclastes, qui sont les roches ignées les plus com-

XVIII. Gimeno, Marini 1995, p. 14.

XIX. Je remercie Bernard Manigaut, ancien géologue du BRGM et Gilbert Crevola, maître de conférences à l'université de Bordeaux 3, pour m'avoir donné les explications sur les gaz pipes et les fumerolles fossiles, ainsi que les références bibliographiques : Walker 1971 ; Sheridan 1979 ; Cas, Wright 1987, pp. 190-193. Je remercie aussi les géologues du Geocistem (P. Rocher, S. Tocco, C. Marini, et D. Gimeno) qui nous ont fait découvrir ce phénomène à Paringianu.



FIGURE 3 – Photomontage de reconstitution du gas pipe de Paringianu : d'après Bertigni, Sabraga 1986.



FIGURE 4 – Gas-pipes dans un ignimbrite (type C) rougeâtre à scories noires près de Fosso delle Ferriere dans la zone volcanique de Vico, Latium (Bertignini, Sbraga 1986).

munes. Parmi les roches pyroclastiques, il y a les ignimbrites, qui sont le produit de l'amoncellement de ces débris éjectés. Le dégazage rapide de l'ignimbrite amoindrit sa cohésion. Il se constitue dans des couches ignimbritiques épaisses des conduits d'échappement du gaz ou conduits de fluidisation. Ceux-ci font généralement jusqu'à environ 50 centimètres de longueur et quelques centimètres en largeur, mais le plus souvent, ils mesurent seulement quelques centimètres de long et encore moins en largeur. Il existe des gaz pipes supérieurs à deux mètres de long. En coupe, ils peuvent avoir des formes tout à fait irrégulières qui rappellent des cosses. Les colonnes sont plus communes vers les parties hautes des unités d'écoulement ; cependant, on peut les trouver à la base de la couche d'ignimbrite^{XX}. Ce phénomène se rencontre un peu partout dans le monde et aussi en Etrurie méridionale dans la zone du volcan de Vico (Fig. 4 - 5 et Carte 1-2). La relation entre les gaz pipes avec le texte vitruvien de 2, 6, 5-6 peut à présent se faire. Lorsque les coulées pyroclastiques refroidissent et que du gaz s'en échappe rapidement, au travers des conduits, le tuf ou l'ignimbrite ne durcit pas correctement. À Paringianu, le tuf induré est exploité comme pierre de construction. Non loin de là, le même tuf qui a subi un dégazage rapide va se déliter en arène volcanique : il est peu solide, mais il a plus de cohésion que la terre de surface. Cette constatation correspond exactement à ce qu'écrivait notre auteur : *est autem materiae potestas mollior quam tofus, solidior quam*

XX. Cas, Wright 1987, pp. 191-192.



FIGURE 5 – "Gas pipes" dans un ignimbrite de Real Grande, Argentine, de 4,6 millions d'années; http://sci.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Thumblinks/fumarole_pipes_page.html; copyright Peter Francis.

terra « ce matériau est par nature plus tendre que le tuf, de plus grande cohésion que la terre » Pour le naturaliste qu'est Vitruve, cette différence d'induration entre deux pierres d'apparence identique semblait assez remarquable pour la rapporter et essayer de la dénommer.

De plus, l'existence des gaz pipes au travers d'une couche de tuf a peut-être inspiré Vitruve quand il indique que « la violence du feu (volcanique) brûle ces roches quand elle traverse leurs veines (*uenas*) ». La présence, dans une roche, de conduits fossiles, rappelant les veines ligneuses, peut lui avoir donné l'idée d'utiliser le terme *materia*, qui fait penser à la notion de bois. Ainsi, en 2, 9, 13, les lexèmes *materia* « bois » et *uena* « veine » sont associés dans ce passage, lorsqu'il écrit que les veines du bois de cèdre sont droites (*materies uena directa*). Dans le champ notionnel du bois chez Vitruve, ces termes sont usités et il est normal que, pour des roches volcaniques évoquant peu ou prou ce champ, notre auteur se serve de ces mêmes lexèmes pour décrire un phénomène géologique déroutant pour le lecteur de l'époque augustéenne. L'usage de

materia est révélateur du fait que Vitruve n'a pas su trouver un mot ou une lexie complexe satisfaisante pour désigner les fumerolles fossiles.

Le lien entre *materia* « bois » et *materia*, qu'on devrait traduire ici par la périphrase « tuf volcanique peu induré » existe donc, même si ce lien est assez lointain.

3.2.6 La *materia excocta* (2, 6, 6) : une structure volcanique meuble peu ordinaire alliée à une *ieiunitas* naturelle

Il convient maintenant de faire la synthèse de la nature du carboncle. D'abord, la *materia* en 2, 6, 6, dans un contexte pyroclastique (gaz pipes, etc.), correspond à un tuf meuble ou une ignimbrite peu indurée, lesquels peuvent se déliter en arène exploitable pour la construction. Tout ce paragraphe cumule deux caractéristiques du tuf *carbunculus*. Premièrement, c'est un « type de sol rocheux » (*genere materiae*) dont les « veines » rocheuses (*uenas*) ont subi le feu souterrain. Par ces veines, les vapeurs venues des profondeurs (*qua penitus ab imo uehementia uaporis adusta*) ont calciné à haute température le tuf-matériau (*excocta materia*). Cette description correspond aux gaz pipes. Deuxièmement, la « structure de cette roche » (*materiae potestas*) est d'être moins indurée que le tuf volcanique ordinaire (*mollior quam tofus*), et d'être de plus grande cohésion que la « terre » (*solidior quam terra*), c'est-à-dire le sol issu de l'altération de ce tuf : nous avons vu ce phénomène à Paringianu.

Ainsi, peuvent être réunies dans le même contexte « magmatique » et dans un même champ sémantique, les occurrences de *materia* de 2, 6, 6 et celles de 2, 6, 5. En 2, 6, 5, *materia* peut se traduire par « tuf peu induré » ou « tuf peu lithoïde », pour reprendre la terminologie archéologique italienne, puisqu'il est le seul nom parmi une série d'adjectifs (*terrena* « sols terreux », *sabulosa* « sols alluvionnaires », *glareosa* « terrains graveleux », *harenosa* « terrains sablonneux ») dans une description des roches meubles.

Notre théoricien situe le carboncle en Etrurie, dont il a peut-être vu une variété dotée de gaz-pipes. D'après les caractéristiques dégagées *supra*, c'est une pierre du type tuf pépérin, qui peut se déliter en arène volcanique. Cette dernière propriété est une particularité des tufs et des roches fournissant l'*harena fossicia*. En 2, 4, 1, Vitruve énumère les sables volcaniques pour les mortiers (*Genera autem harenae fossiciae sunt haec*) : il distingue le noir, le gris blanchâtre, le rouge, le carboncle (*nigra, cana, rubra, carbunculus*). Comment peut-il différencier une *harena fossicia* et le *carbunculus*? Il les discrimine de façon chromatique, ce qui n'est pas le cas pour le carboncle, que notre auteur présente par son seul nom. En 2, 6, 6, nulle part n'est indiquée la couleur de cette arène. Le nom même de ce matériau « petit charbon, braise » induit une teinte noire ou rouge, mais ce dernier indice ajoute plus de confusion que de clarté. En fait, il semble que l'élément le plus pertinent pour distinguer le *carbunculus* des autres *harenae fossiciae*, est la mention, en 2, 6, 6, des veines où les vapeurs ou les gaz chauds se frayent un chemin à travers la roche : cette mention fait penser aux gaz pipes dans la roche pyroclastique. Ainsi, la *materia excocta*, comme tuf volcanique peu induré, décrite en 2, 6, 6, coïncide non seulement à une roche pyroclastique contenant des fumerolles fossiles, mais correspond aussi, dans le texte vitruvien, à une pierre que le feu souterrain a cuite

pour en altérer sa structure.

Il est temps de revenir au classement des matériaux évoqué supra. Puisqu'il est *materia excocta*, le carboncle d'Etrurie possède des veines au travers desquelles les vapeurs brûlantes modifient la structure de la roche : les parties tendres disparaissent ou se délitent en créant des pores et des veines. Pour un tuf volcanique, une cuisson très intense le réduit en fine pouzzolane, tandis qu'avec une cuisson moindre, il devient du carboncle, lequel a une cohésion intermédiaire entre une terre et une pierre.

De plus, la cendre et le carboncle auront acquis, par cette cuisson naturelle, une *ieiunitas*, une activation chimique, pour réagir avec la chaux. Même si Vitruve ne mentionne pas explicitement que ces deux matériaux ont une *ieiunitas* naturelle, il écrit avec suffisamment de clarté en 2, 6, 1 et 4, ce qui se passe quand la chaux, le tuf volcanique et la pouzzolane en contact les uns avec les autres, interagissent et durcissent. D'après la théorie vitruvienne du volcanisme, telles sont les conséquences du feu souterrain sur les matières rocheuses, qui seront employées dans la construction (agrégat, moellon, pierre de taille) : les tufs peu indurés fournissent aisément du sable volcanique, ce qui est la preuve qu'ils possèdent une *ieiunitas* adéquate pour réagir avec la chaux.

Avec le rapprochement du phénomène de gaz pipes et de la *materia excocta*, il est possible de dire que le paragraphe 6 du sixième chapitre du livre II correspond à la plus ancienne description des fumerolles fossiles dans un texte antique. Ce texte décrivant un tuf pépérin avec ses colonnes de dégazage peut être une observation personnelle de Vitruve en Etrurie, tout comme on se rend compte que Vitruve a ailleurs (et particulièrement au chapitre 9 du livre II) une connaissance précise et sans doute individuelle des régions proches de l'Adriatique, au nord de l'Italie, où il séjourna vraisemblablement avec les légions césariennes entre 59-58 et en 50 a. C^{XXI}.

3.3 Résultats archéologiques : le *carbunculus* post-vitruvien est un sable volcanique cuit au four

Dans une publication, en nous basant sur le texte de Vitruve 2, 6, 6, nous avons émis l'hypothèse que le *carbunculus* vitruvien était du sable artificiellement cuit à 800 °C, puisque notre auteur écrivait qu'il s'agissait de *materia excocta* et que c'était ce qui distinguait le carboncle des autres sables volcaniques (*harenae fossiciae*)^{XXII}. En réalité, nous avons vu supra que cette supposition n'était pas fondée, puisque *materia excocta* est assurément usitée dans une description de cuisson naturelle. Or les hasards de la recherche scientifique font qu'une hypothèse fautive dans un domaine technique donné acquiert une validation dans un autre, et il le sera montré *infra*.

Dans le cadre du programme GEOCISTEM, nous avons prospecté et échantillonné à Rome et Ostie vingt-deux prélèvements de mortiers anciens allant de la République à l'Empire. Le but était de comparer leurs agrégats avec des échantillons de tufs volcaniques cuits à 800 °C. Les échantillons OST 7 (R et G) sont des mortiers du parement

XXI. Cf. Corso 1983 ; Vitruve II, p. 98, n. 2.

XXII. Davidovits 1994.

de l'intérieur du Capitolum d'Ostie (réfection d'époque trajane en *opus testaceum*). Ils furent prélevés à droite de l'entrée. OST 7 R est un mortier contenant des agrégats lithiques rouges, alors qu'OST 7 G possède des granulats de même nature, mais gris. Leurs charges sont identifiées comme des fragments de tufs volcaniques. L'autre spécimen est OST 3, qui est un morceau du *caementicium* du château d'eau (*castellum*) de l'aqueduc romain (époque claudienne?). Pour l'anecdote, les géologues de Cagliari, Sandro Tocco et Carlo Marini, eurent du mal à extraire les prélèvements du mur, car le béton se révéla être d'une très grande dureté. Ils furent analysés au moyen de la résonance magnétique nucléaire (RMN).

Toujours dans le cadre du programme, on a développé une méthode mettant en œuvre les spectres ^{27}Al -RMN permettant de visualiser les atomes d'aluminium de coordinence (VI), lesquels sont des indicateurs pour repérer si un ajout pouzzolanique a été calciné ou non. Ce procédé a été validé, puisqu'il a détecté la cuite des testae dans les opera signina républicaines (ROM 1) et impériales (ROM 4)^{XXIII}. Pour les mortiers de sables volcaniques, il a été montré qu'à l'époque républicaine, les *harenae fossiciae* n'étaient pas cuites (OST 2, restauration OST 4 r) et qu'à la période impériale, ces sables pouvaient l'avoir été (OST 3, OST 7 g)^{XXIV}.

Dans l'industrie cimentière, on ajoute dans les ciments Portland des zéolithes chauffées à 600 °C. Cette calcination améliore leurs vertus pouzzolaniques et augmente la qualité du ciment. Or, l'analyse des échantillons OST 3 et OST 7G permet de supposer que la pratique de chauffage des agrégats était attestée aux deux premiers siècles *p. C.* D'où peut venir cet usage? Ce procédé résout le problème de conservation du sable volcanique, pour son emploi dans la *structura caementicia*, que mentionne notre auteur en 2, 4, 3 : « Si les sables volcaniques restent trop longtemps inutilisés, une fois extraits, ils se désagrègent sous la brûlure du Soleil, de la Lune ou du gel et deviennent terreux (*Si enim exemptae diutius iacent, ab sole et luna et pruina concoctae resoluuntur et fiunt terrosae.*) ». C'est pourquoi, pour conserver leurs qualités réactives, les maçons romains avaient deux possibilités : soit enfermer les *harenae* dans des récipients hermétiques (bouchés à la cire) soit les cuire. Pour les granulats calcinés OST 3 et 7G, on peut poser l'hypothèse que quelqu'un, à partir du I^{er} siècle *p. C.* a lu Vitruve et qu'il a voulu activer la *ieiunitas* des agrégats en les chauffant.

XXIII. Davidovits, Davidovits 1997, pp. 11-12. *Opus signinum* : ROM 1 Aire Sacrée de Santo Omobono : sous-couche du pavement en *tessera* de terre cuite, elle est réalisée en mortier de *testa* et date de la seconde moitié du III^e s. avant notre ère. ROM « 4 cisterna delle 7 Salle » des Thermes de Trajan : enduit du mur de la salle 5, près de la troisième porte.

XXIV. Davidovits, Davidovits 1997, p. 22. Pour Ostie : OST 2 « Nécropole Républicaine en dehors de la Porta Romana » : *opus caementicium* et *opus reticulatum* d'un *columbarium*, *opus reticulatum* de lave et de tuf volcaniques. OST 4 Horrea di Ortensio (entrepôts républicains) : 4 r : Restauration en mortier rouge sur l'opus reticulatum ; 4 g : mortier gris du reticulatum. OST 3 : *caementicium* du "castellum" de l'aqueduc romain (époque claudienne?) ; béton très dur. OST 7 intérieur du Capitolum, réfection impériale (Trajan) ; 7 r : parement du *testaceum*, mortier rouge ; 7 g : parement du *testaceum*, mortier gris.

4 Conclusion

Le *carbunculus* est un tuf volcanique peu induré ou peu lithoïde, où il est désigné comme *harena carbunculus* « tuf volcanique peu dur » (8, 1, 2). Cette roche ignée correspond à un tuf volcanique plus ou moins consolidé lequel peut se désagréger en surface pour devenir un sol de culture (Columelle 3, 11, 7). Puisque Vitruve le situe en Etrurie (2, 6, 6), la littérature archéologique le fait correspondre au *nenfro* (par exemple à Norchia ou à Tarquinia), qui est le nom local de cette pierre, ou à d'autres, similaires (ignimbrite, etc.). Ces roches pyroclastiques groupées sous la lexie complexe de sens général de « tuf pépérin » (*tufo peperino*) sont d'une dureté variable. Celui-ci est caractéristique de l'Italie centrale (région co-magmatique romaine).

Mais ce qui distingue la roche carboncle des autres tufs volcaniques plus ou moins consolidés, c'est l'usage du terme *carbunculus* dans le sixième chapitre du livre deux, où notre auteur expose sa doctrine sur le volcanisme. Dans sa théorie, les vapeurs souterraines, les gaz brûlants et le feu « volcanique » remontent à la surface de la Terre et cuisent les roches qui sont à leur contact ; selon la durée et l'intensité de la coction, la pierre devient de la cendre, comme la pouzzolane : ou bien elle perd sa fermeté, ou bien elle se transforme en ponce. Bref, son aspect et sa cuisson sont autant de signes visuels permettant à notre architecte d'apprécier la réactivité « chimique » du matériau, quand celui-ci entre en contact avec la chaux. À ce titre, le carboncle a subi le feu souterrain et en a gardé les marques : il est devenu *materia excocta* « tuf volcanique cuit à haute température », car il possède des traces des *uenae* « veines » à travers lesquelles les vapeurs brûlantes ont circulé suivant le principe exposé en 2, 6, 6. On peut ainsi associer cette description au phénomène de gaz pipes ou de « fumerolles fossiles » qui survient quand, dans les ignimbrites, les gaz s'échappent rapidement et que ceux-ci rendent les roches pyroclastiques moins consolidées.

Dès lors en 2, 6, 5-6, le *carbunculus* est l'exemple type de l'*harena fossicia*, de dimension inférieure à 2 mm, mélangée avec la chaux : Vitruve explique sa formation géologique et son usage en construction terrestre, par opposition avec la cendre de pouzzolane, idoine pour les édifices sous-marins. La structure peu cimentée de ce tuf volcanique lui donne un degré de dureté inhabituelle pour le profane, mais familière pour le carrier et le maçon. Le carboncle, comme d'autres tufs, est moins consolidé qu'une pierre de taille, plus cohérent qu'une terre, et permet une extraction idéale comme granulat (OST 3 et OST 7 G).

Les analyses des spécimens de mortiers d'Ostie montrent qu'à l'époque impériale (Claude et Trajan), des sables volcaniques sont chauffés pour améliorer la qualité du liant de chaux. D'où peut venir cette pratique ? M. E. Blake constate que la brique cuite romaine peut être constituée d'un mélange d'argile rouge et d'un dégraissant, comme une arène volcanique résistante à la chaleur^{XXV}. Ainsi, il est possible que la coction d'un matériau de cette nature, comme ajout pouzzolanique à la chaux, tire son origine de son usage comme élément anti-plastique dans la céramique.

XXV. Blake 1947, pp. 301-303.

A Fiche échantillon de l'ignimbrite LA 01 (GEO-CISTEM)(Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1)

Numéro d'échantillon : LA 01

Localisation :

- lieu de prélèvement : La Rocca, près Tuscania
- région : Latium
- pays : Italie

Accessibilité : bonne, par route (N2 dir. Viterbo, Vetralla dir. Tuscania km 15)

Nature du site : affleurement de bonne qualité

Type pétrographique : ignimbrite à composition téphritico-phonolitique ("ignimbrite A")

Contexte géologique : complexe volcanique de Vico (stratovolcan)

Épaisseur et extension latérale de la formation : 15m , volume d'environ 2 km³

Degré de compaction : important (roche soudée)

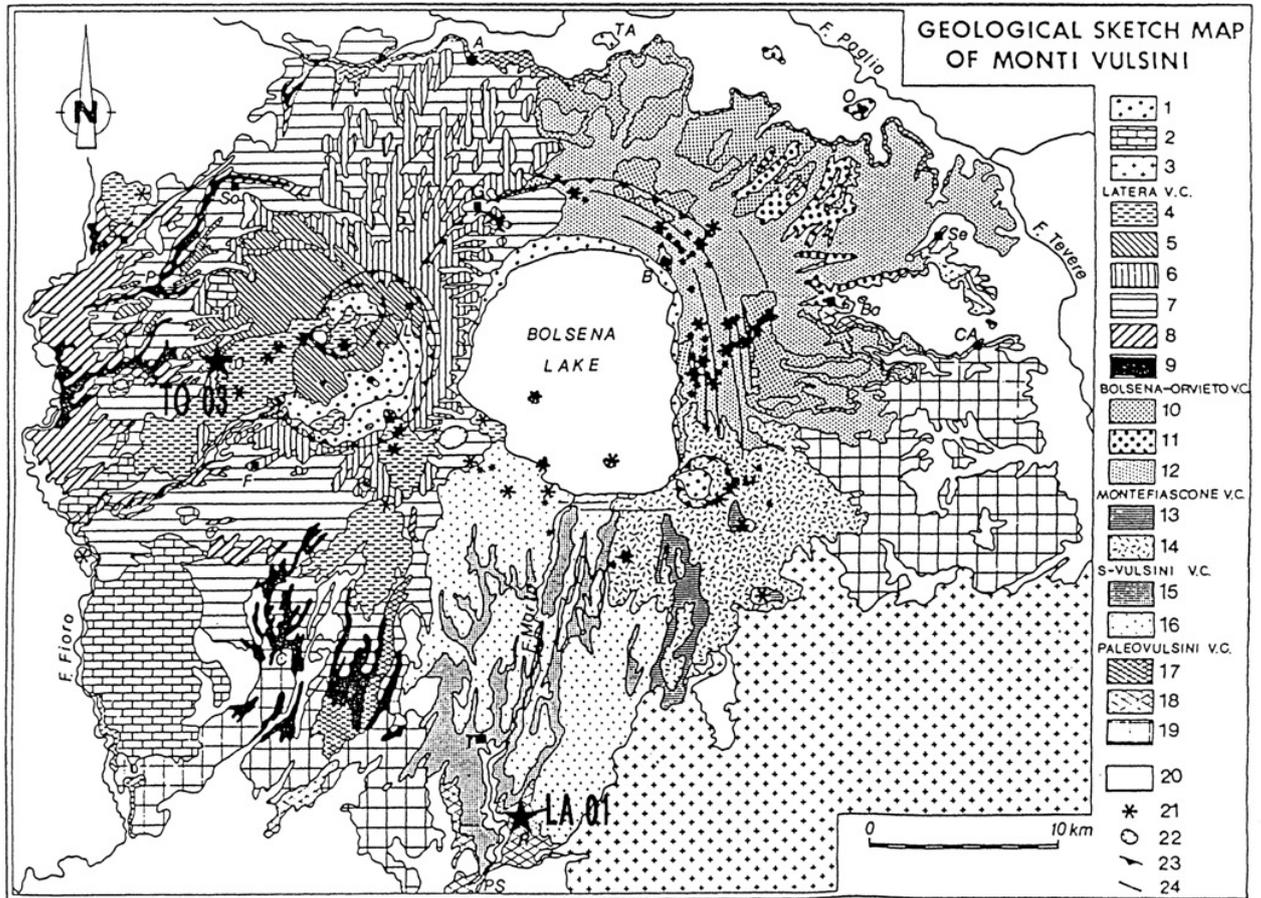
Composition chimique (analyse nouvelle) :

Echantillon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	PF **
LA 01	58,06	19,26	4,17	1,20	3,14	2,22	8,80	0,61	0,15	0,16	2,23

* fer total; ** perte au feu; données en % pondéraux

Nature des composants : leucite, plagioclase, clinopyroxène, sanidine; verre (ponces et scories); rares éléments lithiques

Références bibliographiques principales : BERTAGNINI A. et SBRANA A. (1986) - Il vulcano di Vico : stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche, *Mem. Soc. Geol. It.*, 35, 699-713.



– Geological sketch map of Monti Vulsini Volcanic District (after Trigila 1985, modified). 1: Quaternary sedimentary deposits; 2: travertines; 3: Torre Alfina and Vico Volcanic Complex products; *Latera Volcanic Complex*; 4: products of final effusive and strombolian activity; 5: Pitigliano Formation; 6: Onano Formation, Poggio Pinzo Tuff member; 7: Onano Formation, Grotte di Castro Formation and Sorano Formation; 8: Sovana Formation; 9: Canino Formation and Farnese Formation; *Bolsena-Orvieto Volcanic Complex*; 10: lava flows; 11: Bolsena-Orvieto-Bagnoregio ignimbrite; 12: pyroclastic successions; *Montefiascone Volcanic Complex*; 13: lava flows; 14: pyroclastic successions; *Southern Vulsini Volcanic Complex*; 15: lava flows; 16: pyroclastic successions; *Paleo-Vulsini Volcanic Complex*; 17: lava flows; 18: basal ignimbrites; 19: pyroclastic and volcano-sedimentary successions; 20: Sedimentary substratum; 21: scoria cones; 22: craters; 23: caldera rims; 24: faults and fractures. A = Acquapendente, B = Bolsena, Ba = Bagnoregio, C = Canino, CA = Civitella d'Agliano, F = Farnese, G = Grotte di Castro, L = Latera, M = Montefiascone, O = Orvieto, P = Pitigliano, PS = Pian della Selva, R = La Rocca, S = Sovana, Se = Sermignano, So = Sorano, T = Tuscania, TA = Torre Alfina.

Carte 1 : contexte géologique du lac de Bolsena avec l'emplacement de l'ignimbrite téphrito-phonolitique (Ignimbrite A) (LA 01) (Gimeno, Marini 1995, rapport Geoprospec 1).

B Fiche échantillon du tuf volcanique LA 02 (GEO-CISTEM) (Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1)

Numéro d'échantillon : LA 02

Localisation :

- lieu de prélèvement : Cava Falisca, près Civita Castellana.
- région : Latium
- pays : Italie

Accessibilité : bonne, par route (N3, Civita Castellana)

Nature du site : carrière exploitée (blocs dimensionnels pour construction)

Type pétrographique : tuf volcanique ("ignimbrite C")

Contexte géologique : appartient au 3ème cycle éruptif du stratovolcan de Vico

Épaisseur et extension latérale de la formation : 70 m max., extension plurikilométrique (volume : environ 10 km³)

Degré de compaction : bon (roche relativement indurée)

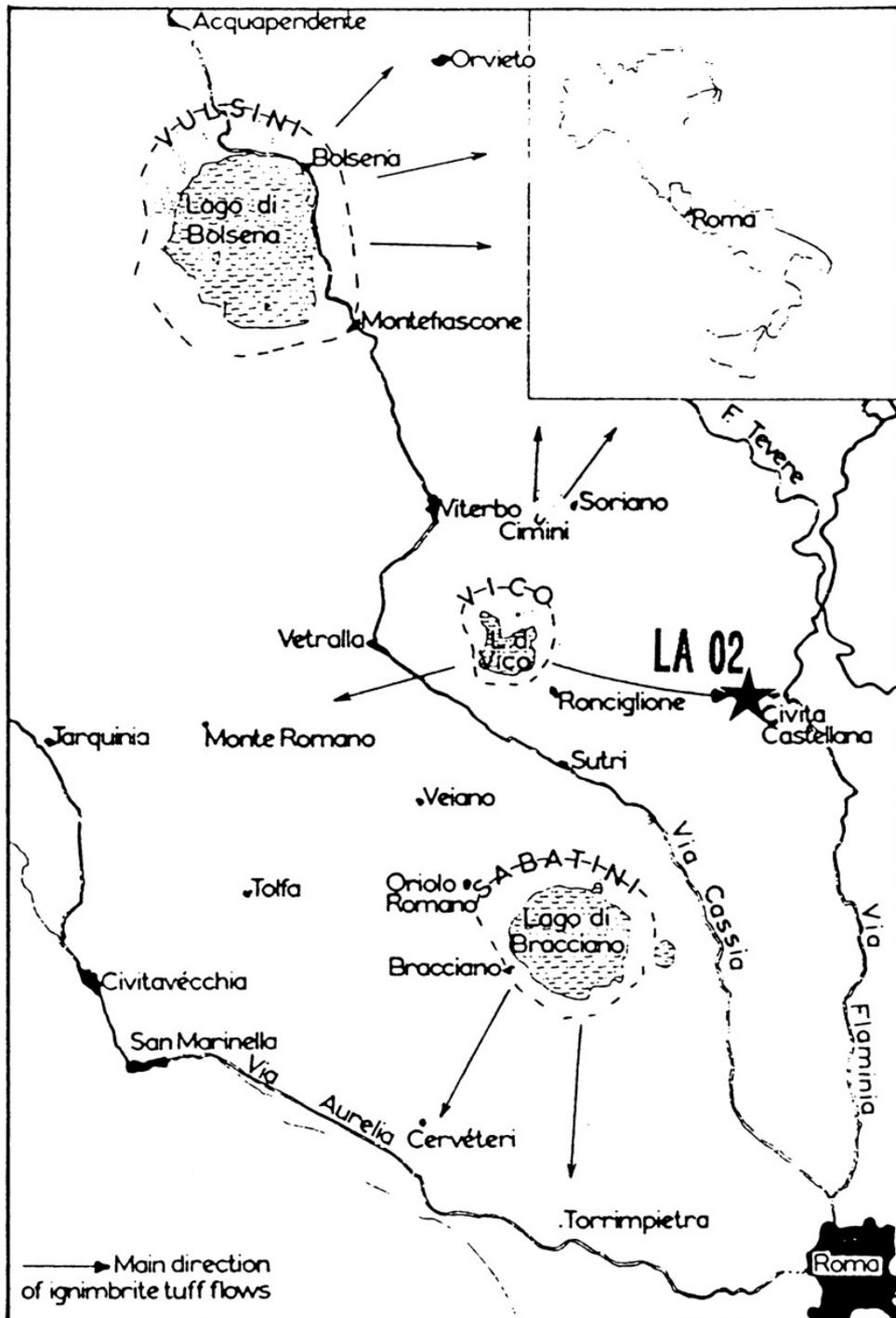
Composition chimique (analyse nouvelle) :

Echantillon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ·	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	PF **
LA 02	52,52	16,41	3,67	1,73	7,54	0,58	6,34	0,51	0,17	0,10	10,43

* fer total; ** perte au feu; données en % pondéraux

Nature des composants : zéolites (70-75 % : phillipsite et chabazite), verre (scories); éléments lithiques; paragenèse primaire : sanidine, leucite, hauyne, clinopyroxène, plagioclase

Références bibliographiques principales : BERTAGNINI A. et SBRANA A. (1986) - Il vulcano di Vico : stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche. *Mem. Soc. Geol. It.*, 35, 699-713.



Carte 2 : Prélèvement du tuf LA 02 près de Civita Castellana (Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1).

C Fiche échantillon du tuf volcanique SA 07 (GEO-CISTEM) (Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1)

Numéro d'échantillon : SA 07

Localisation :

- lieu de prélèvement : entre Portovesme et Paringianu
- région : région : de Sulcis / Sud-Ouest Sardaigne
- pays : Italie

Accessibilité : bonne, en bordure de route (N 130, N 126 Cagliari-Carbonia, et S.P. Carbonia-Portoscuso à Paringianu)

Nature du site : affleurement de bonne qualité (carrières à proximité)

Type pétrographique : tuf volcanique cendreuse comenditique ("tuf de Paringianu", partie centrale d'une coulée pyroclastique)

Contexte géologique : au sein de l'« unité de Paringianu » composée d'ignimbrites et de rhyolites

Epaisseur et extension latérale de la formation : 15 m, superficie couverte de 2 à 4 km² (plaine de Paringianu)

Degré de compaction : élevé (roche très indurée)

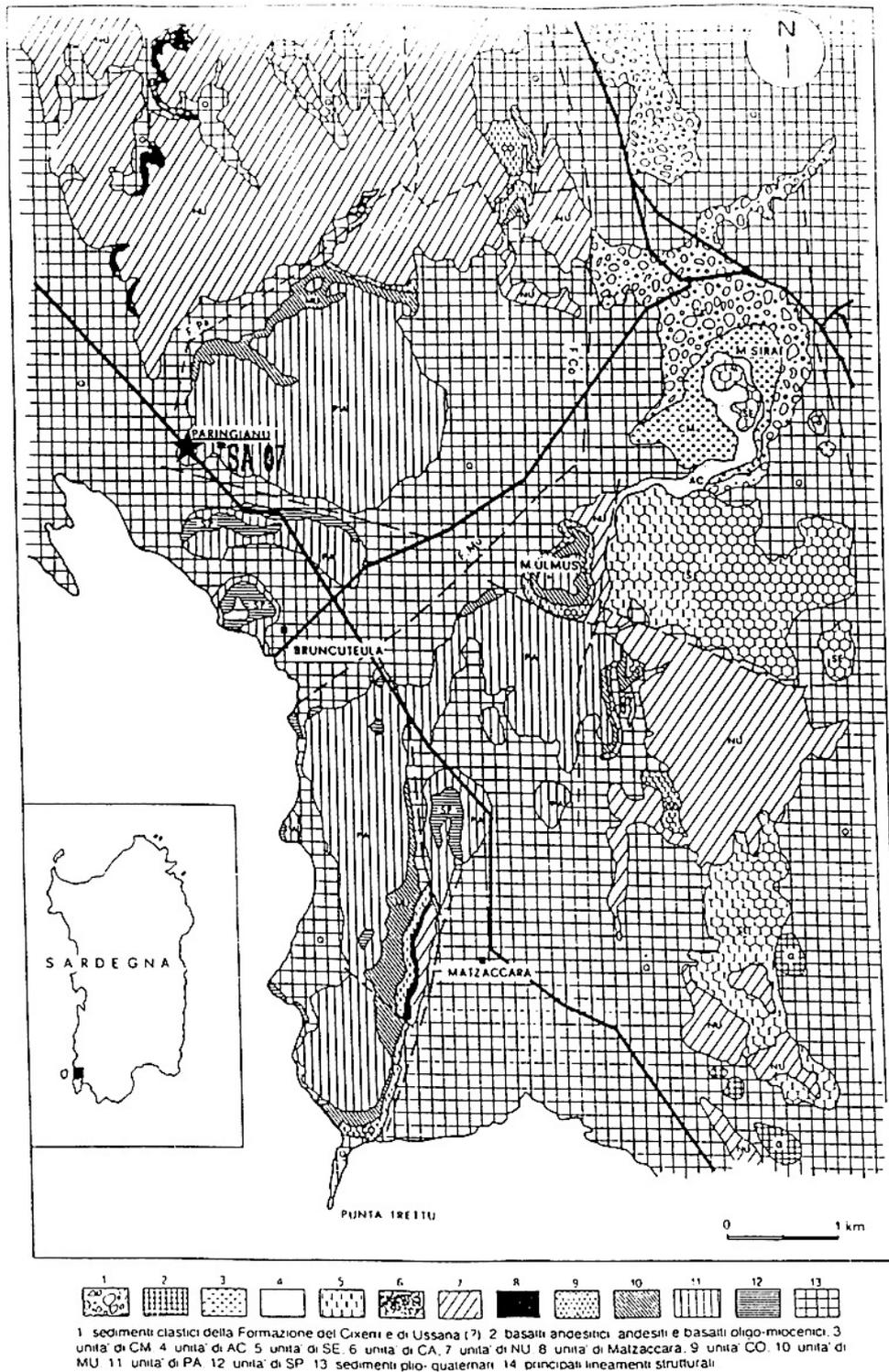
Composition chimique (analyse nouvelle) :

Echantillon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	PF **
LA 02	74,16	13,80	1,13	0,17	0,43	4,33	4,89	0,13	0,02	0,02	0,92

* fer total; ** perte au feu; données en % pondéraux

Nature des composants : paragenèse primaire = plagioclase, feldspath potassique, pyroxène, matrice vitreuse; paragenèse secondaire = montmorillonite (argilisation faible)

Références bibliographiques principales : ASSORGIA A. *et al.* (1990) - Le successioni ignimbriche terziarie del Sulcis (Sardegna S.O.). *Mem. Soc. Geol. It.*, 45, 951-963.



Carte 3 : Contexte géologique et localisation du tuf échantillonné près de Parigianu (Sardaigne) (Gimeno, Marini 1995, Rapport Geoprospec 1).

Références

- (1900-). *Thesaurus linguae Latinae*. B. G. Teubner - De Gruyter, Leipzig - Stuttgart - Berlin.
- ANDRÉ, J. (1961). Notes critiques sur le texte de Pline. *Revue de Philologie*, (XXXV): 58–59.
- BLAKE, M. E. (1947). *Ancient Roman Construction in Italy from the Prehistoric Period to Augustus*. Carnegie Institution, Washington.
- CALLEBAT, L. et FLEURY, P. (1995). *Dictionnaire des termes techniques du De architectura de Vitruve*. Olms-Weidmann, Hildesheim.
- CAS, R. A. F. et WRIGHT, J. V. (1987). *Volcanic Successions Modern and Ancient*. Allen & Unwin, Londres.
- CATON L'ANCIEN, VARRON, COLUMELLE, PALLADIUS et AEMILIANUS, R. T. (1864). *Les agronomes latins : Caton, Varron, Columelle, Palladius : avec la traduction en français / publiés sous la direction de M. Nisard,...* F. Didot, Paris.
- COLLARD, J. (1978). *Varron. Grammaire antique et stylistique latine*. Numéro 14 de série "Etudes". Publications de la Sorbonne, Paris.
- COLUMELLE et DUMONT, J. C. (1993). *De l'agriculture, livre 3*. Collection des Universités de France. Les Belles-Lettres, Paris.
- CORSO, A. (1983). Territorio e città dell'Italia settentrionale nel De Architectura di Vitruvio. *Archeologia Veneta*, (6):49–69.
- CURTIS, C. D. (1913). The difference between Sand and Pozzolana. *Journal of Roman Studies*, (III):197–203.
- DAREMBERG, C. et SAGLIO, E. *Dictionnaire des antiquités grecques et romaines, tome premier, première partie (A-B)*. Hachette, Paris, réimprimée par Akademische Druck und Verlagsanstalt, Graz (Autriche), 1877-1962.
- DAVIDOVITS, J. et DAVIDOVITS, F. (1997). GEOCISTEM (BRITE-EURAM BE-7355-93, Contract n° BRE2-CT93-0559) annexes to final report – Task n°6 : Concrete – Task n°9.1 : Longterm 1 – Task 9.2 : Longterm 2 – Task n°9.4 : Prenorm 2. Rapport technique, Saint-Quentin, Bruxelles.
- ERNOUT, A., MEILLET, A. et ANDRÉ, A. (1985). *Dictionnaire étymologique de la langue latine, histoire des mots*. Klincksieck, Paris, quatrième édition.
- GIMENO, D., MARINI, C. et TOCCO, S. (1995). Report GEOCISTEM (BRITE-EURAM BE-7355-93, Contract n° BRE2-CT93-0559), Task n°1 : GEOPROSPEC 1, (January 1-December 1994). Rapport technique, Bruxelles.
- GINOUVÈS, R. et MARTIN, R. (1985). *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine, tome I, matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor*, volume I. Ecoles française d'Athènes et de Rome, Paris.
- GIULIANI, C. F. (1990). *L'edilizia nell'Antichità*. Rome.

- GUILLAUME, E. (1877). arena. In *Dictionnaire des Antiquités Grecques et Romaines*, volume 1, Paris. Hachette.
- LEUMANN, M. (1963). *Lateinische Laut- und Formen- Lehre*. C. H. Beck Verlagbuchhandlung, München.
- LUGLI, G. (1957). *La tecnica edilizia romana, con particolare riguardo a Roma e Lazio*. Rome.
- MOTTANA, A., CRESPI, R. et LIBORIO, G. (1993). *Minerali e rocce*. Arnoldo Mondadori Editore, Milan, dixième édition.
- PLINE L'ANCIEN et ANDRÉ, J. (1964). *Histoire Naturelle, livre 17*. Collection des Universités de France. Les Belles-Lettres, Paris.
- PLINE L'ANCIEN et SERBAT, G. (1972). *Histoire Naturelle, livre 31*. Collection des Universités de France. Les Belles-Lettres, Paris.
- SHERIDAN, M. L. (1979). Emplacement of pyroclastic flows : A review. *Geological Society of America, Special Paper*, (180):125–136.
- VIRGILE et PERRET, J. (1982). *Enéide, livres 5-8*. Collection des Universités de France. Les Belles-Lettres, Paris.
- VITRUVÉ et CALLEBAT, L. (1973). *De l'Architecture, livre 8*. Collection des Universités de France. Les Belles-Lettres, Paris.
- VITRUVÉ, CALLEBAT, L. et FLEURY, P. (1986). *De l'Architecture, livre 10*. Collection des Universités de France. Les Belles-Lettres, Paris.
- VITRUVÉ, CALLEBAT, L., GROS, P. et JACQUEMARD, C. (1999). *De l'Architecture, livre 2*. Collection des Universités de France. Les Belles-Lettres, Paris.
- VITRUVÉ, LIOU, B., ZUINGHEDAU, M. et CAM, M.-T. (1995). *De l'Architecture, livre 7*. Collection des Universités de France. Les Belles-Lettres, Paris.
- WALKER, P. L. (1971). Grain-size characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology*, 79:696–714.