

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieure et de la
recherche scientifique
Université Saad Dahleb de Blida
Institut d'architecture et d'urbanisme



MÉMOIRE DE MASTER
ARCHITECTURE ET PATRIMOINE

Le mortier romain
**- *Cas d'étude : le parc archéologique Ouest
de la ville de Tipaza***

Présenté par : Mlle Rougab Imane

Sous la Direction de Dr A. Abdessemed-FOUFA et Mr. Boukader M.

Soutenu : le 11/10/2015

Devant le jury composé de :

Président du jury :

Examineur :

Année Universitaire : 2014/2015

PLAN DE TRAVAIL :

CHAPITRE 1: Chapitre introductif

1-1 Introduction	(7)
1-2 Problématique générale	(7)
1-3 Problématique spécifique	(7)
1-4 Objectif de cette étude	(8)
1-5 Méthodologie de recherche	(8)
1-6 Le mortier	(8)
1-6-1 Définition de mortier	(9)
1-6-2 Le mortier à travers le temps	(9)
1-6-3 Rôle	(9)
1-6-5 Classification des liants	(10)
1-6-6 Type de mortier	(11)
1-6-7 Classification et usage	(18)

CHAPITRE II: Mortier romain (mortier de chaux)

2-1 Définition du mortier romain	(20)
2-2 Historique de l'utilisation de la chaux dans le mortier	(20)
2-3 Procédés généraux de construction : les chaux et les mortiers	(22)
2-4 Processus de fabrication	(23)
2-5 Processus de mise en œuvre	(29)
2-6 ETAT DE L'ART	(31)
2-6-1 Introduction	(31)
2-6-2 Cas d'étude	(31)
2-6-3 Le cycle de la chaux	(33)
2-6-4 Typochronologie	(33)
2-6-5 L'origine des matières premières	(34)
2-6-6 Le patrimoine technique : recettes et fonctions	(34)
2-7- Conclusion	(35)

CHAPITRE III : CAS D'ETUDE : LA VILLE DE TIPAZA

3- 1 Introduction	(36)
3-1-1 Présentation de la vile d'intervention	(36)
3- 1-2-Aperçu historique	(36)
3-1-3 Site d'étude : les parcs archéologiques de Tipaza	(38)
3-1-4 Les édifices romains	(42)
3-2 Mortiers de restauration	(56)
3-2-1 La chaux	(57)
3-2-2 Chaux + Pouzzolane	(61)
3-2-3 Typologie de mortiers	(62)
3-2-4 Etapes pour la conservation et restauration du patrimoine ancien	(63)
3-3 Conclusion	(64)

Tables de figures:

Fig.1. Trace de crampons en plomb, parc archéologique de Tipaza	(7)
Fig.2. Sacsayhuamán; Pierres assemblées sans mortier	(7)
Fig.3. Reconstitution archéologique d'un mur. Briques de terre crue et mortier de terre fibré. Apadana de Suse. Iran	(10)
Fig.4. la ville de Çatal Höyük; Turquie.	(11)
Fig.5. Brique avec mortier de chaux , Ostie antique , Italie	(12)
Fig.6. Le Panthéon de Rome	(13)
Fig.7. Colisée à Rome	(18)
Fig.8. Les thermes colossaux de caracalla à Rome	(19)
Fig.9. Ce vieux mur est la Grande Muraille de la Chine	(20)
Fig.10 Four à chaux	(23)
Fig.11. achèvement de remplissage de four	(24)
Fig.12. type de pierre utilisée	(25)
Fig.13. Opus caementum	(27)
Fig.14. Opus caementum	(28)
Fig.15. enduit a chaux	(30)
Fig.16. peinture à chaux	(31)
Fig. 17. Relevé « pierre à pierre » du bâtiment maçonné sud-est	(32)
Fig. 18. <i>Villa d'Escolives</i> -Sainte-Camille	(33)
Fig. 19. Plan de la partie thermale et points de prélèvement.	(33)
Fig. 20. Blocage du mausolée de Faverolles	(33)
Fig.21. Molesme « Sur-les-Creux » (Côte-d'Or)	(34)
Fig.22. Lames minces des types de mortier	(35)
Fig.23. Carte de situation de la ville de Tipaza	(37)
Fig.24. Carte de la période romaine 150 ap. J. C.	(37)
Fig.25. Carte de synthèse	(38)
Fig.26. situation du parc archéologique Ouest de la ville de Tipaza	(39)
Fig.27. enceinte romaine du parc archéologique de la ville de Tipaza	(40)
Fig.28. Plan de situation des différents édifices romains	(41)
Fig.28. situation des différents édifices à étudier	(43)
Fig.29. Relevé actuel de l'amphithéâtre / PPMVSA	(44)
Fig.30. Plan de l'amphithéâtre de Tipasa	(44)
Fig.31. photos de différents vues de l'amphithéâtre	(44)
Fig.32. clôture de l'amphithéâtre	(45)
Fig.33. Vue de face	(45)
Fig.34. Relevé actuel de la Villa des fresques	(46)
Fig.35. photos de différents vues de la villa des fresques	(46)
Fig.36. clôture de la villa des fresques	(47)
Fig.37. vue de face Opus incertain	(47)
Fig.38. vue de face Opus africanum	(47)

Fig.39. Relevé actuel du théâtre Romain	(49)
Fig.40. Relevé du théâtre Romain	(49)
Fig.41. photos de différents vues du théâtre romain de Tipaza	(49)
Fig.42. mur de clôture du théâtre romain	(50)
Fig.43. vue de face Opus latericium	(50)
Fig.44. vue en plan et coupe d' Opus latericium	(50)
Fig.45. Relevé actuel de la grande basilique chrétienne	(51)
Fig.46. Relevé de la grande basilique chrétienne	(51)
Fig.47. photos de différents vues de la grande basilique chrétienne	(51)
Fig.48. Les arcades de la basilique sur le promontoire	(52)
Fig.49. vue de face Opus latericium	(52)
Fig.50. Relevé actuel des petits thermes/ PPMVSA	(53)
Fig.51. photos de différents vues des petits thermes	(53)
Fig.52. Le mur des petits thermes	(54)
Fig.53. Coupe	(54)
Fig.54. vue de face Opus latericium	(54)
Fig.55. Relevé actuel de temple anonyme te nouveau temple/	(55)
Fig.56. photos de différents vues de temple anonyme et nouveau temple	(55)
Fig.57. vue en face	(56)
Fig.58. Cardo	(56)
Fig.59. Documanus	(56)
Fig.60. vue de face Opus africanum	(56)
Fig.61. Etat de conservation de la grande basilique chrétienne	(57)
Fig.62. schémas représentant les types des liants a travers le temps	(58)
Fig.63. la calcination du calcaire	(59)
Fig.64. extinction de la chaux en poudre/ en pâte	(59)

Remercîment :

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon Encadreur de projet Mr Boukader .M. et notre porteur du master Mme Foufa.
Je les remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie mes très chers parents, ,et mes très chers sœurs qui m'ont soutenue tout au long du cursus

A toutes mes chères amies et spécialement Amina,Biba et Mounia.

A tous les membres de ma promotion. A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études. A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Résumé

Ce mémoire se traite d'une recherche le mortier romain, cas d'étude site archéologique Ouest de la ville de Tipaza .

Cette recherche se compose de trois parties:

- La première , englobe les problématique posées , objectif , présentation de notre méthodologie de recherche et une généralité sur le mortier avec son historique , types, rôle, classification.

- La deuxième partie a été consacré au mortier romain , processus de fabrication et mise en œuvre avec un exemple d'une étude de mortiers des édifices romains

- La dernière partie comprend notre cas d'étude les sites archéologiques de Tipaza avec une partie qui se traite des mortier de restauration

CHAPITRE I: Chapitre introductif

1-1 INTRODUCTION :

Le **mortier** est le mélange à consistance de pâte ou de boue, d'un liant et d'agregat avec de l'eau. Il est utilisé en maçonnerie comme élément de liaison, de scellement ou comme enduit. Techniquement parlant c'est une colle.

Du temps de la Rome antique, le mortier romain (du latin caementum, signifiant moellon, pierre de construction) désignait originiairement les pierre ajoutée in situ à la chaux, les caementa, pour la confections des maçonneries. Il y a eu confusion, puis transfert de vocable, le ciment devient par la suite, le mortier, puis le liant seul. « Comme il convient de respecter la terminologie maintenant strictement définie par la technique, il faut réserver ce mot à la désignation du plutôt des ciments qui sont des mélanges artificiels de chaux avec de l'argile et des sels métalliques (...): de tels mélanges étaient évidemment inconnus des romains»

1-2 Problematique générale

En comparant les mortiers des anciens et surtout ceux qui ont été faits par les Romains, aux mortiers des temps modernes on suppose alors que les premiers étaient meilleurs. Plusieurs constructeurs annoncent alors avoir trouvé le secret des mortier romains mais d'autres supposent avec raison qu'il n'a subsisté à travers le temps que les constructions faites avec de bonnes chaux dans de bons mortiers.

Des questions se posent :

- comment que les monuments, les ponts ,et malgré tous les affres du temps, des guerres, des facéties de la nature et des démolitions humaines ont su résister jusqu' aujourd'hui?
- Cela prouvent-il que les romains étaient de sacrés bâtisseurs ?
- Quelle a té l'évolution de mortier romain?

1-3 Problematique spécifique

On sait depuis longtemps que le mortier et le béton utilisé par les Romains pour bâtir temples, colisées, thermes, viaducs, aqueducs, théâtres etc. est d'une qualité exceptionnelle au regard du nombre important de bâtiments millénaires encore intacts aujourd'hui. On sait également que ces propriétés de conservation extraordinaires sont dues à la méthode de fabrication du mortier

Beaucoup d'édifices antiques réalisés en opus caementicium sont toujours debout, du fait que l'appareillage était réalisé avec soin et avec une bonne chaux

Nous posons la problematique suivante : sur l'existence d'un rapport etroit entre les composants du mortier romain et le contexte environnemental du site auquel ils appartiennent.

- comment utiliser ces connaissances dans la préservation de notre patrimoine tout en respectant son aspect ancien ?

1-4 Objectif de cette étude :

En réponse à notre problématique nous nous fixons les objectifs suivant :

- la connaissance sur le mortier romain afin de comprendre la technique constructif romaine ce qui le rend durable et résistante
- l'utilisation de ces connaissances sur la composition des mortier d'origine romaine dans les interventions de restauration des vestiges archéologiques.

1-5 Méthodologie de recherche

La méthodologie de recherche suivie se base sur:

- Recherche de documentation sur le thème du mortier romain : livres, site-web , article, revues.
- Etude in situ de type de mortier dans les parcs archéologiques Ouest de la ville de Tipaza.
- le travail se devise en trois chapitres:
 - Le 1^{er} chapitre , se traite de mortier en général (histoire, types, classification et son rôle).
 - Le 2eme chapitre, concrètement on va étudier le mortier romain passant par sa fabrication et ses différents usages.
 - Le 3eme chapitre, consacré à notre cas d'étude ou on doit identifier les mortiers romain utilisés dans différents édifices romains existant dans le Parc archéologique Ouest de Tipaza
 - et enfin un aperçu sur les mortiers de restauration.

1-6 LE MORTIER

1-6-1 Définition de mortier :

Le mortier est un mélange de diverses matières amenées à l'état pâteux et qui a la propriété de durcir et d'adhérer fortement aux matériaux de construction avec lesquels on les met en contact. Les mortiers servent donc à lier entre eux ces matériaux pour en former des masses solides qui remplissent des conditions déterminées de forme et de résistance. La nature des mortiers est très variable en raison des localités et de la destination des construction . (1)

Étymologie : Le latin mortarium, désigne d'abord l'auge du maçon, puis son contenu. Cette distinction nous est restée puisque le terme mortier désigne le récipient et son contenu. Le Mortellier désigne le fabricant d'auges de pierre qu'on appelle mortiers et ensuite celui qui brise certaines pierres dures pour en faire du ciment.
(2)

(1)) Ernest Bosc, le dictionnaire raisonné d'architecture Tome III , Paris librairie de Firmin – Didot et cie , 1879, pag 245.

(2) Étienne Boileau, Georges-Bernard Depping. Règlements sur les arts et métiers de Paris, rédigés au XIII^e siècle, Crapelet, 1837.

1-6-2 Le mortier à travers le temps :

Les techniques de construction n'ont cessé d'évoluer depuis l'apparition de l'homme sur terre. Ce contentant à l'origine que de cavités naturelle (grottes) pour se loger, l'homme a su développer et améliorer son habitat : de la hutte au palais, des maisons à pans de bois aux maisons en pierre. L'évolution des techniques à bâtir c'est accompagnée d'une transformation et d'une amélioration croissante des matériaux pour augmenter leurs performances. Les matériaux sont d'abord utilisés tel quel : la terre brute, les branches d'arbres... Peu à peu on fait subir des transformations aux matériaux. Une des évolutions les plus importantes vient de la cuisson des minéraux C'est le développement des connaissances de la physique et de la chimie et du potentiel qu'offre la cuisson qu'un nouveau type de matériaux a vu le jour :

les liants de maçonnerie de plus en plus élaborés ; le plâtre, la chaux et ensuite beaucoup plus tard le ciment. Un liant est une matière qui a la propriété de passer de l'état liquide à l'état solide pour assembler (lier) par « collage » des matériaux inertes : pierres, bois, fibres

1-6-3 Rôle :

Beaucoup de constructions antiques, rustiques ou élaborées, étaient construites sans mortier (Maçonnerie à joints vifs, murs cyclopéen, Grand appareil quadrangulaire romain, etc.). Dans le grand appareil, les pierres de grande taille, placées selon leur lit de carrière, avaient leur faces parfaitement dressées, ce qui permettait une parfaite répartition des efforts au niveau du joint. Elles étaient quelques fois liaisonnées horizontalement par des crampons en plomb, accessoire superflu puisque le pillage de ceux-ci n'a pas pour autant entraîné la ruine de ces murs monumentaux. D'autres maçonnerie en pierre sèche ont servi dans la construction de clôtures, ou de cabanes en pierre, constructions rustiques qui n'ont pas toujours défié le temps.

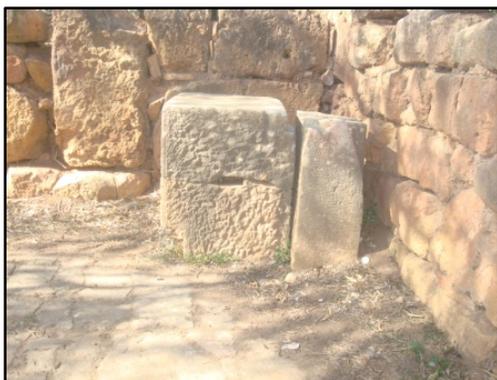


Fig.1. Trace de crampons en plomb, parc archéologique de Tipaza .



Fig.2. Sacsayhuamán; Pierres assemblées sans mortier

L'usage du mortier devient indispensable dans des maçonneries constituées de moellons ou de pierres irrégulières, où c'est clairement le mortier qui par la qualité de sa mise en œuvre va assurer cohésion et la bonne répartition des charges entre assises. Il assure également un rôle de colle. Et lorsqu'il comble chacun des espaces entre les pierre à bâtir, il permet de réaliser un ensemble monolithique à la résistance variable selon la nature du mortier.

Le mortier ferme le joint en retrait, à fleur ou à reflux, contribuant à l'esthétique et à l'étanchéité de la façade. Il est aussi utilisé comme enduit.

Enfin dans le cas du pisé ou de la bauge, c'est le mortier qui devient le matériau principal et il ne sert qu'à s'agglomérer à lui-même.

La nécessité d'avoir des mortiers faisant office de colle définitive ne s'impose dans certains pays qu'à la révolution industrielle. La construction d'ouvrages liés à la navigation - requis par une industrie en pleine croissance - allant grandissant, une réflexion s'amorce pour obtenir des mortiers résistants, faisant prise sous eau

1-6-5 Classification des liants

On distingue trois sortes de liants :

- **les liants d'origine organique, employés depuis fort longtemps**, sont des liants naturels :

- bitume à l'état natif ; résines et gommages végétales ; huiles (olive, lin, oeillet) ; lait et dérivés dont la caséine ; sang ; oeuf (jaunes et ou blancs) ; colles animales (peau, nerfs, os, tendons, poisson...) ; cire ; urine, purin ; etc...

- **les liants d'origine minérale, naturels ou artificiels :**

- **naturels : argile crue, gypses (plâtre), calcaires (chaux aérienne et chaux hydraulique), ciment prompt (ciment naturel).**

- **artificiels : calcaires (chaux artificielles et ciments).**

- **les autres liants modernes : l'ensemble des résines synthétiques (vinyl, acryl, acrylo-vinylque, polyacétates, alkyde...) et les silicates**

Dans le groupe des liants de nature chimique minérale, on distingue les liants aériens et les liants hydrauliques :

- les liants aériens durcissent exclusivement à l'air : (exemple : chaux aérienne).

- les liants hydrauliques durcissent au contact de l'eau et de l'air.

- les liants artificiels, ciments (cimentum : sert à lier), sont de nos jours des liants hydrauliques à performances élevées, ils sont obtenus par mélange artificiel.

	NOUVELLE ABREVIATION STANDARD	ANCIENNE ABREVIATION FRANCAISE STANDARD	NORMES	RESISTANCE MINIMALE EN MPA*
LIANTS NATURELS				
Chaux grasse en pâte	-	X.A.N.	Hors norme	-
Chaux aérienne en poudre	C.L. (Calcic Lime) D.L. (Dolomitic Lime)	CAEB	NFP 15 311	-
Chaux Hydraulique Naturelle pure	NHL 2 NHL 3,5 NHL 5 (Natural Hydraulic Lime)	XHN 30 XHN 60 XHN 100	NFP 15 311 NFP 15 311 NFP 15 311	2 à 7 MPA 3,5 à 10 MPA 5 à 15 MPA
Chaux Hydraulique Naturelle additionnée de ciment	NHL Z	-	NFP 15 311	2 à 15 MPA
LIANTS ARTIFICIELS				
Chaux Hydraulique de produits artificiels	H.L. (Hydraulic Lime)	XHA	NFP 15 311	2 à 15 MPA
Ciment prompt naturel	C.N.P.	C.N.P.	NFP 15 314	-
Ciment Portland artificiel	CPA – CEM 1	CPA	NFP 15 301	32,5/42,5/52,5
Ciment Portland composé	CPJ- CEM 11 / A et B	CPJ	NFP 15 301	32,5/42,5/52,5
Ciment de haut fourneau	CHF – CEM 111 / A et B	CHF	NFP 15 301	32,5/42,5/52,5
Ciment de laitier aux clinkers	CLK – CEM 111 / C	CLK	NFP 15 301	32,5/42,5/52,5
Ciment au laitier et aux cendres	CLC CEM	CLC	NFP 15 301	32,5/42,5/52,5

NORMALISATION ET CLASSIFICATION
FRANCAISE ET EUROPEENNE DES LIANTS

1-6-6 Type de mortier :

Il existe plusieurs types de mortiers :

- mortier de terre ;
- mortier de chaux grasse ;
- mortier de chaux hydraulique ;
- mortier de plâtre ;
- mortier de ciment Portland.

➤ **Mortiers antiques**

Les témoignages historiques sont ceux qui ont défié le temps. Ce sont souvent des bâtiments de prestige réalisés en bonne maçonnerie - éventuellement réalisés à la chaux. Et puis ce sont des traités d'architecture - le premier, le *De Architectura* de Vitruve - dont la redondance pourrait laisser croire à une permanence des préparations (3). La maçonnerie romaine antique réalisée à la chaux, a toujours suscité l'admiration mais c'est sans parler des innombrables maçonneries antiques de moindre qualité ou réalisées en terre, qui ont disparu .

Le premier de tous les mortiers a été la terre, ou la terre argileuse, matériau gratuit, disponible à même le sol ne nécessitant pas de processus chimiques de transformation complexes. Viennent ensuite les matériaux produits par transformation thermique de la pierre (Plâtre, chaux et ciments) dont l'invention est très ancienne, mais l'usage discontinu dans le temps. La Rome antique préconisera de chaux grasses (aériennes) dans la confection des mortiers, en remplacement de la terre, ce qui donnera lieu à des mortiers de constitution variable. Dans les pays industrialisés, ce n'est toutefois qu'à partir de la révolution industrielle et plus particulièrement la fin du XIXe siècle que les chaux hydrauliques et les ciments s'imposeront sur tout autre moyen.

Début XIXe siècle on regroupait donc sous le nom de mortier toute espèce de mélange de terres crues ou cuites ou d'autres matières obtenues par calcination ou de chaux avec ou sans sable et de l'eau en suffisante quantité pour pouvoir le gâcher le porter et le mettre en œuvre convenablement à sa destination. Dans les campagnes où les fours à chaux étaient éloignés et la chaux rare et chère on se contentait souvent pour faire du mortier de terre crue mais franche et un peu grasse en la délayant avec de l'eau. Quelquefois on y mélangeait de la paille ou du foin haché, du regain et même de la chaux, si on en avait pour lui donner plus de consistance, ou le rendre plus maniable. On s'en servait alors particulièrement pour la bauge et les torchis. Dans tous les cas le mortier fait avec du sable et de la chaux était à préférer pour les habitations si on pouvait s'en procurer facilement.

« Pour que le mortier soit bon, la chaux doit être bonne, de même que le sable et il ne doit y avoir trop ni de l'un ni de l'autre selon la destination; quant à l'eau il en faut toujours le moins possible: le mortier qui en a trop ne vaut rien. » (4)

(3) Stéphane Büttner et Daniel Prigent *Archéologie des liants de maçonnerie : entre traités et réalité*

(4) M. De Fontenay. *Manuel des constructions rustiques, ou guide pour les constructions rurales*. Encyclopédie Roret, Paris, 1836

➤ La terre, le premier des mortiers

On obtient ce mortier en détrempant avec de l'eau une certaine quantité de terre argileuse, qu'on extrait souvent sur les lieux mêmes où l'on construit; on amène cette terre à l'état de pâte plus ou moins dense en la broyant avec le rabot en fer.

On emploie ce mortier dans les constructions rurales pour hourder et exécuter des maçonneries en moellons et en briques. Mélangé avec de la paille ou du fon haché menu, ce mortier constitue la bauge ou torchis.

On blanchit souvent à la chaux les constructions faites en mortier de terre; mais quand on veut leur donner une plus grande durée et empêcher le ramollissement de leurs surfaces, on les recouvre d'un enduit de plâtre ou d'un mortier de chaux, ce dernier, en préservant les constructions du contact de la pluie et de l'humidité, leur permet de résister aux intempéries de l'atmosphère. Avec une terre franche, moyennement argileuse et une forte proportion de sable, on fait également un mortier de terre d'un assez bon usage pour les maçonneries de briques telles que fourneaux, forges, etc.



Fig.3. Reconstitution archéologique d'un mur. Briques de terre crue et mortier de terre fibré. Apadana de Suse. Iran

Les moyens accordés par la révolution industrielle à la production massive de chaux et de ciments ont eu raison des mortiers de terre en Europe. Se pose aujourd'hui la préservation et la valorisation du patrimoine bâti faisant usage des mortiers de terre. D'autre-part on constate un regain d'intérêt pour les techniques de bauge, de pisé et de béton de terre (5)

(5) Ernest Bosc, le dictionnaire raisonné d'architecture Tome III, Paris librairie de Firmin – Didot et cie, 1879, pag 245.

➤ Mortiers obtenus par calcination de la pierre

La fabrication de liants par calcination de la pierre (dans les fours à calcination) serait aussi ancienne que l'art du potier. Au néolithique déjà, l'homme s'est aperçu que certaines pierres constituant le foyer s'effritaient à cause de la chaleur en produisant une poudre se solidifiant une fois humide. Dans la ville de Çatal Höyük, fondée en 7000 av. J.-C. des enduits de plâtre ornaient les murs. L'Égypte antique, du troisième millénaire emploie du plâtre pour assembler les pierres des édifices et pour réaliser des enduits. L'Égypte utilisait aussi en 2600 ans av. J.-C., comme mortier, un mélange de chaux, d'argile, de sable et d'eau : un des mortiers les plus anciens est celui de la pyramide d'Abu Roasch, qui fut probablement érigée sous la IV^e dynastie (6). Plus généralement l'Orient est connu pour son emploi du plâtre et de la chaux. Si les grecs connaissent la chaux et le plâtre sous forme d'enduits, ils ne les utiliseront qu'épisodiquement comme mortier, préférant l'usage des crampons en plomb. Ce n'est qu'à partir de la Rome antique que la chaux sera recommandée pour la confection des mortiers.

▪ Plâtre

Le plâtre n'est plus utilisé que comme enduit intérieur. Contrairement à la chaux, il n'a besoin du mélange d'aucune autre matière que de l'eau pour former un corps solide d'une dureté moyenne. Le plâtre malheureusement ne peut résister aux intempéries et à l'humidité.

Comme cette matière s'attache aux pierres et aux bois on s'en est servit pour la construction des murs, des voûtes et pour les enduits (On recouvrait les cloisons, les pans de bois, les planchers, etc.). Le plâtre - contrairement au mortier de chaux qui se contracte- augmente de volume en faisant corps. C'est pourquoi il y avait des précautions à prendre lorsqu'on se servait du plâtre pour certains ouvrages tels que les voûtes, les cheminées. Dans la ville de Çatal Höyük, fondée en 7000 av. J.-C., des enduits de plâtre ornaient déjà les murs.

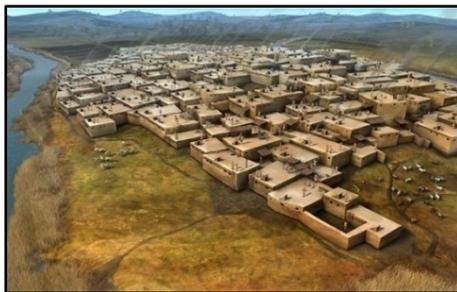


Fig.4. la ville de Çatal Höyük; Turquie.

La Rome antique faisait peu usage du plâtre dans ses constructions. Il ne s'en servaient que pour les enduits intérieurs. Vitruve en blâme l'usage parce que le plâtre faisant corps plus promptement que le mortier avec lequel on le mêlait, l'enduit était sujet à gercer.

Les constructeurs du moyen âge n'ont jamais employé le plâtre dans la grosse maçonnerie, ni pour remplir les lits ou joints des pierres. Ils posaient toujours leurs assises de pierres à bain de mortier de chaux, et pour leurs blocages entre les parements, ils n'employaient jamais que le mortier avec du gros sable. Il arrivait cependant parfois qu'il n'était pas possible de poser des claveaux, par exemple, à bain de mortier, lorsque les cintres avaient une très-grande portée et que les arcs étaient très-épais ; alors on coulait, dans les joints, du bon plâtre

(6) Augustin Maché, Ciments et mortiers, Armand Colin, coll. « Génie civil », 1935, « Introduction », p. 2

▪ Mortier de chaux

La chaux est obtenue par calcination de pierre calcaire vers 1000°C, dans des fours à chaux, opération pendant laquelle elle abandonne son gaz carbonique. Le produit restant, un oxyde de calcium est appelé chaux vive et prend l'apparence de pierres pulvérulentes en surface que l'on va hydrater ou éteindre par immersion dans l'eau. Cette immersion, provoque la dislocation, un foisonnement, ainsi qu'une forte chaleur. Le résultat est une pâte, qui prend le nom de chaux éteinte. C'est ce matériaux plastique, qui mêlé à des agrégats va constituer les mortiers. Une fois incorporée dans la maçonnerie, un phénomène de cristallisation - en fait une carbonatation - s'opère au contact de l'air - et plus particulièrement le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère qui fait retourner la chaux à l'état de calcaire. L'extinction de la chaux se faisait de préférence dans des fosses attenantes au chantier.

La présence d'argile associée au calcaire de calcination conduit à différents types de chaux. Il y a lieu de distinguer: (7)

- *chaux aérienne* : le phénomène de cristallisation s'opère en présence d'air. Les chaux aériennes se répartissent en:

chaux grasses, obtenues à partir de calcaires très pures ou contenant de 0,1 à 1 % d'argile

chaux maigre, obtenues à partir de calcaires contenant de 2 à 8 % d'argile

- *chaux hydraulique* : le phénomène de cristallisation s'opère aussi en milieu aqueux, obtenues à partir de calcaires contenant plus de 8 % d'argile

Au delà de 20 % d'argile, les calcaires sont impropres à la confection de la chaux (Ils trouveront par la suite à être employé dans la fabrication des ciments).

La dénomination chaux grasse/chaux maigre vient de ce que les chaux maigres augmentent peu de volume lorsqu'on les réduit à l'état de pâte tandis que les chaux grasses donnent un volume plus important, on dit qu'elles foisonnent beaucoup plus. De même les chaux grasses forment avec la même quantité de sable un mortier plus gras que lorsqu'on emploie des chaux maigres.

Pendant longtemps on a appelé chaux maigres celles qui avaient la propriété de durcir dans l'eau et chaux grasses celles qui n'avait pas cette propriété. La distinction, chaux aérienne/chaux hydraulique est venue du fait que certaines chaux maigres ne sont pas hydrauliques.



Fig.5. Brique avec mortier de chaux , Ostie antique ,
Italie

(7) Jean-Pierre Adam. La Construction romaine. Matériaux et techniques. Sixième édition.
Grands manuels picards. 2011

Vers le Ier siècle après J.-C., la Rome antique améliore la technique de la chaux par l'incorporation de sable volcanique de Pouzzoles - la pouzzolane - ou de tuiles broyées. Comme le dit Vitruve dans son *De architectura* (Livre II, Chapitre 6), le mortier peut résister à l'eau et même faire prise en milieu très humide. En ajoutant à la chaux aérienne de la pouzzolane ou des tuileaux, on la transforme artificiellement en chaux hydraulique.

Dès le IIIe siècle av. J.-C., un système constructif - l'*Opus caementicium*- s'impose sur l'appareillage en usage - le grand appareil. L'*opus caementicium* qui prend toute l'apparence d'un béton est composé in situ et non coulé, en utilisant matériaux tout venant, les caementa, maçonnées dans le meilleurs des cas à la chaux, entre deux parois de petit appareil qui font office de coffrage perdu. Un système constructif performant, économique, rapide ne nécessitant aucune qualification de la main-d'œuvre, une bonne partie des matériaux étant employés sans préparation préalable. La systématisation de la construction en *opus caementicium* - associé à une main-d'œuvre servile issue de ses campagnes victorieuses, à commencer par les Guerres puniques - dressée plutôt que formée - permettra à la Rome antique de faire de l'architecture un art universel, alors qu'il était jusque là réservé à la construction des temples et des fortifications.



Fig.6. Le Panthéon de Rome, Ier siècle av. J.-C., un exemple exceptionnel d'ouvrage ayant défié intacts les siècles, l'*opus caementicium*, mortier de chaux mêlé à des matériaux tout venant, les caementa, maçonné et non coulé, réalise une maçonnerie dont la texture peut s'apparenter au béton de ciment moderne

Beaucoup d'édifices antiques réalisés en *opus caementicium* sont toujours debout, du fait que l'appareillage était réalisé avec soin et avec une bonne chaux. On ne parle plus de la grande majorité des édifices qui ont disparu du fait de la médiocrité des maçonneries, souvent sommairement liées à l'argile ou à de la chaux de médiocre qualité, comme c'est souvent le cas à Pompéi.

▪ Mortiers de chaux hydraulique et de ciment :

Jusqu'au début du XIXe siècle la manière de faire le mortier a presque toujours été abandonnée aux ouvriers. En comparant les mortiers des anciens et surtout ceux qui ont été faits par les Romains, aux mortiers des temps modernes on suppose alors que les premiers étaient meilleurs. Plusieurs constructeurs annoncent alors avoir trouvé le secret des mortiers romains mais d'autres supposent avec raison qu'il n'a subsisté à travers le temps que les constructions faites avec de bonnes chaux dans de bons mortiers (8). On le voit, le terme innovation technique a, à la fin du XVIIIe siècle, une signification particulière. Celle-ci est en effet généralement attachée à une découverte archéologique (On redécouvre Pompéi) qui est à la fois source et caution. Antoine-Joseph Lorient par exemple invente un mortier dont il annonce avoir déduit ce procédé des diverses interprétations qu'il a cru pouvoir donner aux ouvrages de Vitruve de Plin et des autres auteurs anciens qui traitent des mortiers.

Avec le XIXe siècle, la chimie connaît un énorme progrès quantitatif, avec Antoine Lavoisier qui l'a promue en science exacte. Liés à la révolution industrielle, les progrès réalisés en métallurgie, la maîtrise des fours industriels, la diversification des combustibles, profite à tous les secteurs de l'industrie. On chauffe pour décomposer la matière, pour obtenir de nouveaux matériaux. Enfin la nécessité de grands travaux d'infrastructures (canaux, ports, urbanisme, fortification), aiguillonnée par un climat de concurrence pour la suprématie économique et politique entre l'Angleterre et la France conduit à rechercher de nouveaux mortiers.

Côté français, Louis Vicat, ingénieur des ponts et chaussées, part de l'opinion généralement admise à cette époque que c'est l'argile qui donne à la chaux la propriété singulière de durcir dans l'eau. Il expérimente les chaux et parcourt la France à la recherche des calcaires contenant les quantités d'argile nécessaires à leur élaboration. Sous son impulsion l'usage des chaux hydrauliques se généralise.

Ses recherches visent également à produire des chaux factices - qui font prise sous eau très promptement - à partir des produits séparés: argiles et calcaire. Il expérimente différentes combinaisons de chaux et d'argile qu'il sèche et fait cuire. Les principes actifs des mortiers hydrauliques sont dit-il en 1828, la chaux, silice, alumine, oxyde de fer, en 1856, la chaux, la silice, l'alumine et la magnésie: « La chaux en est toujours la base essentielle on la mêle selon sa nature tantôt avec le sable seul, tantôt avec le sable et la pouzzolane tantôt enfin avec la pouzzolane seule. Nous comprenons sous ce nom de pouzzolane non seulement les produits volcaniques de l'Italie et de la France mais aussi toutes les substances analogues que l'on modifie par le feu des fourneaux et auxquelles on parvient à donner à très peu près les qualités des pouzzolanes naturelles. (...) Il suit de là que les argiles ferrugineuses, les ocres, les schistes bleuâtres, la houille, le basalte, les laves, le grès ferrugineux, etc. sont autant de matières que le feu peu ramener à l'état des pouzzolanes volcaniques. » (9)

(8) Clément Louis Treussart. Mémoire sur les mortiers hydrauliques et sur les mortiers ordinaires. Chez Carillan-Goeury, 1829

(9) Louis-Joseph Vicat. Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires. Goujon, 1818

Avec Louis Vicat, la chaux, la silice, l'alumine, et la magnésie deviennent les principes essentiels dont se composent les gangues qui lient les matériaux employés dans les constructions. Ces principes élémentaires qui combinés en proportions diverses constituent les composés connus dans l'art de bâtir sous les noms de chaux hydrauliques, ciments, et pouzzolanes composés qui concourent à la formation par voie humide des gangues qui lient les agrégats appelés mortiers et bétons. Dans ces gangues la silice joue le rôle d'acide et engendre des silicates dont les autres principes ensemble ou séparément deviennent les bases. La chaux, la silice, l'alumine et la magnésie ne se présentent pas isolées et à l'état chimique dans la nature, elles y sont au contraire engagées par voie de combinaison ou de mélange soit entre elles soit avec d'autres substances dont il serait trop dispendieux de les extraire pour en disposer individuellement. L'art consiste donc à tirer parti des produits naturels on elles entrent en proportions considérables pour arriver le plus économiquement possible au but recherché; ces produits sont d'une part les pierres calcaires pures ou argileuses ou magnésiennes et de l'autre les argiles, les sables et les substances plutoniques ou neptuniennes résultant tantôt des déjections volcaniques tantôt de la décomposition spontanée et séculaire de certaines roches. (10)

Joseph Aspdin dépose en octobre 1824 un brevet et crée la marque « Ciment Portland ». C'est un jalon à partir duquel, la fabrication du ciment va devenir progressivement une industrie chimique. La simple carbonatation entrant dans la solidification des chaux ne s'applique plus aux ciments. Les réactions complexes entrant dans la prise et la solidification des ciments seront longues à comprendre et à maîtriser. Qu'ils soient « naturels » ou « artificiels », les matériaux (calcaire, schistes argileux et scories) finement broyés sont portés à température de vitrification (En 1927 on parle de 1 500-1 650 °C), une élévation de température que seuls autoriseront les fours à calcination rotatifs , longs de 100 m. Le résultat appelé clinker est moulus très finement dans des broyeurs à ciment , gigantesques cylindres remplis de billes d'acier.

(10) Louis Joseph Vicat. Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues a pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux. Grenoble. Imprimerie Maisonville 1856

1-6-7 Classification et usage

On distingue deux types de liants dans la confection des mortiers et bétons :

- *les liants hydrauliques* : poudre minéralogique qui forme avec l'eau, une pâte faisant prise et durcissant à l'abri de l'air et notamment sous l'eau

- *les liants aériens* : poudre minéralogique qui forme avec l'eau, une pâte faisant prise et durcissant grâce au dioxyde de carbone contenu dans l'air

Le mortier chaux grasse fait prise en contact avec l'air. Il durcit en surface et reste souple à l'intérieur de la maçonnerie. Cette qualité en fait un mortier qui reste élastique et donc qui ne fissure pas. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques. Mais il ne doit pas être utilisé dans un milieu humide (cave, mur souterrain, etc.).

Le mortier de chaux hydraulique est fabriqué à partir de calcaires argileux. Il fait sa prise même sans contact avec l'air, sous l'eau par exemple. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques. Deux avantages sont qu'il reste plus flexible que le mortier de ciment et est perméable à la vapeur d'eau, donc régule l'humidité ambiante. En revanche, il est plus technique et lent à mettre en œuvre, et demande des conditions de température et hygrométrie plus étroites (néanmoins courantes en zone tempérée).

Le mortier de ciment est plus résistant que les mortiers de chaux mais il reste imperméable à l'air, par conséquent, il maintient l'humidité dans une maçonnerie traditionnelle de pierres qui doit toujours être aérée. Ce mortier doit être utilisé uniquement pour la maçonnerie des blocs de bétons ou autrement dit de parpaings en ciment. Sa rigidité en fait un matériau qui a tendance à fissurer sous l'action des écarts de température, notamment alternances gel & dégel, tandis que son imperméabilité l'expose aux moisissures. En revanche, il est plus facile, rapide, et tolérant à mettre en œuvre.

Le mortier bâtard permet d'avoir un ciment qui respire un peu sans trop absorber l'eau ; il convient bien pour crépir et ne se fissure pas comme un ciment fort. De plus, la chaux augmente le pouvoir collant du mortier, ce qui est appréciable en enduit vertical.

CHAPITRE II: Mortier romain (mortier de chaux)

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

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

2-1 Définition du mortier romain

Mortier romain antique

Le mortier romain de l'antiquité est, le plus couramment, composé d'une partie de chaux pour trois parties de sable fin, soigneusement mélangées. Le processus chimique dit carbonatation et celui dit "prise" des silicates etc. donne au mortier romain une dureté comparable à celle de la pierre et une durabilité.

Le mortier au tuileau est une variante comprenant une partie de chaux, une partie de tuileau, deux parties de sable. Le tuileau, qui est une argile cuite (briques et tuiles pilées) crée des conditions plus favorables à la prise du mortier.

2-2 Historique de l'utilisation de la chaux dans le mortier :

Les premiers mortiers étaient faits de boue ou d'argile. On utilisait ces matériaux en raison de leur disponibilité et de leur faible coût. Les Égyptiens utilisaient les mortiers de gypse pour lubrifier l'assise des grosses pierres qu'on déplaçait pour les mettre en place, toutefois, ces matériaux n'étaient pas très efficaces en présence d'humidité élevée et d'eau.

On a découvert que la pierre calcaire, lorsque brûlée et combinée à de l'eau, produisait un matériau qui durcissait avec le temps. Le premier usage documenté de la chaux comme matériau de construction remonte à environ 4000 ans av. J.-C., alors que les Égyptiens l'utilisaient pour plâtrer les pyramides. On sait par contre que l'Empire romain utilisait couramment la chaux dans les mortiers. Vitruvius, un architecte romain, donnait les grandes lignes pour la préparation des mortiers de chaux .

"... Lorsqu'elle (la chaux) est éteinte, laissez-la se mélanger avec du sable de manière à ce qu'il y ait trois parties de sable de carrière pour une partie de chaux; dans le cas de sable provenant de rivière ou le l'océan, deux parties de sable pour une partie de chaux. On obtient ainsi la bonne proportion pour le mélange.« (11)

Les mortiers contenant uniquement de la chaux et du sable nécessitent du dioxyde de carbone contenu dans l'air pour se convertir et reprendre la forme de pierre calcaire et durcir. Les mortiers de sable et de chaux durcissent lentement et ne durcissent pas sous l'eau. Les Romains ont créé des mortiers hydrauliques qui contenaient de la chaux et des pouzolanes tels que la poussière de brique et la cendre volcanique. Ces mortiers étaient destinés à des applications où la présence d'eau ne permettait pas une carbonatation adéquate du mortier. Des exemples de ce type d'application comprennent les citernes, les bassins de poissons et les aqueducs.

Fig.7. Colisée à Rome, monté en 1^{er} siècle de notre ère, par des mortiers de chaux coulés entre des parements de pierres, plus rapide, résistant et économique



(11) VITRUVÈDE L'ARCHITECTURE. LIVRE II. Vitruve : De l'architecture. Tome premier / trad. nouvelle par M. Ch.-L. Mauftras,...C. L. F. Panckoucke, 1847.

Les progrès les plus importants de l'utilisation des pouzzolanes dans les mortiers sont survenus au cours du 18^e siècle. On a alors découvert qu'en brûlant de la pierre calcaire contenant des argiles, on produisant un produit hydraulique. En 1756, James Smeaton a peut-être mis au point le premier produit de chaux hydraulique en calcinant de la pierre calcaire Blue Lias contenant de l'argile. On ajoutait également de la terre pouzzolanique d'Italie pour donner plus de résistance. Ce mélange de mortier a servi à construire le phare Eddystone. James Parker a breveté un produit appelé ciment romain ou ciment naturel en 1796. Le ciment naturel était produit en brûlant ensemble un mélange de pierre calcaire et d'argile dans des fours similaires aux fours utilisés pour la chaux. Le produit qui en résultait était broyé et entreposé dans des contenants étanches.



Fig.8. Les thermes colossaux de caracalla à Rome érigés au 2^{ème} siècle, la chaux permis de rendre possible ce complexe, nécessitant une excellente régulation de l'humidité et une résistance à l'eau

Les ciments naturels contenaient généralement plus d'argile que les produits de chaux hydrauliques, ce qui offrait une plus grande résistance. Les mortiers de ciment naturel étaient utilisés dans la construction lorsque la maçonnerie était soumise à de l'humidité et où des niveaux de résistance élevés étaient requis. (12)

Joseph Aspdin, un constructeur/maçon anglais, brevetait en 1824 un matériau appelé ciment portland. Le ciment portland est fait d'un mélange de pierre calcaire, d'argile et d'autres minéraux dans des proportions bien contrôlées; le mélange est ensuite calciné et broyé en fines particules. La consistance et les niveaux élevés de résistance du ciment portland lui permettent de remplacer les ciments naturels dans les mortiers. Par lui-même, le ciment portland a une mauvaise maniabilité, mais combiné à la chaux, il offre un excellent équilibre de résistance et de maniabilité. L'ajout du ciment portland aux mortiers de chaux accélère la vitesse du processus de construction des édifices de maçonnerie grâce à l'obtention plus rapide d'une résistance. Différents types de mélange combinant différentes quantités de chaux et de ciment portland ont été élaborés.

(12) Cowper, A.D. Lime and Lime Mortars. Building Research Station. London: HM Stationery, 1927.

Les produits de chaux ont joué un rôle important dans la construction de maçonnerie pendant des milliers d'années. Avant 1930, la plupart des constructions de maçonnerie utilisaient des mortiers à base de chaux. La chaux offre un rendement éprouvé comme en témoignent des structures telles que la Grande Muraille de Chine, qui existe depuis des centaines d'années. Les raisons qui justifiaient l'utilisation de la chaux dans le mortier il y a 2000 ans sont toujours valides aujourd'hui.



Fig.9. Ce vieux mur est la Grande Muraille de la Chine ont employé la même technique, sont faits de riz et chaux visqueux, bien qu'après 300 ans, encore de fort..

2-3 Procédés généraux de construction : les chaux et les mortiers

• Origine - liant -

L'invention d'un liant à partir de la cuisson d'une roche semble être très ancienne.

On a retrouvé au 6^{ème} millénaire a. J.-C. des plâtres (cuisson de la roche gypse)

C'est l'Égypte qui la première intercale un mortier de plâtre pour lier les pierres

Ce sont les grecs qui introduisent cette technique (enceinte de Doura – EUropos : les blocs sont scelles au plâtre et non avec des crampons). La chaux est connue des grecs comme des égyptiens mais elle sert essentiellement à faire des stucs et des supports de décoration et de peinture mais aussi enduits étanches comme les enduits de citernes

Le plâtre et la chaux sont des liants aérien . Leur durcissement est lié à l'air et plus particulièrement au gaz carbonique de l'air . On fait la différence entre liant aérien et liant hydraulique dont le durcissement n'est pas lié à la présence d'air . Exemple le ciment . (13)

• Apport romain

Les romain vont utiliser systématiquement la chaux pour la confection des mortiers de liaisons des maçonneries. Ce qui leur permettra de généraliser les moellons et le petit appareil ou le joint devient le composant primaire principal.

C'est cette évolution qui permettra l'application de la maçonnerie concrète

Le recours et la généralisation de la voûte

Vitruve est relativement bref sur la fabrication de la chaux bien qu'il l'aborde .

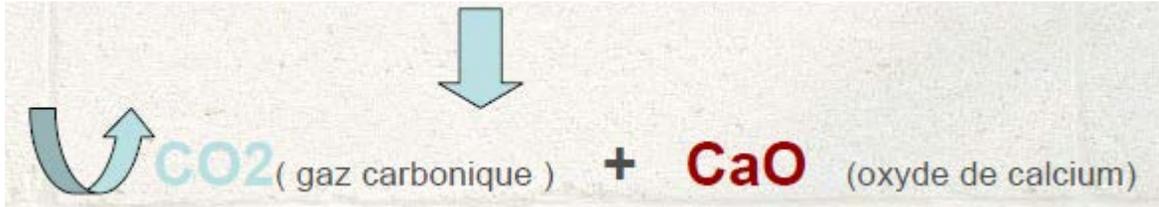
(13) J.P. Laurent, Histoire des techniques, intervention n°6: techniques Romaine: la chaux, 2004

2-4 Processus de fabrication

➤ Cuisson

La Chaux (latin calx) est obtenu par cuisson (calcination) de pierre calcaire vers 1000°C
La réaction montrant son évolution chimique avec la chaleur (perte de gaz carbonique) s'écrit:

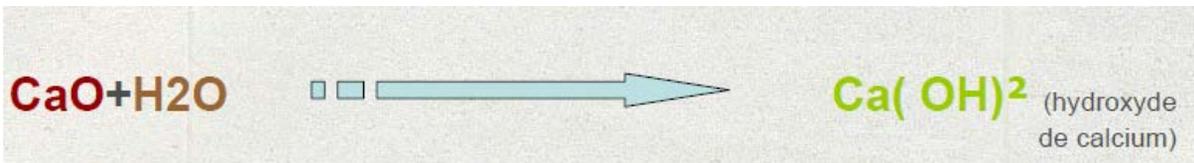
ROCHE CALCAIRE CO_3Ca (carbonate de calcium) donne par



➤ Calcination

CaO oxyde de calcium est appelé **chaux vive** . Aspect : **pierre pulvérulent**. Lorsque l'on **hydrate**

ce composé (ajout d'eau)on réalise **l'extinction de la chaux vive** . Les blocs se décomposent une fois immergés. Et se transforment en pâte . C'est la **chaux éteinte**.



FABRICATION du GYPSE

cuisson

Le gypse (pierre à plâtre qui est un sulfate de chaux hydraté se transforme en sulfate de chaux

anhydre) est obtenu par cuisson (calcination) de pierre vers 1000°C

Prise et liant

Cette réaction moins complexe est un retour en arrière dans la processus de fabrication du gypse pour pouvoir artificiellement terminer cette réaction en fonction de exigence de la construction.

La présence d'eau et d'air est donc fondamentale . On verra que cette réaction pourra être réversible

➤ L'adjonction d'agrégat permet d'obtenir un mortier. La colle le liant est la chaux éteinte, la charge est l'agrégat. Nous sommes la dans la constitution d'un composite.

Bien entendu cette réaction dans la nature avec les matériaux disponibles n'est pas aussi simple car souvent la roche calcaire de part sa constitution renferme bien d'autres composés que le CO_3Ca carbonate de calcium. Cette réaction est plus ou moins complète. Les produits obtenus seront différenciés. On distinguera différentes qualités de chaux. En particulier la présence d'argile modifie le liant obtenu : apparition de liant hydraulique

Peu à peu on va prendre conscience de ces mécanismes et raffiner les composants d'origine. Il ne s'agira plus de rechercher dans la nature la pierre calcaire (appelée pierre à chaux) mais d'extraire des composés organiques fondamentaux nécessaires.

La fabrication de la chaux laisse des traces puisque qu'il n'est pas direct de chauffer à 1000°C . Cela demande des installations complexes : Les fours à chaux.

Le four à chaux va donc concentrer la fabrication de plusieurs personnes en un seul point. Il représente dans l'organisation de la production une première centralisation des ressources (comme par la suite les moulins pour le blé)

La roche transformée par le four est encore compacte. Elle est vendue par le four en l'état plus facile à transporter. C'est sur le chantier que sera réalisée la fosse à extinction qui permettra d'obtenir la chaux

Le four à chaux

Le four à chaux se présente sous la forme d'un plan circulaire de forme tronconique de 2 à 7 m de diamètre. Pour permettre la montée en température le four est aménagé dans le sol le plus possible (isotherme le sol est très isolant)

L'activité est l'idéal ce qui permet l'accès par le bas pour le feu, et le chargement par le haut pour la pierre calcaire. Les bords sont traités en pierre ou argile

La roche est entassée à l'intérieur du four en ménageant un vide périphérique. *C'est la chambre de chauffe le chauffournier*

Dans la construction de four, il n'y a pas de distinction entre la partie four et la partie à calciné qui sont construits en même temps.

Bien que cette pratique existe encore en Tunisie Maroc ... ou le four cuit suivant la position à la fois chaux et terre cuites, on n'a retrouvé aucune trace permettant de généraliser cette pratique à l'antiquité

Pour un four de 120 m^3 temps de préparation 7 jours

Temps de cuisson 7 jours et nuits

Temps de défournement 7 jours

Donc 3 semaines pour un cycle complet

FOURA CHAUX

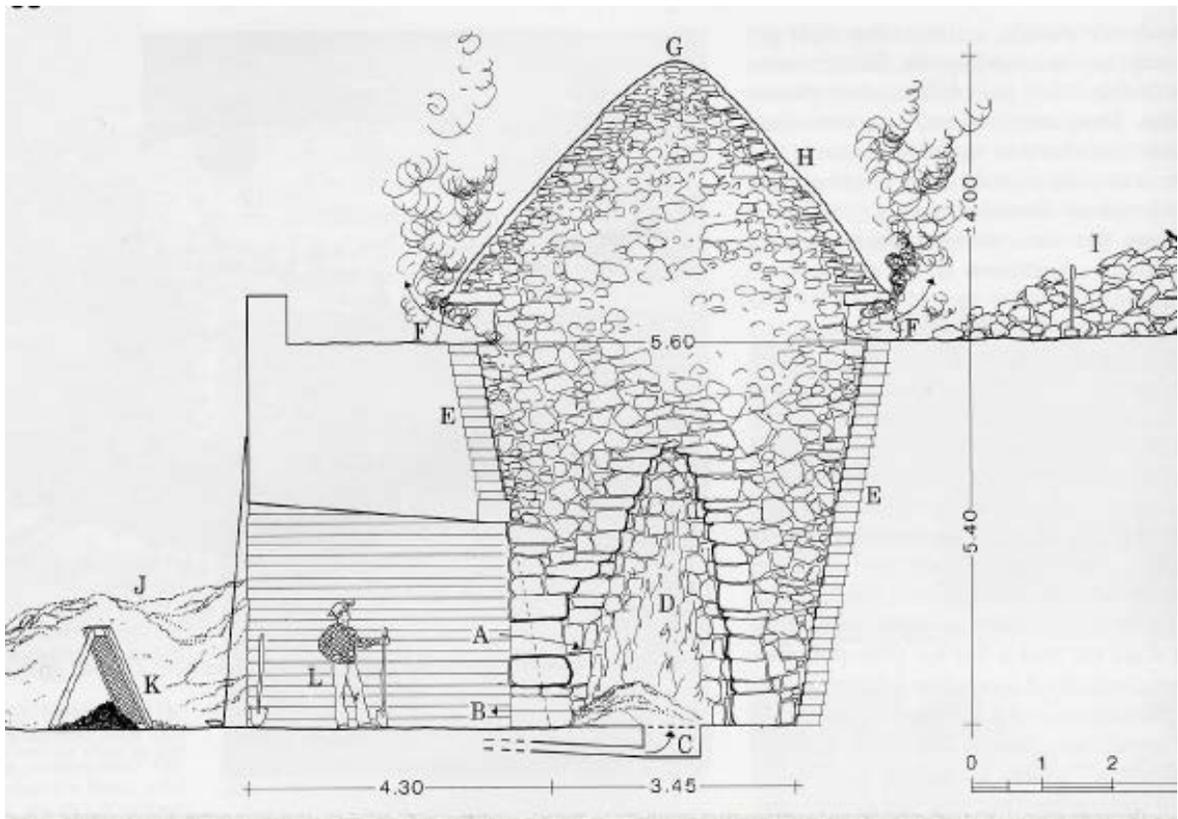


Fig.10. 153. Four à chaux de Foce (Campanie). JPA.

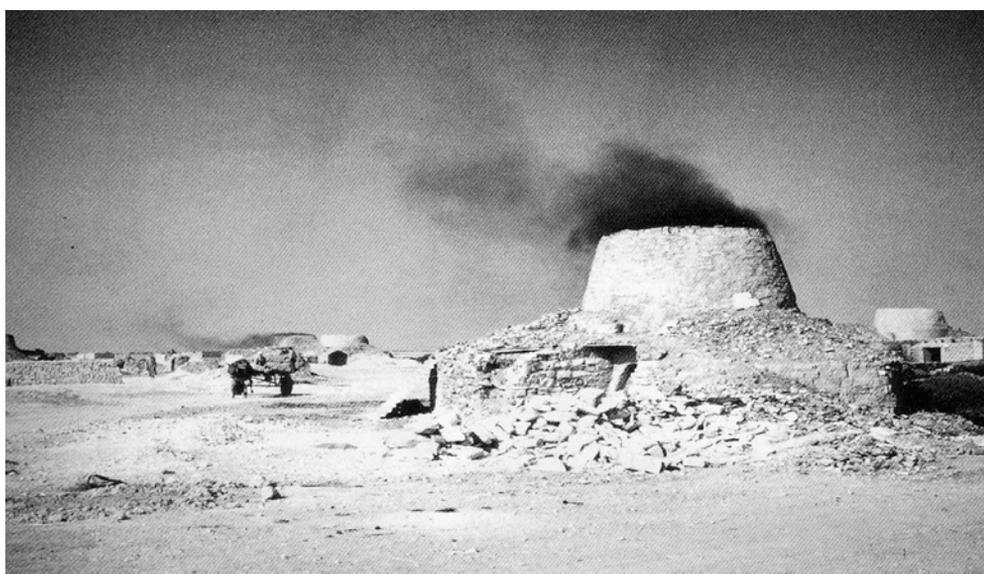
- A. entrée du combustible
- B. air frais, évacuation des braises
- C. ventilation
- D. chambre de chauffe
- E. parement de briques réfractaires
- F. événements (13 au total)
- G. *lamia*
- H. couverture de chaux grasse
- I. stockage des pierres à cuire
- J. stockage du combustible
- K. crible des braises
- L. rude chauffournier.



151

Fig.11. 51. Achèvement de remplissage du four, route d'Épidaure. JPA.

152. Cône extérieur, ou *lamia*, du four de Foce, durant la cuisson. Les événements s'ouvrent au ras du sol. JPA.



Source : J.P. Laurent, Histoire des techniques, intervention n°6: techniques Romaine: la chaux, 2004

➤ La chaux une fois hydratée va mettre beaucoup de temps pour faire sa prise . Cette extrême lenteur va en contrepartie la rendre très souple, plastique. Elle permet ainsi un tassement lent et progressif des constructions (assez lourde) au fur et à mesure de la construction .

Composition plus maîtrisées avec le sol une meilleure répartition des pressions

Les pierres utilisées étaient les marbres carbonate de calcium pur et les calcaires blancs



Fig.12. type de pierre utilisée

DEFINITION

Ciment

Origine étymologique : *»caementa » représente les caillou que l'on mêle avec la chaux pour faire les mur . Pour la confection des murs on parle d'opus caémenticium .*

Transfert alors que le liant est la chaux , caementa va designer le mortier puis le liant lui-même pour aboutir à ciment.

Le ciment comprend certes de la chaux mais des argiles et des oxydes (de fers et manganèses) . La totalité ces mélanges étaient inconnus des romains . Le terme ciment pour caractériser les liants romains est donc impropre.

Mortier

Lait de chaux

peinture comprenant 60 à 70 % de chaux . Application à la brosse sur pierre et sur terre

On les retrouve comme joint pure des maçonneries de grands appareils (idem joint plâtre de l'époque hellénique)

MAIS la chaux pose le problème de la durée de prise par rapport au plâtre qui a l'avantage d'avoir une prise très rapide

Mortier :

Mortarium désigne d'abord l'auge du maçon puis son contenu . (*le mortier est resté* aujourd'hui le récipient ou l'on mélange et ou l'on broie.

Le mortier est un mélange de chaux et d'un ensemble de matériaux divers appelés agrégats . Qui ont le même rôle que les **dégraissants pour les argiles**

Dégraissants

Mortier de mauvaise qualité

De façon générale les maçonneries qui nous sont parvenues sont des maçonneries enfouies et protégées . On fait toujours un grands cas des maçonneries romaines mais le mortier n'était en réalité pas de qualité exceptionnelle.

Il existait déjà des dosages et proportions retranscrites par Vitruve .dans les « dix livres de l'architecture »

Vitruve et l'effet pouzzolalique

Vitruve recommande l'usage du sable volcanique : la pouzzolane « sable près de Naples à la vertu tellement ferme que non seulement les édifices ordinaire mais aussi sous l'eau elle durcit » Vitruve

C'est ce que l'on continue d'appeler l'effet pouzzolanique et qui a des explications chimiques la forte présence de silicate d'alumine (constituant de l'argile cuite) . La prise du liant put des faire sous l'eau .Nous ne sommes plus dans une réaction carbonée liée à l'air . Nous sommes passé d'un liant aérien à un liant hydraulique .

La pouzzolane fut aussi remplacé pour les même raison par des morceaux de céramique pilée , des tuileau ... composé d'argile cuite

Dosages Mortier d'après Vitruve livre 2 et 5

LIANT	AGREGATS	EAU
1 volume de chaux	3 volume de sable de carrière	15 à 20%
1 volume de chaux	2 volume de sable de rivière	15 à 20%
1 volume de chaux	2 volumes de sable de rivière et un volume de tuileau	15 à 20%
1 volume de chaux	2 volume de pouzzolane s (ouvrages maritimes)	15 à 20%

2-5 Processus de mise en œuvre

Constitution des murs- opus

Murs romains sont constitués principalement d'un parement et d'un remplissage . Le mur n'est plus constitué dans toute son épaisseur d'un appareillage . Mais technique peut être inspirée du pisé il y a coffrage et remplissage . La plupart du temps , ce coffrage est définitif en pierre appareillé C'est l'opus caementicum,

Le mur est constitué de 3 parties les parements et le remplissage . Les parements peuvent être en brique en moellons n en grand appareils ou en petit appareil

Le coffrage permet un mélange intérieur médiocre pr. Le parement extérieur fait étanchéité . Le remplissage solidifié ne pousse pas sur le parement sauf en phase durcissement . Certain remplissage sont damés comme la terre ce qui nécessite des parements relativement résistants . Ce qui implique de protéger les tête des murs

Les éléments intérieurs sont des bétons mélange cailloux de mortier

Le principe permet de généraliser le matériaux de construction disponible partout et réalisable simplement par le plus grand nombre

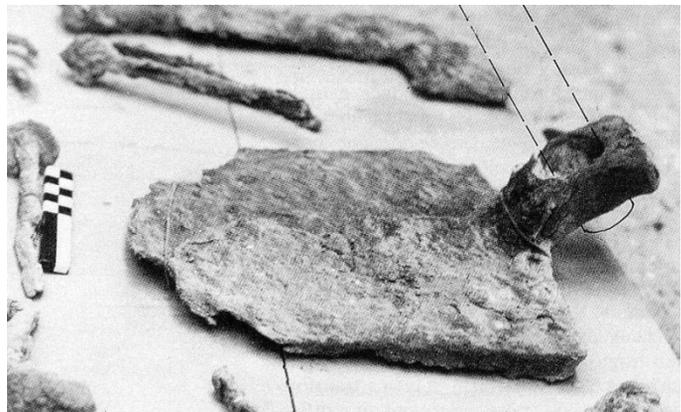
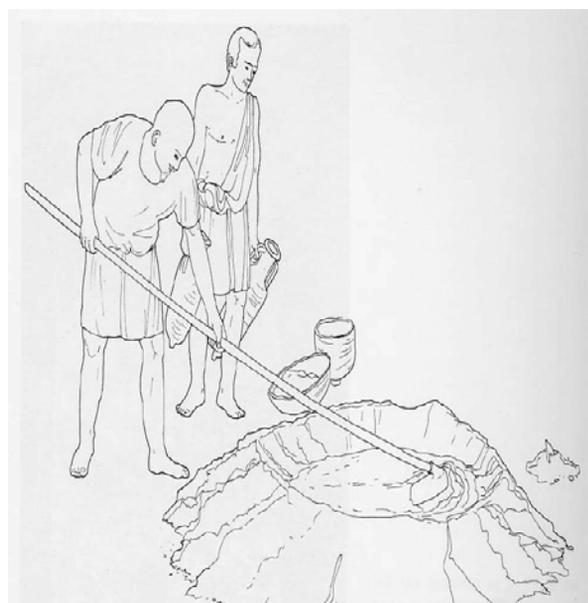
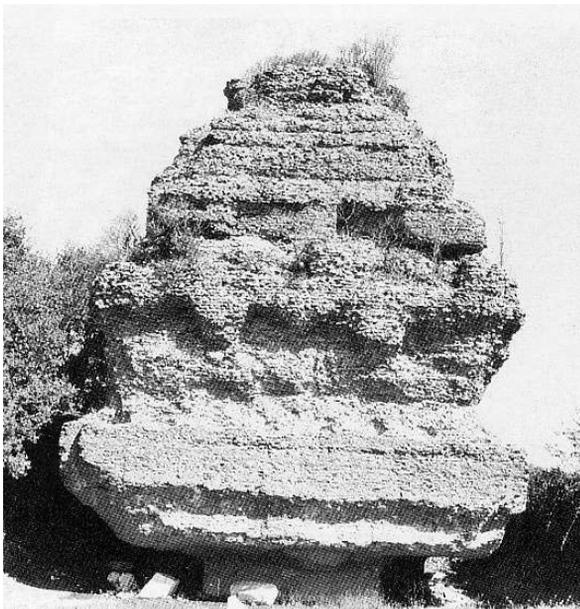
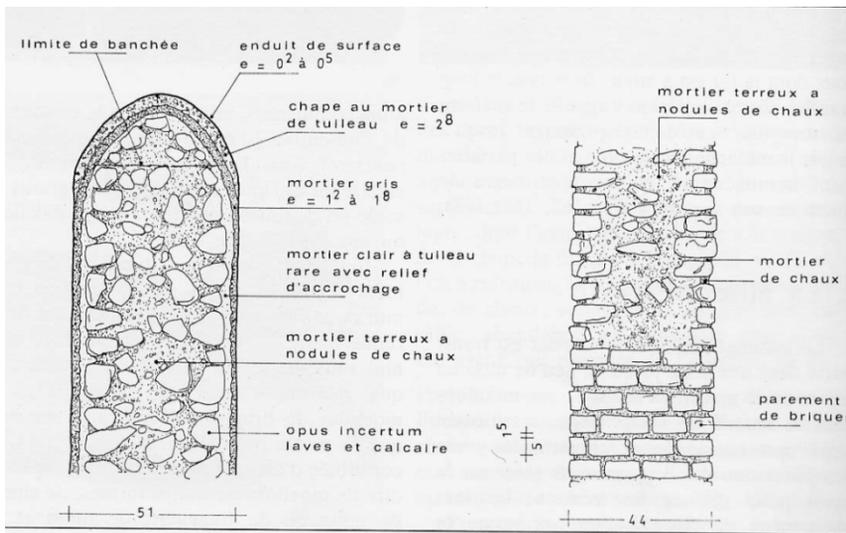


Fig.13. Opus caementum



Source : J.P. Laurent, Histoire des techniques, intervention n°6: techniques Romaine: la chaux, 2004

Fig.14. Opus caementum



Source : J.P. Laurent, Histoire des techniques, intervention n°6: techniques Romaine: la chaux, 2004

2-6 ETAT DE L'ART

2-6-1 Introduction

-Les travaux précédents sur les mortiers de chaux gallo-romains en Bourgogne ont été effectués principalement par Michel Frizot dans les années 70 (FRIZOT, 1975). Ce travail constitue toujours à l'heure actuelle une référence pour l'étude des mortiers de chaux gallo-romains, avec une série d'études intégrant la fonction du matériau et l'origine des matières premières. L'étude des mortiers archéologiques a ensuite été relancée par Christian Sapin à la fin des années 80 (SAPIN *et alii*, 1991), mais peu de travaux ont porté sur les mortiers gallo-romains (sur les enduits peints gallo-romains : PALAZZO-BERTHOLON, 2003).

- L'étude porte sur le patrimoine technique du métier de maçon en Gaule romaine, plus particulièrement sur la nature des habitudes techniques, leur apparition et leur évolution. Les résultats récents obtenus sur les mortiers et enduits antiques de Bourgogne permettent de mettre en évidence les paramètres fondamentaux amenant l'artisan à établir la composition de son matériau.

-La méthode analytique est fondée sur la pétrographie, l'observation des matériaux à différentes échelles, notamment en microscopie optique en transmission pour l'analyse des lames minces. Cette technique permet d'obtenir rapidement un grand nombre d'informations sur la nature des matières premières et la structure du matériau.

2-6-2 Cas d'exemple :

1 - le site de Molesme « Sur-les-Creux » en Côte-d'Or, fouillé par Christophe Petit, qui présente une phase maçonnée datée du tout début du I^{er} s. ap. J.-C.

Le site de Molesme « Sur-les-Creux » (Côte d'Or) fut découvert par photographie aérienne en 1976 par Roger Goguey. Le bâtiment se présente suivant un plan à peu près rectangulaire (25 x 13 m) orienté nord-sud (fig.17). Il occupe une surface voisine de 325 m². Les murs, larges de 0,60 m, sont constitués de deux faces parementées de moellons taillés au pic. Les sols sont constitués d'un hérisson de

pierres sur chant de petit module recouvert d'un béton de chaux dont la surface lissée n'est conservée que par endroits. La grande façade ouest est occupée sur toute la longueur du bâtiment par un long couloir de 3m de large qui semble constituer une sorte de galerie.

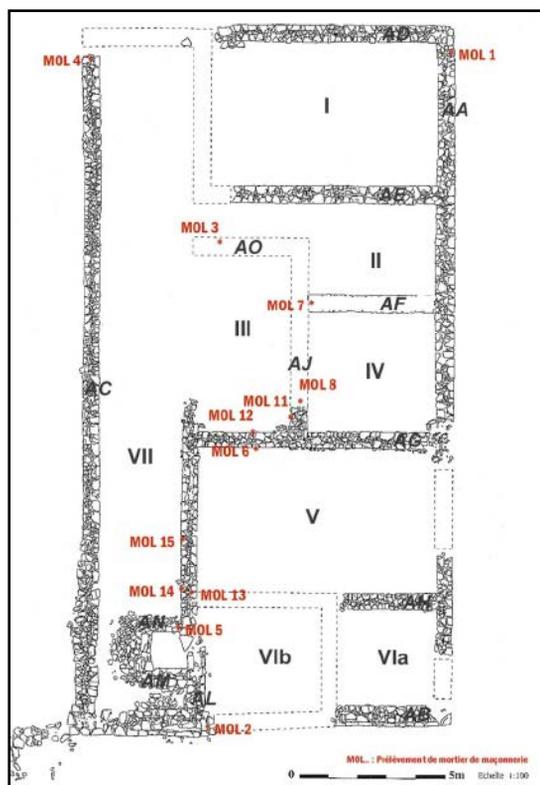


Fig. 17. Relevé « pierre à pierre » du bâtiment maçonné sud-est et points de prélèvement des mortiers de maçonnerie. Molesme « Sur-les-Creux » (Relevé Petit et Wahlen 2000).

2 - Les thermes de la villa d'Escolives-Sainte-Camille dans l'Yonne, étudiés par Pascale Laurent et datés du I^{er} au IV^e s. ap. J.-C.

Le site d'Escolives-Sainte-Camille se trouve à dix kilomètres au sud d'Auxerre. Le site se compose de vestiges gallo-romains, fouillés depuis 1955, La partie gallo-romaine est constituée de thermes importants et d'habitats,

occupés du I^{er} au Ve siècle ap. J.-C. Cet ensemble est interprété depuis peu comme une villa. L'établissement est d'une grande superficie, entre quatre et six hectares ; la partie agricole est peu connue. La partie privée, étudiée depuis les premières campagnes de fouilles, s'est révélée luxueuse par ses décors (enduits peints, placages de marbre, mosaïques...) et par l'étendue de sa partie thermale

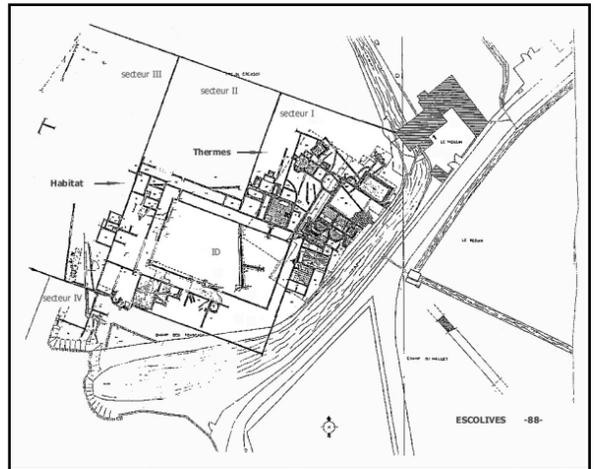


Fig. 18. Villa d'Escolives-Sainte-Camille : habitat et thermes (d'après Laurent 96).

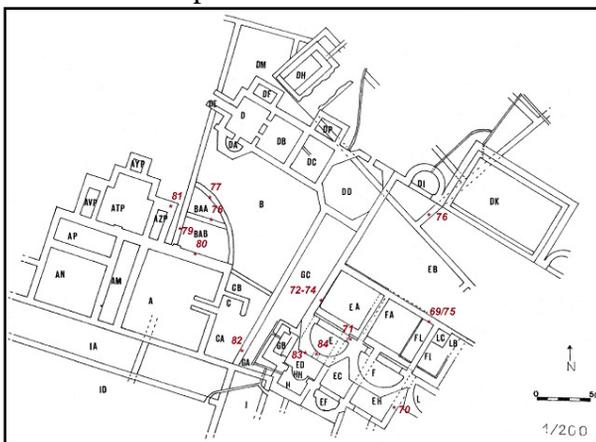


Fig. 19. Plan de la partie thermale et points de prélèvement.

-3 - Le mausolée de Faverolles en Haute-Marne, fouillé par Serge Février, et daté du I^{er} s. ap. J.-C.

Le village de Faverolles (Haute-Marne) se situe en limite méridionale du Bassin de Paris, le mausolée de Faverolles a été bâti entre 20 et 30 ap. J.-C .

Il était richement décoré, construit en blocs de grand appareil assemblés à joints vifs. L'étude des mortiers s'est portée sur la base du massif de blocage intérieur qui présentait notamment un niveau discontinu de chaux



Fig. 20. Blocage du mausolée de Faverolles et niveau de chaux

2-6-3 Le cycle de la chaux

- Le cycle de la chaux permet de suivre les différentes étapes de la chaîne opératoire du mortier de chaux. Ce cycle débute par la calcination à température d'environ 900° C d'un carbonate de calcium (CaCO_3), la pierre à chaux, un calcaire.
- Il sort alors des fours à chaux des blocs de chaux vive, un oxyde de calcium (CaO). On considère généralement que ce sont ces blocs qui étaient ensuite transportés sur les chantiers, même si peu d'éléments permettent de l'assurer.
- Cet oxyde de calcium, très instable, est ensuite aspergé d'eau dans des fosses ; c'est la réaction d'extinction qui permet d'obtenir une pâte de chaux éteinte, onctueuse, base du mélange chaux-sable-eau préparé lors du gâchage puis mis en œuvre.
- Le di-hydroxyde de calcium composant la chaux éteinte (Ca(OH)_2) subit alors une réaction de carbonatation : absorption du CO_2 d'origine atmosphérique et évaporation de l'eau.
- Cela entraîne la formation d'un carbonate de calcium (CaCO_3), ce qui boucle le cycle et permet le durcissement de la matrice calcitique du mortier (c'est le phénomène de prise).

- Une cuve à chaux a été retrouvée sur le site de Molesme «Sur-les-Creux » (en Côte-d'Or), à cuvelage de planches de sapin (fig.). L'absence de fosse à chaux à proximité amène à supposer une utilisation multiple pour la cuve, utilisée à la fois pour l'extinction de la chaux vive, pour la macération de la chaux éteinte et pour la conservation temporaire de la pâte de chaux



Fig.21. Molesme « Sur-les-Creux » (Côte-d'Or), début du I^{er} s. ap. J.-C. Cuve à chaux. Le fond de la cuve est constitué de planches de sapin (photo Ch. Petit).

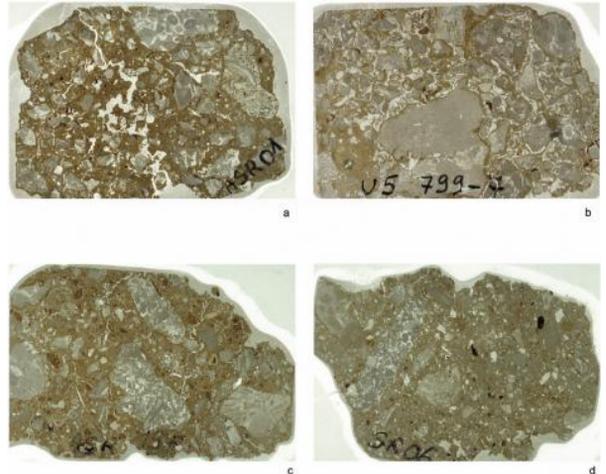
2-6-4 Typochronologie

- La typologie des mortiers consiste à répartir les échantillons dans différents groupes après l'étude de leurs traits caractéristiques. Cette typologie est ensuite comparée aux phases de construction de l'édifice étudié. Les échantillons issus de maçonneries dont l'appartenance à un état de construction est parfaitement connu ce qui permettent de construire un diagramme « chronostratigraphique ». **Une datation des types de mortier** peut alors être proposée lorsque les états ou les phases sont datées, et inversement des maçonneries auparavant mal datées peuvent être rattachées à une phase précise de construction grâce à **l'étude de leur liant architectural**. Cette typochronologie est ensuite utilisée pour discuter les interprétations chronologiques.

-La compilation des différentes typochronologies mises en place lors des travaux sur les sites gallo-romains bourguignons montre presque systématiquement que l'on peut associer un type précis de mortier de maçonnerie avec une seule phase de construction, et plus rarement un type de mortier pour plusieurs phases successives

- Ces travaux autorisent le suivi de l'évolution des mortiers de maçonnerie sur plusieurs siècles en un même lieu. Le résultat principal est la mise en évidence, pour chaque site, de concordances dans les recettes des matériaux entre des états bien distincts de maçonnerie

-La figure montre les lames minces correspondant à ces quatre types de mortier. On peut aisément remarquer que la nature du sable et sa granulométrie varient peu d'un mortier à l'autre, et cela malgré la discordance de phases de construction



-Cette ressemblance des matériaux signifie l'emploi, deux siècles après, des mêmes matières premières dans des proportions sensiblement équivalentes. Cela dénote donc d'une part une origine locale des matières premières et témoigne visiblement, d'autre part, d'une persistance des habitudes techniques. (16)

Fig.22. Lames minces des types de mortier (photo A. Coutelas).

2-6-5 L'origine des matières premières :

- Tous les travaux effectués sur les mortiers de maçonnerie gallo-romains ont montré que les matières premières sont prélevées dans l'environnement géologique proche. La composition des mortiers de maçonnerie est donc liée à la nature et à la diversité des formations géologiques locales.

- Le traitement du sable est très rarement mis en évidence pour les mortiers de maçonnerie, vraisemblablement parce que les volumes concernés sont trop importants.

2-6-6 Le patrimoine technique : recettes et fonctions

Lorsque l'on aborde les pratiques du métier antique de maçon, le point fondamental est de comprendre que le choix des recettes dépend en premier lieu de l'utilisation du matériau : c'est la relation entre la fonction et la composition du matériau. Cela nous amène à quitter le domaine exclusif des mortiers de maçonnerie pour envisager toutes les utilisations du mortier de chaux. On s'aperçoit alors que les relations entre recettes et fonctions sont particulièrement nombreuses.

(16) COUTELAS A., 2003a, *Pétoarchéologie du mortier de chaux gallo-romain, essai de reconstitution et d'interprétation des chaînes opératoires : du matériau au métier antique*, Thèse de doctorat, Université Paris 1.

2-7- Conclusion

l'étude des mortiers de chaux permet de restituer les techniques de construction et de décoration romaines (elle offre de surcroît une meilleure connaissance des phases de construction de l'édifice étudié). La recherche en cours a permis de mettre en évidence que la composition des matériaux dépend en grande partie des deux paramètres suivants :

- d'une part le choix des recettes est dicté par les traditions techniques, portant notamment sur l'adéquation entre la nature du matériau et sa fonction ;
- et d'autre part la nature des matières premières est prioritairement imposée par l'environnement géologique.

Il s'avère, pour le domaine des mortiers de maçonnerie, que les techniques observées en Bourgogne à la période antique sont assez uniformes à travers les siècles suivant la zone d'influence géologique. Enfin, l'ensemble des relations entre fonction et composition s'insère dans le patrimoine technique identifié actuellement pour la Gaule romaine : pour exemple, la technique des joints regarnis, qui semble être mise en œuvre sur les sites aux mortiers de maçonnerie de faible qualité, est attestée aussi bien en Bourgogne qu'en Picardie et en Normandie.

CHAPITRE III : CAS D'ETUDE : LA VILLE DE TIPAZA

3- 1 INTRODUCTION

3-1-1 Présentation de la ville d'intervention

-Tipaza est une wilaya située à 68 km à l'Ouest de la capitale. Érigée chef-lieu de wilaya en 1984. C'est l'une des grandes villes d'Algérie non pas par son étendue dans l'espace mais par sa profondeur dans le temps.

TIPAZA aujourd'hui, forte par son caractère « historico- touristique » sa richesse en vestiges archéologiques, son inscription au patrimoine mondialement reconnu et son statut administratif de chef lieu de wilaya.

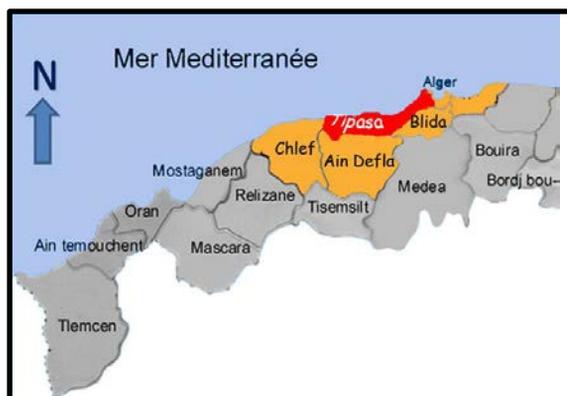


Fig.23. Carte de situation de la ville de Tipaza

3- 1-2-Aperçu historique :

-Le peuplement de la région de Tipaza, au même titre que le pays, a connu plusieurs civilisations. La lecture de l'histoire permet de comprendre le processus de formation et de croissance de la ville à travers le passage des différentes civilisations qui ont marqué et participé sa forme actuelle.

-A travers les recherches effectuées, quatre époques ont laissé leurs traces dans la ville de Tipaza :

➤ Epoque Phénicienne :

«...La création de Tipaza remonte vers le 5^{ème} et 6^{ème} siècle avant J.C par les phéniciens .Le nom de Tipaza signifiait pour eux "lieu de passage"».

Mounir Bouchenaki-Tipaza (site du patrimoine mondial)

➤ Epoque Romaine :

46 A.J.C, les romains se sont installés sur les terrains phéniciens.

Il Ya eu une extension de la ville vers l'est et l'ouest avec destruction des remparts et l'implantation parallèle à la mer grâce au cardo - documanus.

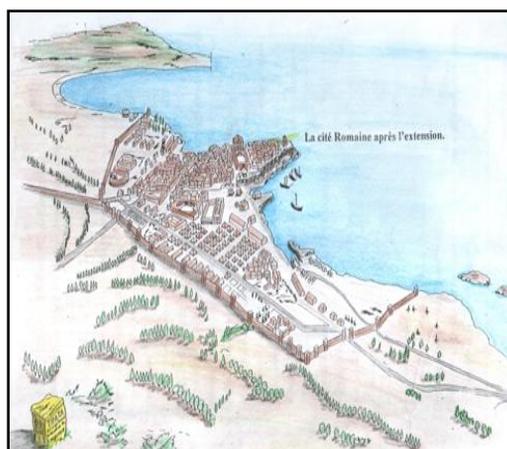
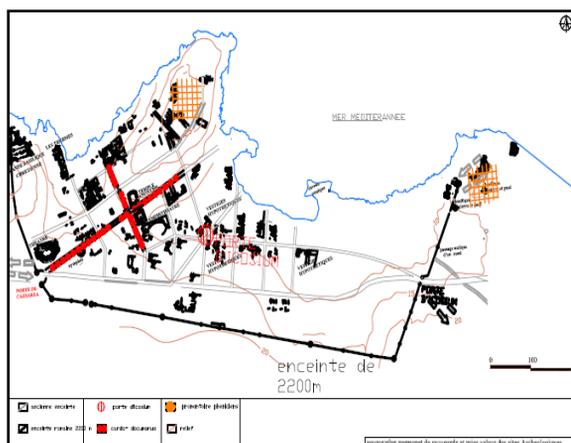


Fig.24. Carte de la période romaine 150 ap. J. C.

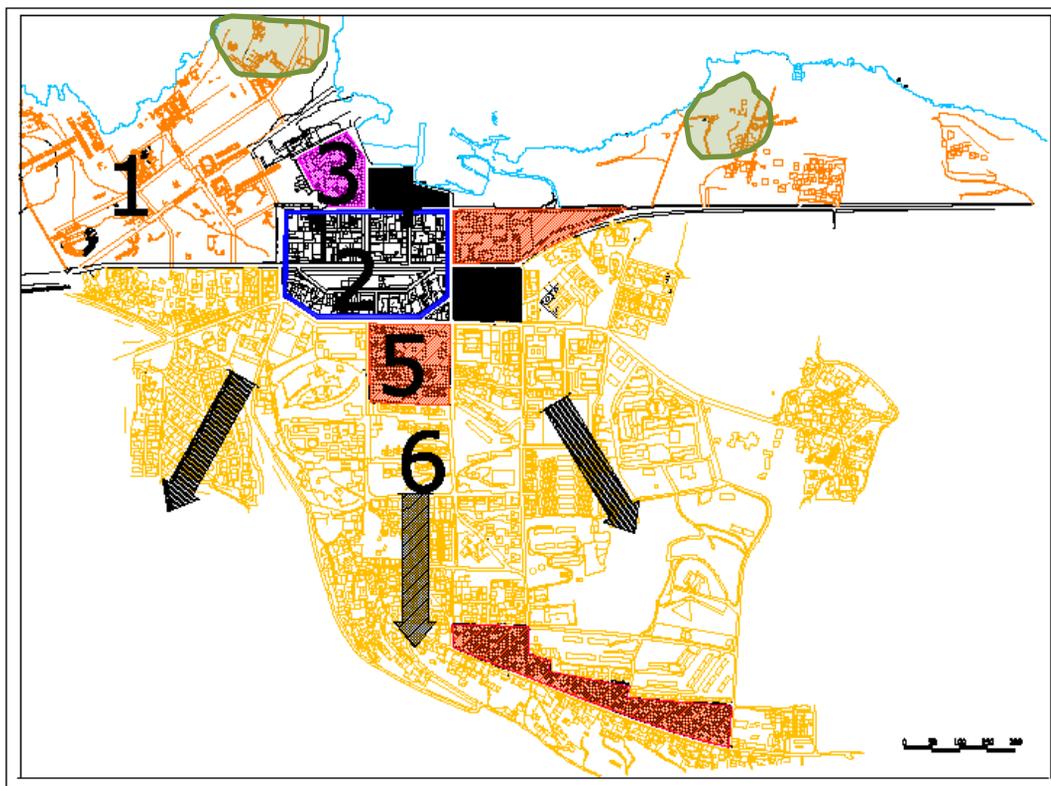
➤ Epoque coloniale :

Création de deux tissus l'un orienté sur l'axe est -ouest destiné pour les colons. Quant au 2ème tissu mal structuré était abrité par la population autochtones (cité oued Merzoug). (17)

Synthèse :

L'accroissement de la ville de Tipaza a été influencée et conditionné par plusieurs phénomènes, mais aussi par une ligne de croissance dont la barrière **historique (les vestiges)**, de par ses sites antiques, celle **géomorphologique**, de par l'Oued, ou encore celle **politique** avec les terrains agricoles.

On constate également, dans le site, certains éléments de permanence, à valeurs diverses, tels les sites antiques bénéficiant d'une **valeur historique et esthétique** mais également d'une **valeur d'usage**, étant donné que les sites sont inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1982, le port, ou encore la voie principale (Est-ouest) reliant Tipaza à Cherchell et Alger.



-  Epoque phénicienne
-  Epoque romaine
-  Epoque coloniale
-  Epoque contemporaine

Fig.25. Carte de synthèse

(17) D'après le PPMVSA de Tipaza

3-1-3 Site d'étude : les parcs archéologiques de Tipaza

Le site archéologique de Tipaza regroupe l'un des plus extraordinaires complexes archéologiques du Maghreb. Cette ville côtière a d'abord été un comptoir carthaginois, dont la nécropole est l'une des plus anciennes et des plus étendues du monde punique (VIe au IIe siècle avant notre ère). Durant cette période, Tipaza a joué le rôle d'une escale maritime, un lieu d'échanges commerciaux avec les populations autochtones. De nombreuses nécropoles traduisent des modes d'inhumations et de pratiques funéraires très variées qui témoignent d'échanges d'influences multiculturelles remontant aux temps protohistoriques.



Fig.26. situation du parc archéologique Ouest de la ville de Tipaza

La période romaine est marquée par un ensemble prestigieux d'édifices, constitué de typologies architecturales très diversifiées. Du IIIe au IVe siècle de notre ère un essor religieux chrétien remarquable s'exprime par la multitude d'édifices religieux. Certains sont ornés de pavements en mosaïques de belle facture, illustrant des scènes quotidiennes, ou à motifs géométriques.

-Tipaza apporte un témoignage exceptionnel sur les civilisations puniques et romaines maintenant disparues

-Les vestiges architecturaux et archéologiques des sites de Tipaza illustrent des méthodes de construction et des traditions architecturales particulières au Maghreb antique. Intégrés dans leur espace naturel, ces sites présentent une singularité morphologique, urbanistique et architecturale qui les distingue des autres sites antiques méditerranéens et en fait un exemple unique

Le plus ancien établissement romain, protégé par des falaises et par un mur défensif rudimentaire, occupe une pente abrupte au centre de la ville. En 147 apr. J.-C., à l'époque de la guerre entreprise par l'empereur Antonin le Pieux contre les Mauritaniens, cette modeste agglomération fut entourée par un mur de 2 300 m de longueur. Ce rempart, qui est flanqué par des tours carrées ou rondes, comporte trois entrées principales, dont deux sont protégées par des bastions semi-circulaires comparables à ceux connus en Gaule et en Germanie. D'importants monuments, situés aussi bien au centre de la première ville que dans ses nouveaux quartiers, s'élèvent à l'intérieur de cette enceinte : le forum, la *curia*, le *capitolium*, deux temples, un amphithéâtre, un *nymphaeum*, un théâtre et des thermes.



Fig.27. enceinte romaine du parc archéologique de la ville de Tipaza

Les ruines impressionnantes des bâtiments publics se dressent dans un réseau dense de maisons privées (dont beaucoup sont décorées de peintures et de mosaïques), d'entrepôts commerciaux et d'ateliers artisanaux des II^e et III^e siècles. Le christianisme est attesté dans la ville au cours de la seconde moitié du III^e siècle (Tipasa devint ensuite un évêché), et de nombreux édifices chrétiens y ont été construits. L'immense basilique du IV^e siècle, qui comporte sept nefs, dont celle du centre fut plus tard subdivisée, et un baptistère de plan circulaire, se trouvait intra-muros, à l'ouest de la colline de Ras Knissia. (18)

À l'extérieur de l'enceinte, un vaste cimetière chrétien s'est développé autour d'une chapelle funéraire construite par l'évêque Alexandre comme tombeau pour son prédécesseur. En face, à l'est, se trouvait la basilique des saints Pierre et Paul, tandis que la colline de Saint-Salsa conserve la tombe de ce martyr et l'église qui lui fut consacrée, qui devinrent un but de pèlerinage, et autour desquelles se développa un autre cimetière.

(18) D'après la description de site officiel de l'UNESCO

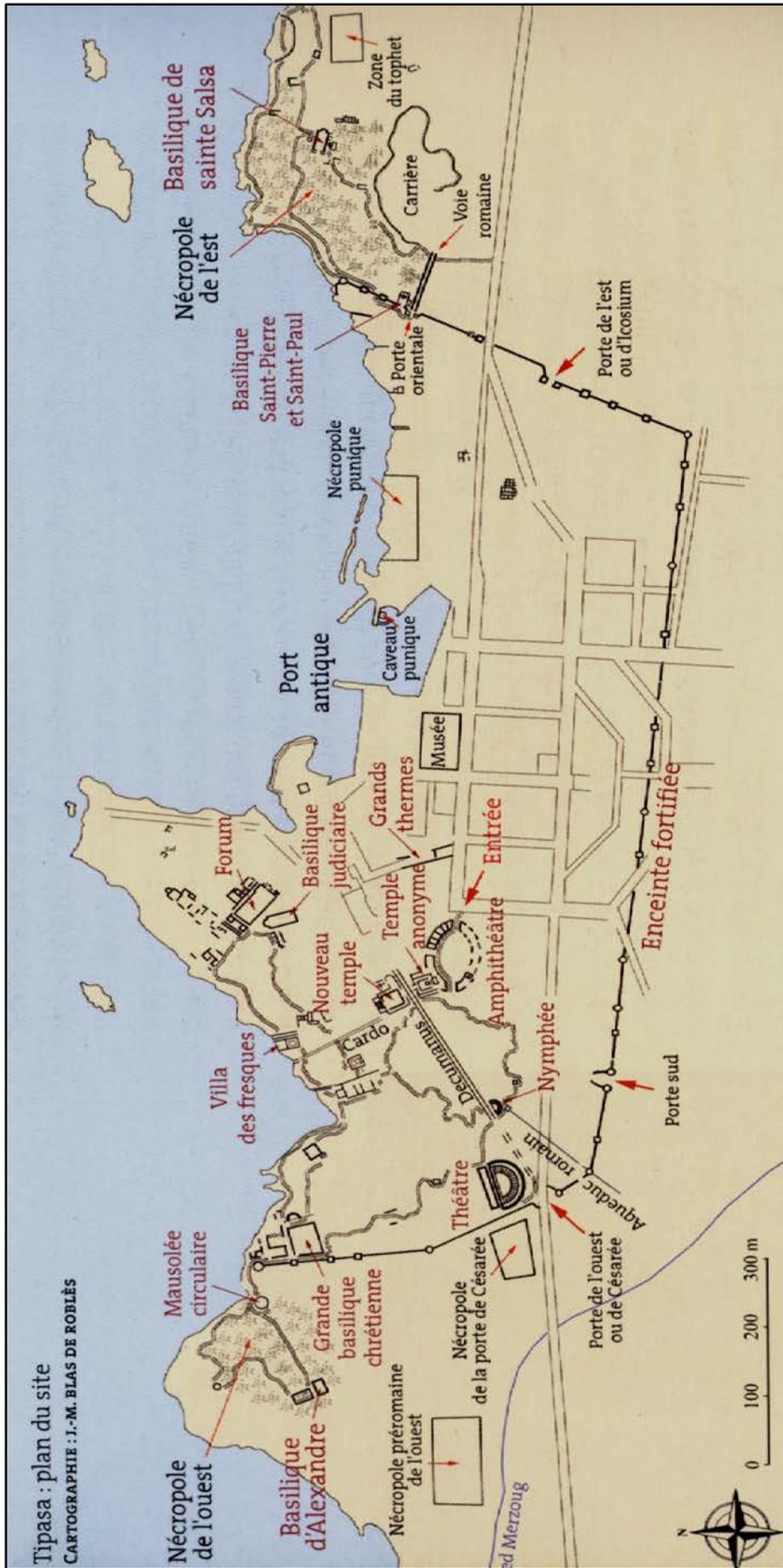


Fig.28. Plan de situation des différents édifices romains
source: Musée de Tipaza

Quelques édifices publics



Grande basilique



Villa des fresques



L'axe Cardo



Théâtre



L'axe documanus



Amphithéâtre



Les grands thermes

Visite du site :

Dans cette partie de recherche (étude in situ) , et après avoir visiter le parc archéologique Ouest de la ville de Tipaza plusieurs fois on observe que la plupart des traces des monuments concerne la structure vertical (clôture ,de ces derniers pour cela notre étude se basera sur l'étude du type de mortier des différents édifices romain publics et privés au niveau de l'appareillage .

Donc notre choix s'est portée sur 4 édifices publics:

- l'amphithéâtre
- le théâtre
- la grande basilique chrétienne
- les petits thermes
- le nouveau temple et le temple anonyme

Et un édifice privé:

- la villa des fresques

Et enfin les deux axes principaux de la ville romaine:

- le Cardo-decumanus

, on étudiant l'emploi de mortier de chaux dans différents type d'appareillage de pierre et de brique.



Fig.28. situation des différents édifices à étudier

3-1-4 Les édifices romains :

➤ Amphithéâtre :

Est un monument de spectacle destiné aux combats de gladiateurs et aux combats entre fauves, très apprécié durant l'antiquité. L'amphithéâtre de Tipaza fut érigé vers la fin du II^{ème} et début de III^{ème} siècle avec des matériaux de récupération, essentiellement des nécropoles de la cité antique.

L'édifice est le plus grand monument exhumé dans les ruines de la cité, avec une superficie de 3500m² et un axe de 80m.

Abandonné au VI^{ème} siècle à cause de l'affirmation du christianisme en Afrique, l'édifice devient une source de matériaux de construction pour les édifices tardifs



Fig.29. Relevé actuel de l'amphithéâtre / PPMVSA

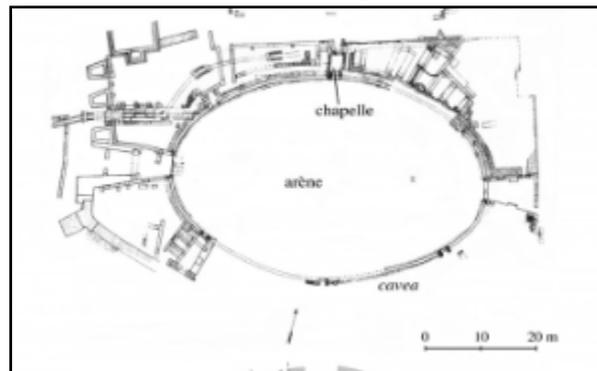


Fig.30. Plan de l'amphithéâtre de Topasa (d'après S. Lancel)

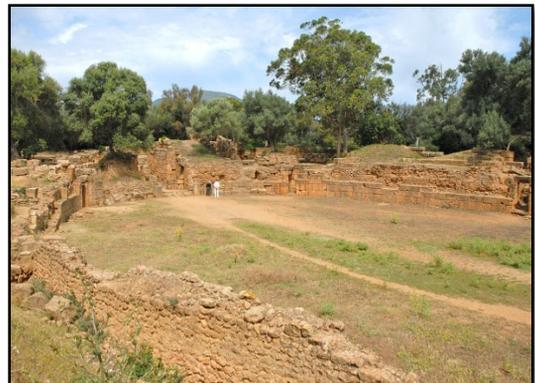
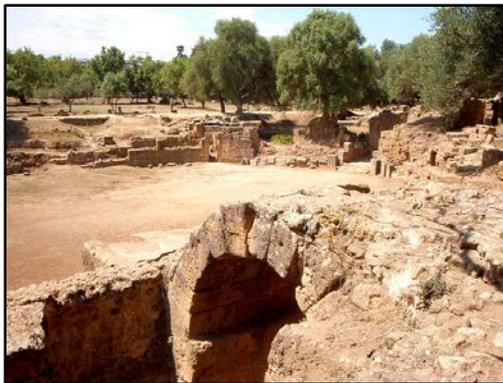


Fig.31. photos de différents vues de l'amphithéâtre

ETUDE DE MORTIER

L'opus caementicium

(du latin caementum = moellon, pierre brute) est un mélange de fragments de pierre ou d'éléments en terre cuite et de mortier de chaux pour liant.

-C' est une maçonnerie réalisé à partir d'un mortier constitué de sable, d'eau et de chaux, liant entre eux des fragments de roches et des cailloux. Très utilisé par les Romains, il présente divers intérêts ; tout d'abord, une solidité et une durabilité exceptionnelles.



Fig.32. clôture de l'amphithéâtre

- **L'opus quadratum** les pierres taillées en parallélépipèdes sont disposées en assises, tout les pierres (calcaire) sont identique et assemble avec du mortier de chaux.

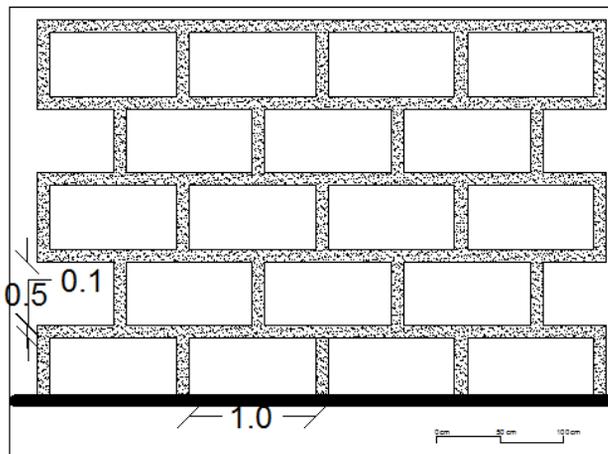
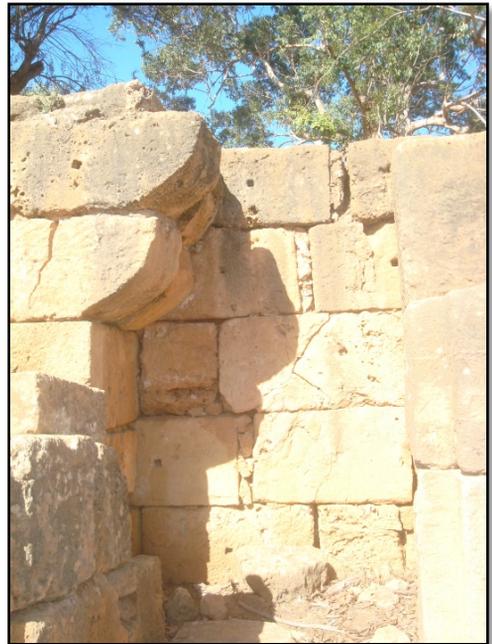


Fig.33. Vue de face

➤ La villa des fresques :

Les villas particulière de Tipaza sont en majorité de tradition hellénistique ; ces habitations de dimensions considérable comportent plusieurs pièces organisées autour d'une cours interne à ciel ouvert(atrium)

La villa des fresques fut construite en IIème siècle selon une tradition architecturale hellénistique ; on y rentre par une large porte cochère,doublée d'une entrée pour piéton qui donne sur le portique du Cardo.on accède ensuite à une cour intérieure bordée sur quatre cotées par un péristyle sur lequel s'ouvrent les différentes pièces.

La principale pièce, est la salle à manger pavée d'une mosaïque.

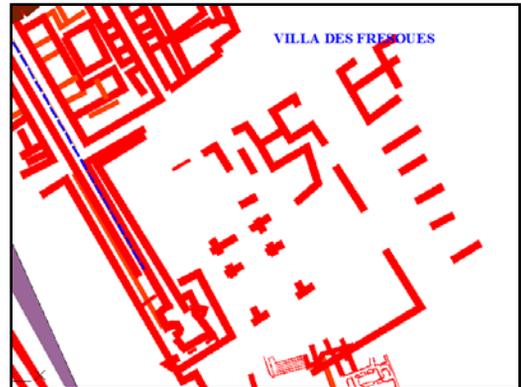


Fig.34. Relevé actuel de la Villa des fresques / PPMVSA

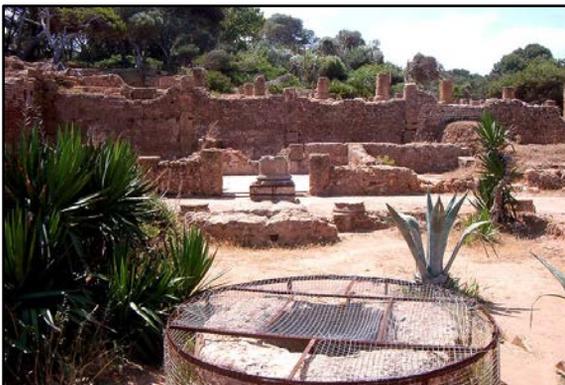


Fig.35. photos de différents vues de la villa des fresques

ETUDE DE MORTIER

Appareil incertain ou fruste:

Appareil mettant en œuvre des cailloux et /ou des moellons de forme irrégulière, sans qu'on puisse y distinguer des assises bien différenciées avec un mortier de chaux $Ep = 5cm$



Fig.36. clôture de la villa des fresques

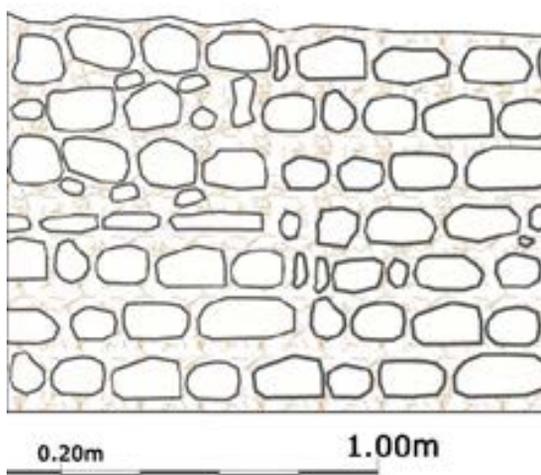


Fig.37. vue de face Opus incertain

- **L'opus africanum** c'est un type d'Opus mixtum, utilisant le même matériau, la pierre, mais rompant la régularité du parement par l'adjonction d'alignement du mur. Les pierres sont généralement assemblées avec le mortier de chaux.

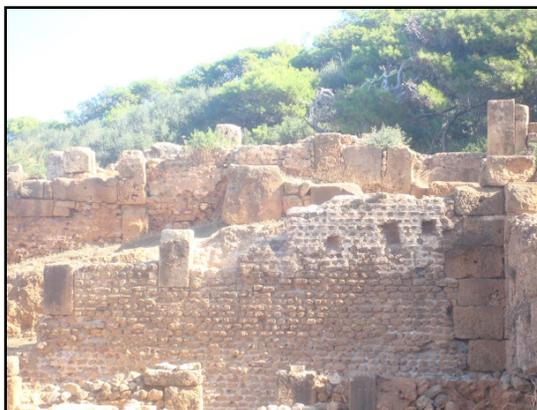
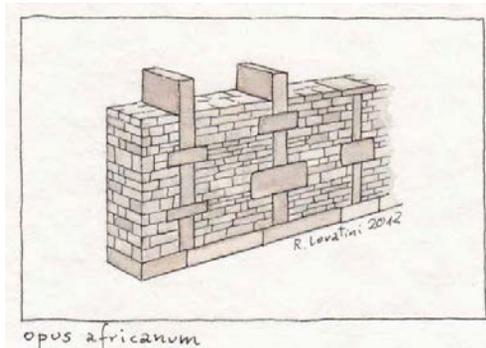


Fig.38. vue de face Opus africanum



➤ Le théâtre :

Le théâtre de Tipasa fut gravement mutilé en 1847, lorsqu'on utilisa ses maçonneries. Contrairement à nombre de théâtres classiques bâtis à flanc de colline, celui-ci est tout entier construit, sur terrain plat. On verra, en en faisant le tour, les piliers massifs qui supportaient l'édifice. L'auditorium était conforme à la conception traditionnelle en usage chez les Romains. Il pouvait contenir trois à quatre mille spectateurs ce qui le plaçait dans la bonne moyenne des théâtres africains. On y accédait par des passages souterrains qui débouchaient devant la scène et par quatre escaliers extérieurs donnant sur une galerie courant à mi-hauteur. Seuls sont conservés les trois premiers gradins. Au-delà d'une balustrade dont il ne reste que quelques fragments, l'orchestre semi-circulaire, séparé de la scène par un mur de briques indenté dont la fonction était de briser les échos. Au-delà de ce mur, la fosse munie des piliers qui supportaient les planches de la scène. Le mur de scène a été détruit.

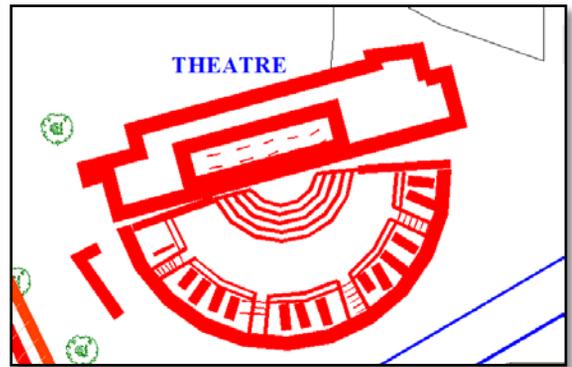


Fig.39. Relevé actuel du théâtre Romain / PPMVSA

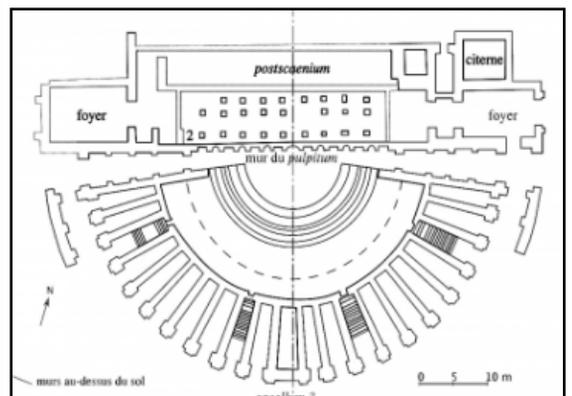


Fig.40. Relevé du théâtre Romain / Tipasa : A. Pichot d'après FRÉZOULS, Edmond, « Le théâtre romain de Tipasa »,

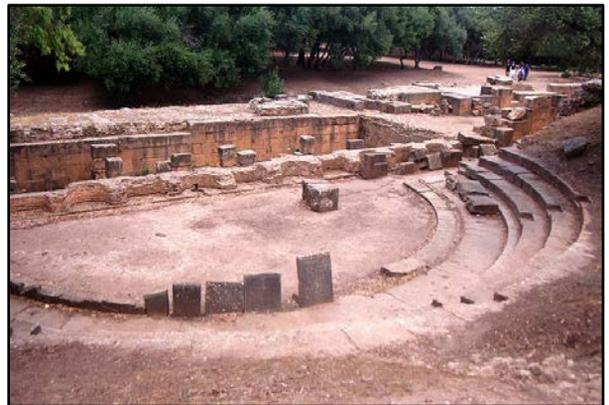
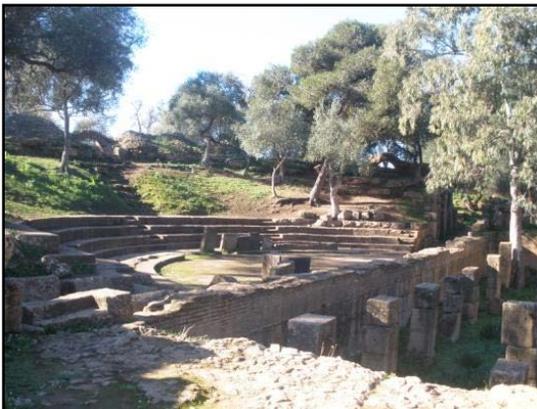


Fig.41. photos de différentes vues du théâtre romain de Tipaza

ETUDE DE MORTIER

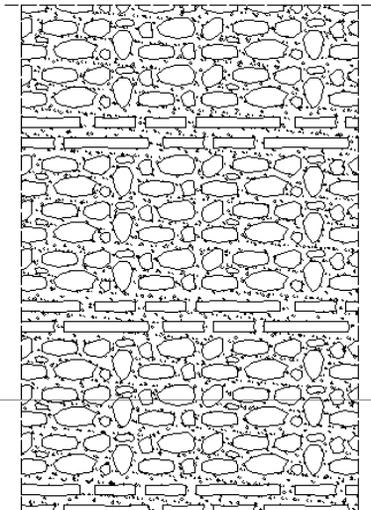
Opus latericium (testaceum):

Les assises de briques de différentes dimensions 10x3x30 cm, 10x2.5x30 cm, 10x2.5x27 cm, 10x3x27 cm, sont liées avec un mortier à base de chaux dont les épaisseurs atteignent souvent ceux de la brique (2,5 cm et 3 cm).

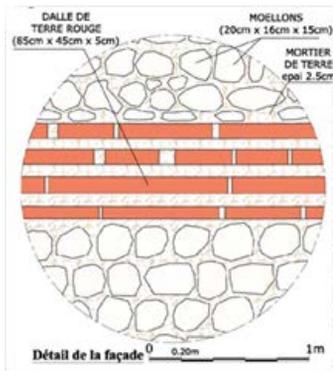
les exemples de l'emploi de cette technique sont nombreux , on cite les grands thermes.



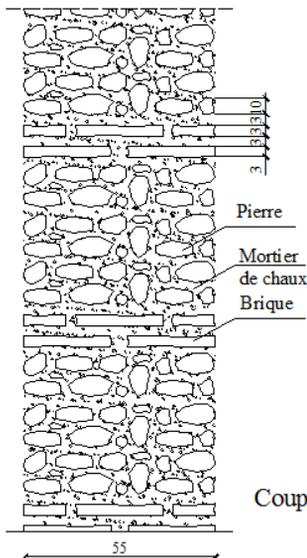
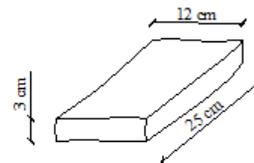
Fig.42. mur de clôture du théâtre romain



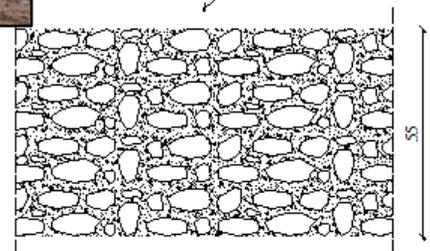
vue de face



Détail de la façade



Coupe



Vue en plan

Fig.44. vue en plan et coupe d' Opus latericium

➤ *La grande basilique chrétienne :*

Juchée sur un cap, la Grande Basilique, par ses dimensions (58mx42m) est le plus vaste édifice chrétien fouillé à ce jour sur le sol algérien. Mais aussi l'un des plus dégradés. À l'époque de sa construction, elle comptait une très large nef centrale de plus de treize mètres flanquée de trois collatéraux de chaque côté. Quatre arcades sont encore debout au niveau du premier collatéral de gauche. L'abside débordait sur l'a-pic de la falaise. Au nord de la basilique, s'étaient développés toute une série de bâtiments annexes: une chapelle, un baptistère, des bains, la maison de l'évêque. Au-delà, les vestiges d'une tour située à l'angle nord-ouest des remparts.

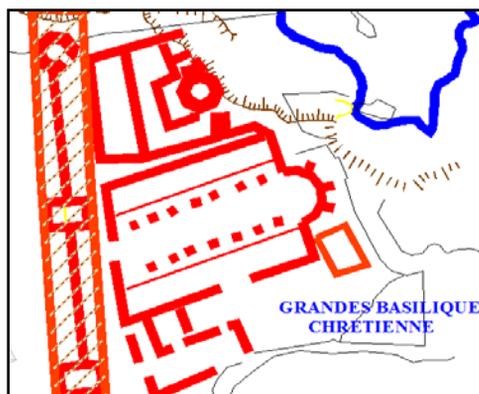


Fig.45. Relevé actuel de la grande basilique chrétienne / PPMVSA

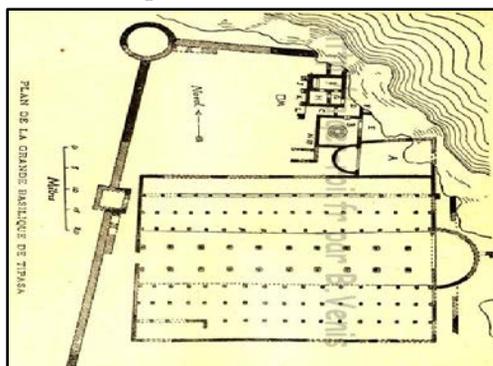


Fig.46. Relevé de la grande basilique chrétienne



Fig.47. photos de différentes vues de la grande basilique chrétienne

ETUDE DE MORTIER

Opus latericium (testaceum):

Les briques sont liées avec un mortier à base de chaux dont les épaisseurs atteignent souvent ceux de la brique (2,5 cm et 3 cm).



Fig.48. Les arcades de la basilique sur le promontoire

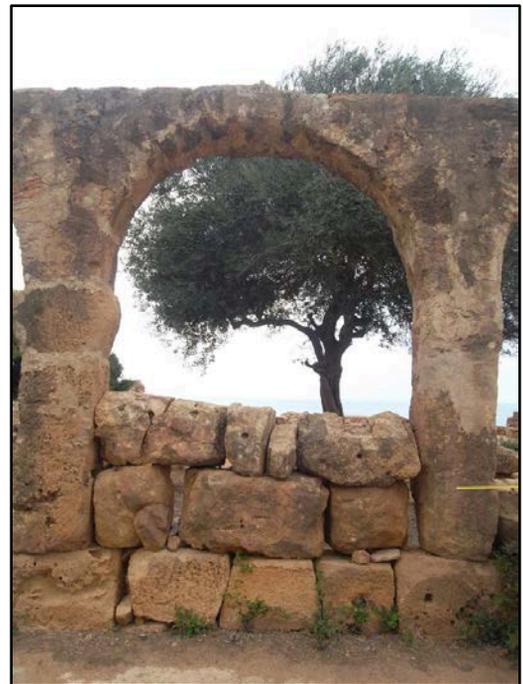
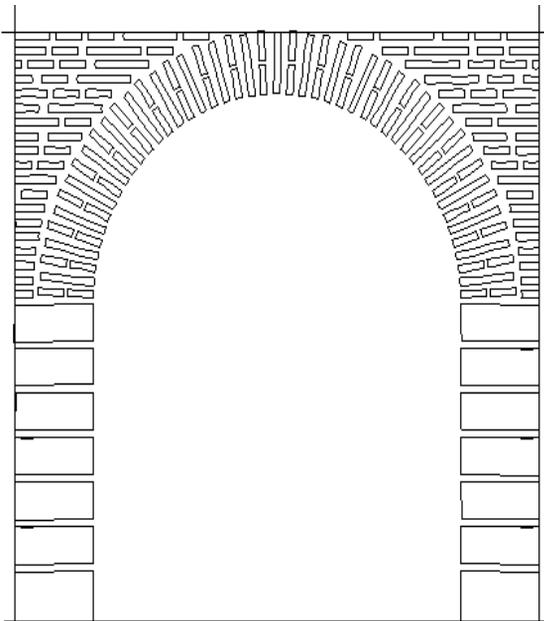


Fig.49. vue de face Opus latericium



➤ Les petites termes :

Innombrable dans le monde romain public ou privée, les thermes constituent un élément primordial de la civilisation romaine. C'est la succession des différentes phases de bain (froid, tiède, chaud) qui a déterminé l'ordonnance intérieure des bâtiments . On peut distinguer 4 éléments essentiels: le vestiaires, le grigidarium, le tepidarium et le caldarium. A ces salles s'ajoutent le laconicum, le sudatorium et des salles de réunion, des bibliothèque et des salles d'exposition.

Les petits thermes de Tipaza: vraisemblablement effondrés q la suite d'un tremblement de terre on reconnaît aisément les salles chauffées par et des hypocaustes et des piscines .



Fig.50. Relevé actuel des petits thermes/ PPMVSA



Fig.51. photos de différents vues des petits thermes

ETUDE DE MORTIER

Opus latericium (testaceum):

Les assises de briques de différentes dimensions 10x3x30 cm, 10x2.5x30 cm, 10x2.5x27 cm, 10x3x27 cm, sont liées avec un mortier à base de chaux dont les épaisseurs atteignent souvent ceux de la brique (2,5 cm et 3 cm).

les exemples de l'emploi de cette technique sont nombreux , on cite les grands thermes.



Fig.52. Le mur des petits thermes

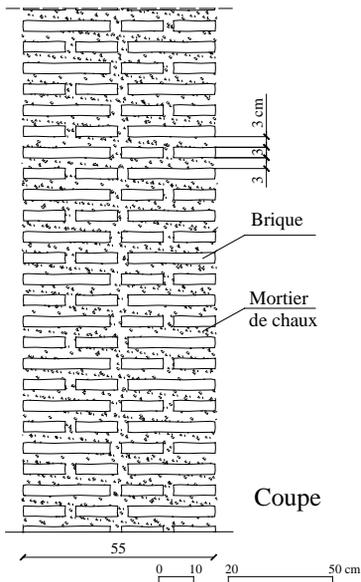


Fig.53. Coupe

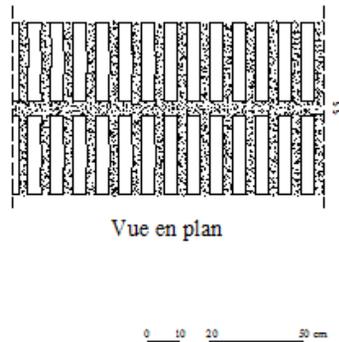
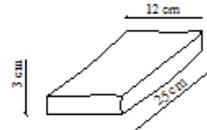


Fig.54. vue de face Opus latericium



➤ Le nouveau temple / le temple anonyme :

Le temple romain est formé d'une cella fermée de forme quadrangulaire, précédée pour un vestibule ouvert que l'on atteint par des escaliers. Le temple abrite généralement la statue du dieu auquel il est dédié, située dans la cella. A cette demeure sacrée n'ont en principe accès que les prêtres et les prêtresses

Temple de Tipaza: la ville de Tipaza possède deux temple:

-Le nouveau temple(fin du II-III siècle ap.J.C.) qui s'ouvre par trois portes sur le portique qui bordait le Décumanus. Une cour précédait l'escalier qui conduisait à la cella .

-- le temple Anonyme (fin du II-III siècle ap.J.C) il présente un mur d'enceinte ponctué par des pilleirs engagés. Sur la façade s'ouvrents 3 portes donnant sur une cour a triple portique. Au fond de la cour le départ de l'escalier donnant accès a la cella ou était conservée la statue de la divinité.

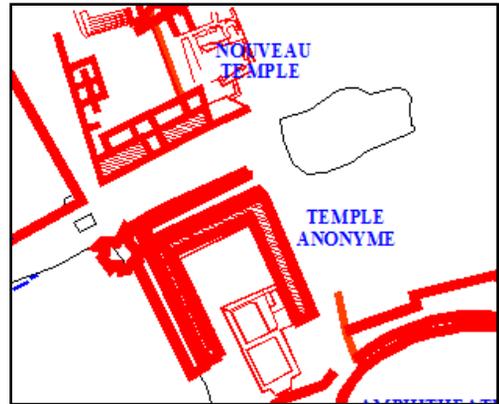


Fig.55. Relevé actuel de temple anonyme et nouveau temple/ PPMVSA



Fig.56. photos de différentes vues de temple anonyme et nouveau temple

ETUDE DE MORTIER

Opus Quadratum

Appareil formé de blocs taillés en forme de parallélépipèdes rectangles et disposés en assises horizontales, sans mortier (utilisation de joints au plâtre parfois, pour une meilleure répartition des pressions).



Fig.57. vue en face

➤ **Cardo -documanus**



Fig.58. Cardo



Fig.59. Documanus

- **Opus africanum** c'est un type d'Opus mixtum, utilisant le même matériau, la pierre, mais rompant la régularité du parement par l'adjonction d'alignement du mur. Les pierres sont généralement assemblées avec le mortier.

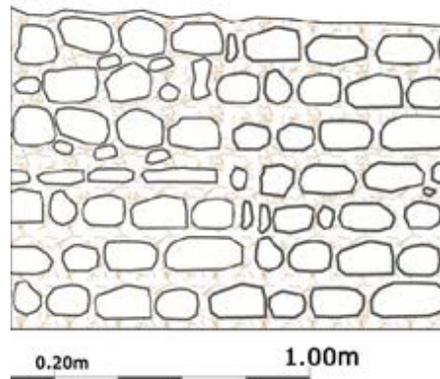


Fig.60. vue de face Opus africanum

- Durant notre visite sur site ; on a observer la mauvaise conservation de ces vestiges romains , on utilisant le ciment moderne alors que ce type de mortier n'est pas compatible



Fig.61. Etat de conservation de la grande basilique chrétienne

3-2 MORTIERS DE RESTAURATION

Mortier compatible avec les matériaux adjacents, qui peut être contrôlé et reproductible dans le temps.

QUALITES REQUISES POUR UN MORTIER DE RESTAURATION :

- ✓ bonne ouvrabilité (application facile)
- ✓ retrait faible
- ✓ propriétés physico- mécaniques compatibles
- ✓ compatibilité esthétique
- ✓ contenu de sels solubles minimum
- ✓ nombre d'ingrédients minimum
- ✓ ingrédients de haute qualité

LES LIANTS UTILISES DANS LA RESTAURATION:

Chaux hydratée en poudre
Chaux hydratée en pâte

liants aériens

Chaux hydraulique naturelle
Chaux + pouzzolane
(Ciment blanc)

liants hydrauliques

(Plâtre)

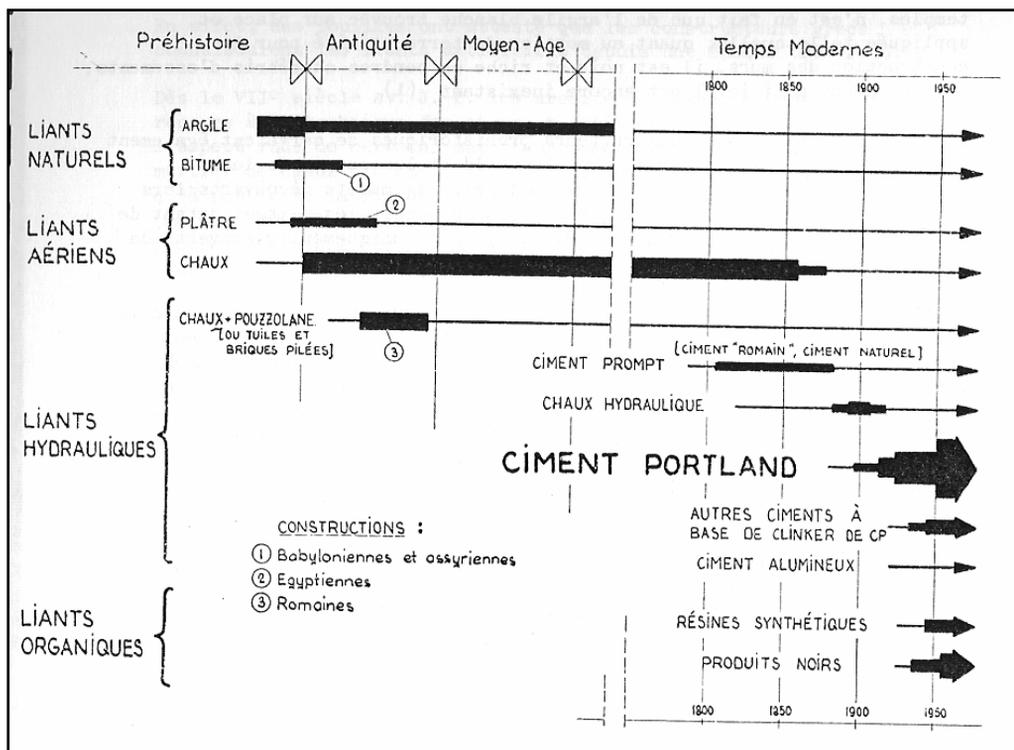


Fig.62. schémas représentant les types des liants a travers le temps

3-2-1 LA CHAUX:

1- CALCINATION DU CALCAIRE => CHAUX VIVE



Roche calcaire



Chaux vive

Fig.63. la calcination du calcaire

Facteurs qui influencent les propriétés de la chaux vive:

- ✓ type de roche calcaire
- ✓ dimension des pierres pour la cuisson
- ✓ type de four
- ✓ type de combustible
- ✓ temps de cuisson
- ✓ température de cuisson

2- EXTINCTION CHAUX VIVE => CHAUX HYDRATEE

- extinction stoechiométrique -> chaux en poudre
- extinction avec excès d'eau -> pâte

EXTINCTION CHAUX VIVE (façon traditionnelle)



Fig.64. extinction de la chaux en poudre/ en pâte

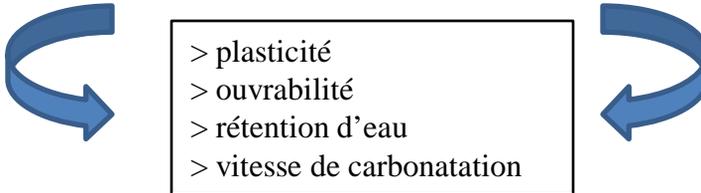
3-MATURATION EN FOSSE

Élimination défauts de l'extinction :

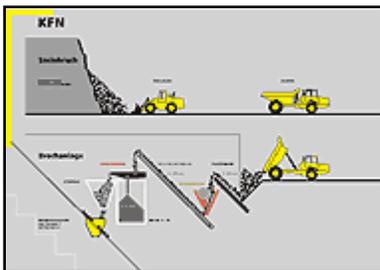
- Décantation du matériel
- Extinction complète du matériel



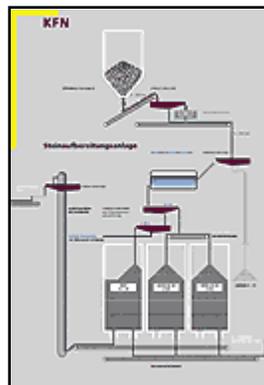
- transformation cristaux $\text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow$ tabulaire
- augmentation surface spécifique ($>20 \text{ m}^2/\text{g}$)
- diminution dimensions cristaux ($<1 \text{ mm}$)



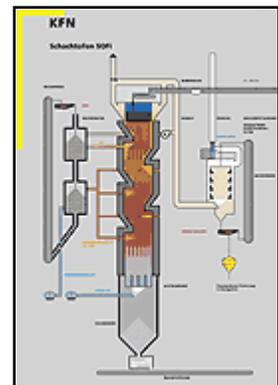
Production de la chaux hydratée en poudre moderne



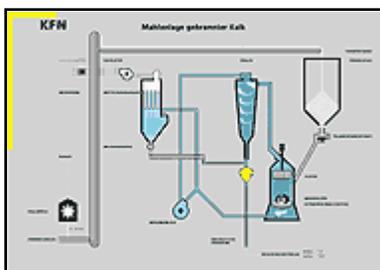
1- Exploitation carrière calcaire



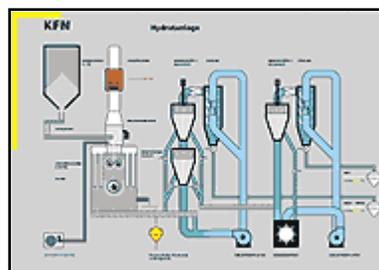
2- Broyage calcaire



3- Cuisson calcaire



4- Broyage chaux vive



5- Extinction chaux vive

Images de <http://www.kfn.ch>

DURCISSEMENT => CARBONATATION



MORTIERS A CHAUX EN PATE / MORTIERS A CHAUX EN POUDRE

<u>MORTIERS</u> <u>CHAUX</u> <u>EN PATE</u>	> résistances mécaniques < porosité capillaire > macroporosité ~ diffusion vapeur d'eau structure plus compacte entre liant/agrégat
---	---

AVANTAGES DES MORTIERS A CHAUX

- contenu sels solubles faible
- bonne ouvrabilité
- perméabilité a la vapeur élevée
- bonne déformabilité (module élastique faible)
- bonnes qualités esthétiques
- bonne adhésion support

DESAVANTAGES DES MORTIERS A CHAUX

- «résistances mécaniques faibles»
- durcissement lent
- expérience dans l'application
- retrait élevé

CHAUX HYDRAULIQUE NATURELLE:

Argile ou silice : 5-30 %



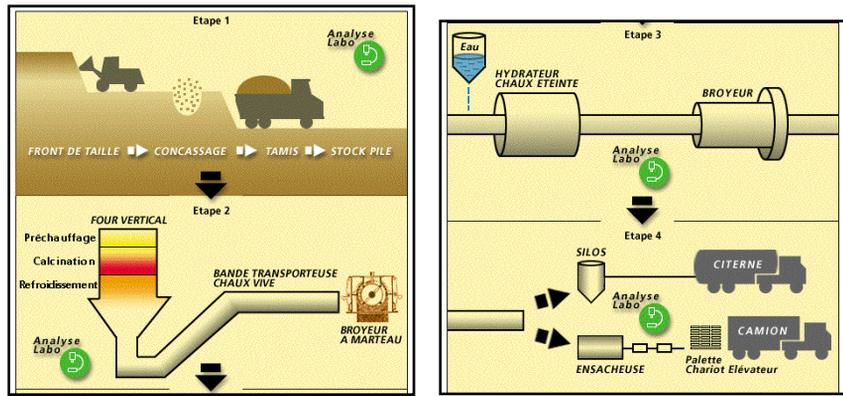
Marne = calcaire argileux



Calcaire siliceux

➤ Fabrication :

De:
<http://www.socli.fr/fabrication.asp>



1- calcination de calcaires naturels argileux (15)

2- Extinction

3- Broyage :

PRODUIT FINAL (poudre):

DURCISSEMENT => CARBONATATION + HYDRATATION

Classification des chaux hydrauliques:

Aérien	0.00- 0.10	↓	-
Faiblement hydraulique	0.10- 0.16		argile
Moyennement hydraulique	0.16- 0.30		
Hydraulique	0.30- 0.40		
Éminemment hydraulique	0.40- 0.50		+

AVANTAGES DES MORTIERS NHL

- bonne ouvrabilité
- bonne déformabilité (module élastique faible)
- bonnes qualités esthétiques
- bonne adhésion support

DESAVANTAGES DES MORTIERS NHL

- «résistances mécaniques assez basses »
- présence de sels solubles (selon typologie)
- produits instables dans le temps et non reproductibles

3-2-2 CHAUX + POUZZOLANE :

POUZZOLANE (normes ASTM): (16)

Matériau n'ayant pas de caractéristiques liantes lui-même mais qui en se combinant avec chaux et eau à température ordinaire forme des composés insolubles stables possédants des caractéristiques liantes.

Pouzzolanes naturelles

Roches volcaniques

- roches pyroclastiques meubles
Italie, Grèce
- tufs volcaniques compacts
(roches volcaniques zéolitisées)-
trass, tuf de Naples et des
Canaries

Roches détritiques

- terre à diatomées

Pouzzolanes artificielles

Sous-produits industriels

- cendres volantes
- silica fume

Argiles calcinées

- argiles calcinées
- metakaolin
- cocchiopesto

DURCISSEMENT => REACTION POUZZOLANIQUE

APPLICATION DE MORTIERS:

Façon traditionnelle

- préparation du support
- application de plusieurs
couches



(16) Furlan V., Houst Y. (1980): Les matériaux pouzzolaniques et leur utilisation. "Chantiers" n° 7, 1980, pp. 29-32.

Façon moderne



- monocouche ou bicouche
- à la machine
- additifs pour éliminer inexpérience du maçon

3-2-3 TYPOLOGIES DES MORTIERS (par utilisation):

1. Mortier de pose
2. Mortier de joints
3. Mortier pour les crépis
4. Mortier pour le sol
5. Mortier pour les stucs
6. Pierres artificiels
7. Support pour les peintures murales
8. Mortier d'injection
9. Mortier pour les mosaïques
10. Mortier de réparation pour pierres
11.



Mortier pour mosaïque



Mortier de pose



Mortier de joints



Mortier pour crépi



Mortier pour sol



Mortier pour stucs



Mortier peintures murales

3-2-4 Etapes pour la conservation et restauration du patrimoine ancien :

-Reconnaissance globale de la maçonnerie : Relevé de matériaux et caractérisation *in situ* .

-Investigations non-destructives sur site: Ces investigations permettent la collecte de précieuses informations à l'échelle de l'édifice. Ces résultats d'essais non destructifs sont retranscrits et positionnés sur les plans de la construction, exploitables par les architectes et les bureaux d'études.

-Prélèvements d'échantillons sur site

-Analyses en laboratoire : d'analyse en laboratoire permettent de réaliser la plupart des essais ou analyses nécessaires à une caractérisation physico-chimique de la majorité des matériaux de construction

-Conseil-Préconisations en nettoyage, conservation-restauration : La connaissance des matériaux anciens et de leurs multiples contraintes de conservation – restauration, sur des supports et dans des environnements variés, autorise à créer sur mesure des matériaux minéraux compatibles avec le support et à la durabilité éprouvée

3-3 CONCLUSION

On sait depuis longtemps que le mortier utilisé par les Romains pour bâtir temples, colisées, thermes, viaducs, aqueducs, théâtres etc. est d'une qualité exceptionnelle au regard du nombre important de bâtiments millénaires encore intacts aujourd'hui. On sait également que ces propriétés de conservation extraordinaires sont dues à la méthode de fabrication du mortier de chaux

La chaux a été utilisée depuis 6000 ans de façon très constante dans la construction. Jusqu'à la révolution industrielle, elle a été le principal liant de la construction, qu'elle ait été incorporée à des mortier de hourdage, à des enduits de parement, ou bien utilisée à l'état pur pour lier des peintures ou badigeons. Elle a également servi à réaliser les stucs et les fresques.

Elle a donc grandement participé à la solidité et la beauté des édifices, prestigieux ou non, de l'Antiquité à l'époque moderne.

Cette recherche , nous a permis d'acquérir des connaissances sur ce type de mortier afin de comprendre cette technique constructive et ce qui la rend solide et résistante , on étudiant son rôle , sa composition et sa mise en œuvre . En prenant le cas d'étude le parc archéologique de la ville de Tipaza, un des plus extraordinaires complexes archéologiques du Maghreb antique, où nous avons observé la mauvaise conservation de ces vestiges romains par l'usage de mortier à base de ciment portland non compatible avec les vestiges ..

Delà , afin de restaurer des maçonneries anciennes, il est très important de bien analyser le mortier d'origine, et d'en employer un identique et compatible, dans le respect des principes de restauration promulgués dans les différents chartes internationales tel que charte d'Athènes, Venise,..etc.

3-4 BIBLIOGRAPHIE

- ADAM J.-P. (1995) – *La construction romaine : matériaux et techniques. 3ème édition. Grands manuels Picard*, éditions A. et J. Picard.
- COUTELAS A., 2003a, *Pétraarchéologie du mortier de chaux gallo-romain, essai de reconstitution et d'interprétation des chaînes opératoires : du matériau au métier antique*, Thèse de doctorat, Université Paris 1.
- Cowper, A.D. Lime and Lime Mortars. Building Research Station. London: HM Stationery, 1927.
- Ecole d'Avignon (1998): Techniques et pratique de la chaux. Editions Eyrolles, Paris
- Ginouvès René, Martin Roland. Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. Tome I. Matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor. Rome : École Française de Rome, 1985, 402 p. (Publications de l'École française de Rome, 84)
 - Ginouvès René. Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. II. Eléments constructifs : supports, couvertures, aménagements intérieurs. Préface de Roland Martin. Rome : École Française de Rome, 1992, 460 p. (Publications de l'École française de Rome, 84)
 - Ginouvès René. Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine. Tome III. Espaces architecturaux, bâtiments et ensembles. Préface de René Ginouvès et Marie-Christine Hellmann. Rome : École Française de Rome, 1998, 492 p. (Publications de l'École française de Rome, 84)
 - Jean-Pierre Adam. La construction romaine. Matériaux et techniques . 4^e Edition , Paris, A. et J. Picard . 1984- 2005
- Louis Joseph Vicat. *Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues a pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux.* Grenoble. Imprimerie Maisonville 1856
- M. De Fontenay. *Manuel des constructions rustiques, ou guide pour les constructions rurales.* Encyclopédie Roret, Paris, 1836
- Stéphane Büttner et Daniel Prigent *Archéologie des liants de maçonnerie : entre traités et réalité*

- LE PDAU de Tipaza
- PPVSMA de Tipaza

- *Site web :*
 - <http://edl.revues.org/113>
 - [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier_\(mat%C3%A9riau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier_(mat%C3%A9riau))
 - http://www.puystory.fr/archives/stadium_gallo_romain/index.html
 - https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/528508/filename/Coutelas_2003.pdf
 - <http://whc.unesco.org/fr/list/193>