

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de la Culture
Office de Protection et de Promotion de la Vallée du M'zab

LA CHAUX

MATÉRIAU DE CONSTRUCTION ET DE RESTAURATION



OPVM



INTRODUCTION

Cette brochure élaborée dans le cadre de la mise en œuvre du plan d'action de l'Office de Protection et de Promotion de la Vallée du M'zab pour la valorisation des matériaux de construction locaux, et se fixe comme objectifs de faire valoir aux artisans spécialisés dans la construction traditionnelle, ainsi qu'aux restaurateurs du bâti ancien, les différentes qualités de la chaux et les techniques de base concernant sa fabrication et sa mise en œuvre, dans le but de mettre en valeur ce matériau produit et utilisé localement et qui a fait ses preuves, depuis des siècles, dans le domaine de la construction grâce à son adaptation à l'environnement et au climat saharien.

Le terme de chaux est générique. Il regroupe un grand nombre de produits, dont le seul point commun est d'être obtenu par calcination, c'est-à-dire chauffage à haute température de la pierre calcaire.

L'utilisation de la chaux dans la construction est connue depuis l'antiquité. Elle était utilisée comme liant d'un mortier pour bâtir et servait à la fabrication d'enduits, au traitement des sols ainsi qu'à la réalisation de peintures décoratives. Elle fût délaissée petit à petit au profit du ciment (liant hydraulique artificiel) et des peintures acryliques.

Depuis peu, elle suscite un regain d'intérêt grâce à ses propriétés exceptionnelles.

Pour une bonne utilisation aussi bien dans la rénovation que dans la construction de nouveaux bâtiments, nous devons faire la différence entre les différentes familles de chaux et connaître leurs caractéristiques et applications,

La cuisson décompose le carbonate de calcium "CaCO₃" (constituant principal du calcaire), pour libérer le gaz carbonique "CO₂", et laisser la chaux vive "CaO".



La chaux vive " CaO ", ne peut être utilisée directement, car son hydratation s'accompagne d'un gonflement important inadmissible dans un ouvrage.

Il faut donc l'hydrater, de façon à obtenir la chaux éteinte, "Ca (OH) ₂" , qui a une apparence de poudre blanche , légèrement soluble dans l'eau , et qui présente les propriétés d'un liant.

La chaux est obtenue à partir d'un **calcaire** très pur, qui, porté à une température de plus de 1000 degrés, et suite à une réaction chimique, se décompose en **chaux vive** et en **gaz carbonique**.

La Chaux Vive

Après cuisson, la **chaux vive** garde le même aspect physique, mais sa masse volumique apparente devient plus faible. La chaux vive ainsi obtenue a de nombreuses applications: En agriculture, dans la réalisation de routes, dans l'industrie ..etc. Elle est employée en l'état, granulée ou broyée. Elle est avide d'humidité et réagit au contact de l'eau avec un fort dégagement de chaleur, puis se transforme en une poudre blanche appelée chaux éteinte.

La chaux éteinte est employée dans de nombreux domaines tels que le bâtiment, l'industrie, la dépollution. Lorsqu'elle se combine avec le gaz carbonique, elle redevient calcaire.



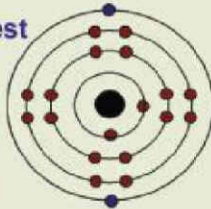
Le cycle de la chaux



LE CYCLE DE TRANSFORMATION DE LA PIERRE CALCAIRE

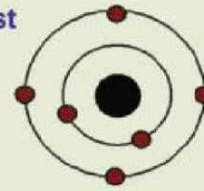
L'atome de Calcium est électropositif (+ 2)

Ca
20
40 40



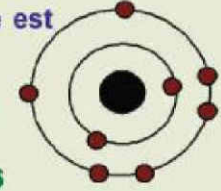
L'atome de Carbone est électronégatif (- 4)

C
6
12



L'atome de l'Oxygène est électronégatif (- 2)

O
8
16



1- CaCO_3 : la pierre calcaire : $(\text{Ca}^{++}) + \text{Ion}(\text{CO}_3^{--})$

2- CaO : Oxyde de calcium (la chaux vive) : $(\text{Ca}^{++}) + (\text{O}^{--})$

3- $\text{Ca}(\text{OH})_2$: Hydroxyde de calcium (la chaux éteinte) : $(\text{Ca}^{++}) + 2(\text{OH}^-)$

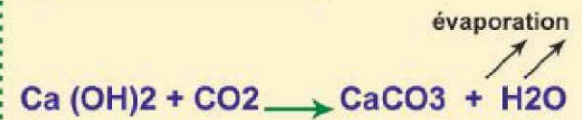
01- Calcination $T > 1000 \text{ c}^\circ$



02- Hydratation



03- Carbonatation



PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES «CHAUX VIVE» ET «CHAUX ÉTEINTE»

	La chaux vive	La chaux éteinte
Nom:	Oxyde de calcium	Hydroxyde de calcium
Formule chimique :	CaO	Ca(OH) ₂
Aspect :	Roche, granulés, poudre. Blanc	Poudre. Blanche
Odeur :	Sans	Sans
Point de fusion :	2 614°C	Décomposition à 580°C (se transforme en CaO)
Point d'ébullition :	2 850°C	2 850°C
Inflammabilité :	Non	Non
MVA :	0,7 à 1,2 t/m ³	0,2 à 0,8 t/m ³
Poids spécifique :	3 350 kg/m ³ (à 20°C)	2 200 kg/m ³ (à 20°C)
Solubilité dans l'eau :	1,4 kg/m ³ à 0°C ; 1,25 kg/m ³ à 20°C	1,85 kg/m ³ à 0°C ; 1,65 kg/m ³ à 20°C
pH (à25°C)	12,4 en solution saturée	12,4 en solution saturée
Réactivité :	Réaction avec l'eau et les acides, avec fort dégagement de chaleur.	Réaction avec l'aluminium en présence d'eau, forte réaction exothermique en présence d'acides.

FABRICATION ARTISANALE DE LA CHAUX

Les anciens fours à chaux avaient généralement une forme tronconique, avec une hauteur de 5m et un diamètre de 3m environ.

les parois intérieures étaient recouvertes d'argile, de briques ou de pierres réfractaires, qui servaient à conserver et à isoler thermiquement le four.

Ceux-ci sont toujours adossés à une pente naturelle qui les abrite et facilite le chargement à partir du gueulard.

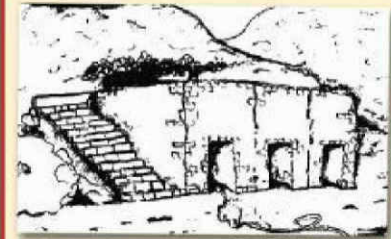
Il est important de les construire à proximité des lieux d'approvisionnement en pierres comme en combustibles.

Le chargement du four est un travail très dur, dont la bonne application détermine en partie le succès de la cuisson. Le chauxfournier, ou conducteur, pénètre dans l'orifice inférieur ; il dispose des blocs de calcaire de 2 à 3 kg, de façon à former une fausse voûte et, au centre, il laisse une ouverture circulaire par laquelle passera et montera la flamme. Les pierres calcaires doivent être parfaitement calées car elles supportent toute la charge.

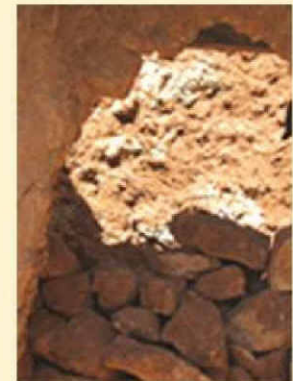
Si la voûte est bien construite, elle ne s'effondrera pas pendant la cuisson ; en effet, la pierre, sous l'action de la chaleur, perd environ 44% de son poids, mais seulement entre 10 et 15% de son volume.

A la base du four, le chauxfournier pose autant de rangées de pierres que possible, les faces les plus grandes proches du feu, les plus petites près des murs du four.

Il remplit le four jusqu'à l'orifice supérieur et le ferme par une couche de pierres qui s'élève de 20 à 30 cm au dessus du sol.



Four traditionnel de maçonnerie

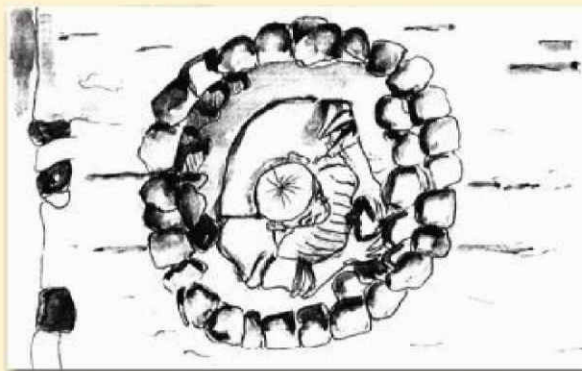


L'intérieur du four est recouvert d'argile

PRÉPARATION ET ALLUMAGE DU FOUR



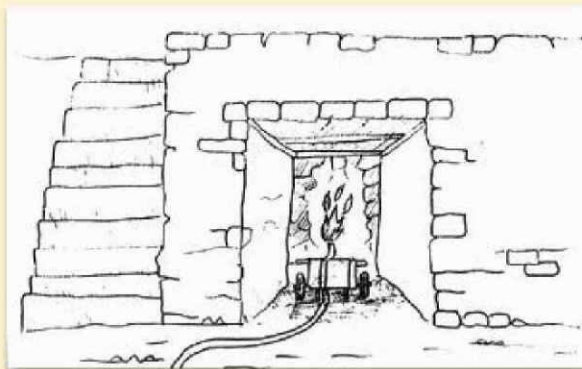
L'intérieur du four est recouvert d'argile (T'GHOURI)



La pose des premières pierres à l'intérieur du four (plusieurs rangées)



Chargement du four par l'extérieur



Le four après allumage du brûleur



Le chauxfournier met le feu en marche à l'aide d'un brûleur.
La cuisson se poursuit pendant trois jours sans interruption.
Durant le processus, la pierre calcaire perd son eau de carrière et ses matières organiques, et le dioxyde de carbone, qui se dissocie du carbonate de calcium, se libère dans l'atmosphère sous forme de gaz, Nous avons déjà décrit cette réaction chimique : quand le carbonate de calcium (CaCO_3) chauffe, il se décompose en anhydride de carbone (CO_2) et en oxyde de calcium ou chaux vive (CaO).



Four en phase de calcination avancée

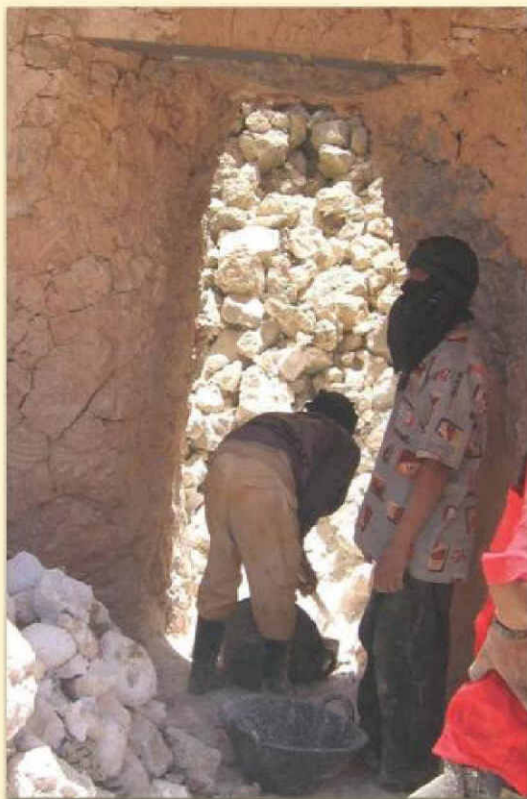
Le chauxfournier surveille la couleur de la flamme : au départ, elle est bleutée, à cause du gaz carbonique qu'elle contient, mais elle rougit à la fin de la calcination. Il sait qu'il peut alors interrompre la cuisson. Pour s'en assurer, l'ouvrier prend une pierre calcinée sur le dessus du tas et la plonge dans l'eau ; si elle se transforme rapidement en pâte, cela indique que la calcination est terminée. Selon les textes classiques, la bonne chaux est légère et sonore : lorsqu'on la frappe avec un morceau de fer, elle émet un son qui rappelle celui d'une céramique bien cuite soumise à la même épreuve. Il faut laisser reposer la fournée, qui a perdu un peu plus d'un tiers de son poids, pendant deux à trois jours, pour qu'elle refroidisse lentement, en fermant les deux orifices du four.

Pendant les différentes manipulations nécessaires au défournage et au stockage, la chaux vive ne doit pas rester longtemps exposées à l'air, si l'on veut éviter une extinction involontaire. En effet, l'oxyde de calcium pourrait absorber, lentement et progressivement, l'eau de l'atmosphère et se transformer en hydroxyde de calcium. C'est pourquoi les sacs de chaux sont stockés dans des locaux fermés et secs.

La qualité de la chaux obtenue dépend en grande partie du soin apporté durant la calcination : il faut choisir de bonnes pierres calcaires, contrôler la combustion et obtenir une cuisson homogène dans toute la pâte, pour éviter les incuits, c'est-à-dire les morceaux de chaux qui sont mal cuits.

Le défournage

Le défournage se fait en ouvrant l'orifice inférieur du four, puis on fait sortir les blocs de pierre de chaux, et on les met dans des sacs étanches, enfin il est recommandé de stocker les sacs dans des locaux fermés et secs.



Sortie du four des morceaux de pierre de chaux vive



Il faut mettre la chaux vive dans des sacs hermétiques pour éviter une extinction involontaire (contacte avec l'air humide)



Broyeur



Sacs de chaux vive en morceaux



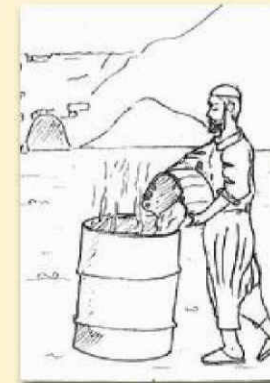
Sacs de chaux vive broyée (poudre)

Hydratation ou extinction en bidon

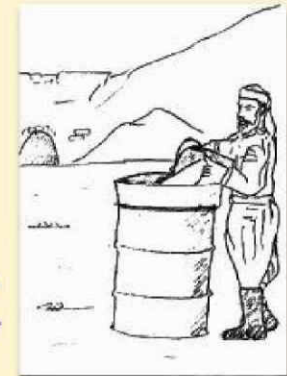
Pour un petit chantier, le maçon peut éteindre la chaux dans un seau préalablement rempli d'eau à raison de 3,6 litres par kilo de chaux vive. Par réaction, celle-ci commence à dégager de la chaleur lors du premier contact avec l'eau. Ce processus durera quelques heures, il s'arrêtera quand la totalité de la chaux vive sera éteinte.

On procède au tamisage du contenu, puis on laisse la chaux se reposer environ une journée, couverte de liquide, dans un récipient hermétique. Une seule extinction permet de remplir plusieurs bidons qui seront stockés,

Sortie du four de la chaux vive

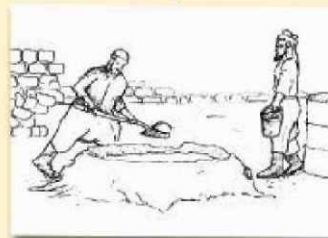


Tamisage de la chaux éteinte pour enlever les déchets



La chaux vive est mise dans un bidon préalablement rempli d'eau

Pétrissage



La mise en œuvre

On laisse la pâte se reposer une semaine

Comment préparer le mortier de chaux

Pour obtenir un mortier de chaux de bonne qualité, il faut suivre la méthode de préparation suivante, qui va durer 8 jours, étape par étape.

Premier jour: On submerge les pierres de chaux issues de calcination, dans un récipient préalablement rempli d'eau, la chaux vive sera éteinte après une réaction exothermique, on laisse reposer le mélange pour s'assurer de l'extinction totale de la chaux.

Deuxième jour: Il faut ajouter au mélange une quantité d'eau suffisante pour avoir un lait de chaux de bonne qualité, puis on procède au tamisage du contenu pour enlever les déchets.

La confection d'un bon mortier de chaux se fait en choisissant du sable de bonne qualité et en ajoutant une quantité suffisante de lait de chaux pour aboutir à une pâte homogène.

Du 3ème au 7ème jour: On laisse reposer le mélange.

7ème jour: On prépare une quantité de chaux éteinte de la même manière que dans le premier jour.

8ème jour: Nous ajoutons au mélange déjà préparé (3ème au 7ème jours) le lait de chaux et on mélange suffisamment la pâte nous obtenons un mortier de chaux prêt à être utilisé dans les différents travaux.

Premier jour



Deuxième jour



Du 3- ième au
7- ième jour



8- ième jour



Le mortier de chaux



Pétrissage



Le mortier de chaux

Le mortier est obtenu sur la base du mélange d'un liant, du sable et de l'eau. Il peut servir à unir entre elles des pierres ou des briques, à appliquer un enduit (couches de mortier appliquées sur un mur pour le protéger des intempéries et qui sert de support au gobétis ou au stuc), ou un stuc (couche extérieure de protection, appliquée sur l'enduit et constituée de chaux en pâte, de sables de marbre, d'eau et parfois de terre de couleur; non seulement le stuc protège le support mais il rehausse son apparence extérieur).

La caractéristique essentielle du mortier de chaux c'est qu'une fois appliqué (comme joint, comme enduit, ou comme stuc), il durcit ou se carbonate peu à peu, jusqu'à se transformer en une croûte pierreuse de quelque millimètre d'épaisseur, qui devient de plus en plus résistante.

Dans ce processus de re-carbonatation de la chaux, l'hydroxyde de calcium (ou chaux hydratée), en entrant en contact avec le gaz carbonique de l'air, se transforme en carbonate de calcium et redevient, après un certain temps, la pierre qu'il était au début du cycle.

Ce matériau, utilisé par l'homme depuis plusieurs millénaires, présente d'autres qualités importantes qui le rendent irremplaçable.

Si l'extinction se déroule correctement, la chaux ne variera pas de volume lorsqu'elle durcira par carbonatation au contact de l'air. La parfaite étanchéité des joints, l'absence de rétraction et son endurcissement progressif font du mortier de chaux un excellent isolant thermique et acoustique, qui empêche la pénétration de l'eau. Il est incombustible et, en cas d'incendie, ne produit pas de fumée.

En ce qui concerne les finitions, les possibilités sont véritablement infinies. Comme il s'agit d'un matériau très malléable, on peut le travailler avec toutes sortes d'outils avant qu'il ne durcisse.

Il assimile une vaste gamme de couleur, et autorise également la représentation peinte, afin d'imiter un appareil de brique ou de marbre brillant, ou pour accueillir les talentueux coups de pinceau des grands décorateurs de fresques.

Types de chaux

Les caractéristiques que nous avons mentionnées jusqu'ici concernent les chaux aériennes ; cependant, bien que dans le langage courant on utilise le mot de chaux comme en terme générique, il désigne des réalités bien différentes, suivant sa composition chimique, ses propriétés et ses applications.

Pour commencer, on peut déjà introduire une différence entre chaux aériennes et chaux hydrauliques, selon qu'elles durcissent seulement par carbonatation au contact de l'air, ou bien sous l'eau.

Les chaux aériennes

On obtient les chaux aériennes en calcinant des pierres calcaires (ou dolomites pures) qui ne contiennent pas plus de 5% de matières argileuses.

Ce type de chaux, lorsqu'elles sont très pures en carbonates (plus de 95%), et à cause de l'onctuosité qu'elles donnent aux pâtes fabriquées en les mélangeant avec de l'eau, ont aussi été appelé, dans le passé, des chaux grasses.

Quand la pureté en carbonates est inférieure et que le pourcentage d'argile atteint 5%, ces chaux aériennes sont appelées chaux maigres parce que la pâte obtenue est moins onctueuse. Les pâtes sont donc des mélanges de sable (ou de poudre de marbre) et de chaux en pâte dont le dosage varie (ce qui donne des pâtes maigres ou grasses).

Les chaux aériennes se présentent donc sous deux formes: vives (oxyde de calcium CaO) et hydratées (Hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Les chaux hydrauliques

Quand la pierre calcinée contient des mélanges de marnes et d'argiles riches en silice, en alumine et en fer, on obtient des chaux dites hydrauliques, parce qu'elles durcissent aussi bien au contact de l'air que de l'eau.

Une chaux est dite faiblement hydrauliques (taux d'argile inférieur à 8%), moyennement hydrauliques (taux d'argile de 8 à 14%), hydrauliques (taux d'argile de 14 à 19%) et éminemment hydraulique (à partir de 20% d'argile). Les résistances mécaniques de toutes ces chaux sont plus rapides et plus élevées que celles des chaux aériennes.

Il ne faut pas confondre les chaux hydrauliques avec la chaux hydratée (hydroxyde de calcium ou chaux éteinte). Cette dernière, comme nous l'avons déjà décrit, résulte de l'hydratation, ou de l'extinction, de chaux vives avec de l'eau.

Les enduits de chaux

Le mortier de chaux est le matériau le plus adéquat, pour les travaux de restauration et certaines techniques de décoration, (stucs, peinture à la chaux, peinture à fresque).

Un mortier exposé à l'air et fabriqué avec une chaux de qualité, parfaitement éteinte, ne se détériore pas avec le temps, mais se consolide davantage. Au bout de 24 heures, le mortier de chaux appliqué sur un support commence à durcir, de la surface vers l'intérieur: en raison de l'évaporation de l'eau de la pâte, il se forme une croûte pouvant atteindre 1mm d'épaisseur. La carbonatation de l'enduit de chaux s'achève seulement au bout de plusieurs mois. En raison de la lenteur de ce processus, la chaux est un matériau inégalé pour absorber les mouvements des surfaces. Grâce à ce durcissement lent, et progressif, le mortier ne se rétracte pas. De plus les petites fissures superficielles se referment avec la carbonatation.



Les caractéristiques des mortiers de chaux

La rétention d'eau:

Pour obtenir un mortier avec une plasticité et une adhérence suffisante, il est important que la pâte ne perde pas trop d'eau, que ce soit à cause de l'absorption par le mur, ou en raison d'une rapide évaporation.

S'il sèche trop rapidement le mortier peut se fissurer en se rétractant. De nombreuses études ont démontré, grâce à des dispositifs spécifiques de filtration que ce sont les mortiers contenant de la chaux en pâte qui possèdent la plus grande capacité de rétention d'eau.

L'imperméabilité:

La parfaite adhérence au support et l'absence de tensions importantes au cours du durcissement de ces couches évitent l'apparition, sur les murs enduits avec ces mortiers de chaux en pâte, de fissures, ou de lézardes, par lesquelles filtrerait l'eau. D'un autre côté, les micropores des mortiers de chaux permettent à la vapeur d'eau de passer, contribuant ainsi à l'élimination de l'humidité.

L'adhérence:

C'est la valeur la plus importante pour un mortier, étant donné que les mortiers servent à souder des éléments entre eux, par exemple les pierres d'un mur, ou bien à créer une couche de finition qui, une fois appliquée sur un mur, le protège et l'embellit. L'adhérence d'un mortier dépend en grande partie de la plasticité de la chaux en pâte et de sa capacité à retenir l'eau

Badigeons de chaux

Terme pour désigner le mélange d'eau, de chaux, de pigments. On parle également de peinture à la chaux, de peinture minérale.

Parfois coloré, parfois blanc, épais ou transparent, appliqué sur des supports [d'enduits] le badigeon présente des qualités esthétiques incomparables.

On peut classer les badigeons de chaux selon leur consistance :

1/ Le chaulage:

est un mélange de chaux et d'eau dans un rapport d'environ un volume de chaux pour un volume d'eau, la consistance relativement épaisse (surtout si l'on a utilisé une chaux en pâte) permet d'obtenir une peinture d'apparence épaisse, bouche pore. Le caractère épais ne permet pas de mélanger des pigments. Cette technique "ancestrale" était souvent utilisée avec des chaux vives fraîchement éteintes, ainsi on bénéficiait d'une "peinture" au caractère très alcalin propre à assainir les étables, les murs de fermes ...etc.

2/ Le badigeon :

On augmente légèrement le volume d'eau (1 volume de chaux pour 3 à 5 volumes d'eau), ainsi on peut ajouter des pigments minéraux. Le pouvoir colorant de la chaux aérienne (blanc) limite la saturation en couleur du badigeon.

La peinture minérale produite a un aspect couvrant, bouche pores, le passage de la brosse est visible.

L'eau de chaux: (ou lait de chaux) est une solution saturée d'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) produite en mélangeant de la chaux aérienne à de l'eau. La chaux aérienne se dissout (faiblement) dans l'eau et le filtrat obtenu constitue l'eau de chaux.



Les propriétés de la chaux

Perméable à la vapeur d'eau.

Aérienne ou hydraulique, la chaux laisse respirer les murs des bâtis anciens et nouveaux, en favorisant les échanges hygrométriques. Elle capte et rejette la vapeur d'eau, permettant d'éviter les remontées d'humidité. □ Une maison doit respirer ! C'est une qualité indispensable pour la rénovation des maçonneries anciennes, spécialement sensibles à l'eau, qui doivent avoir des murs perméables à la vapeur d'eau pour favoriser l'évacuation de l'humidité. Ainsi l'utilisation de chaux assure le confort intérieur d'une habitation et permet par la même occasion de faire des économies d'énergie, le chauffage étant beaucoup plus performant lorsque les murs sont exempts d'humidité.

Imperméable à l'eau de ruissellement.

La chaux s'oppose à la pénétration des eaux de ruissellement.

Isolation

La chaux a des vertus isolantes, aussi bien phoniques que thermiques.

Résistante

La chaux s'adapte très facilement aux différents supports. Elle tolère les mouvements du bâti inhérents à toute construction, ancienne ou moderne, grâce à sa souplesse et à son élasticité, ce qui limite les fissures dans les enduits. Elle est très résistante et vieillit très bien.

Ignifuge

La chaux hydraulique, et encore plus l'aérienne, résiste particulièrement bien au feu.

Facile à retirer et à remplacer

C'est une qualité essentielle, en particulier en restauration du bâti ancien. Les mortiers à base de chaux respectent les matériaux (pierre, bois) et peuvent être retirés, à tout moment, sans conséquence, pour les autres parties d'un ouvrage et remplacés par de nouveaux mortiers de chaux.

Décorative

Les possibilités offertes par la chaux sont nombreuses aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. Associée à des pigments naturels, elle offre une palette de teins très divers.

EXEMPLES D'OUVRAGES RÉALISÉS À BASE DE CHAUX

TOUR ZALLIGA



PUITS ANOU-AMEN



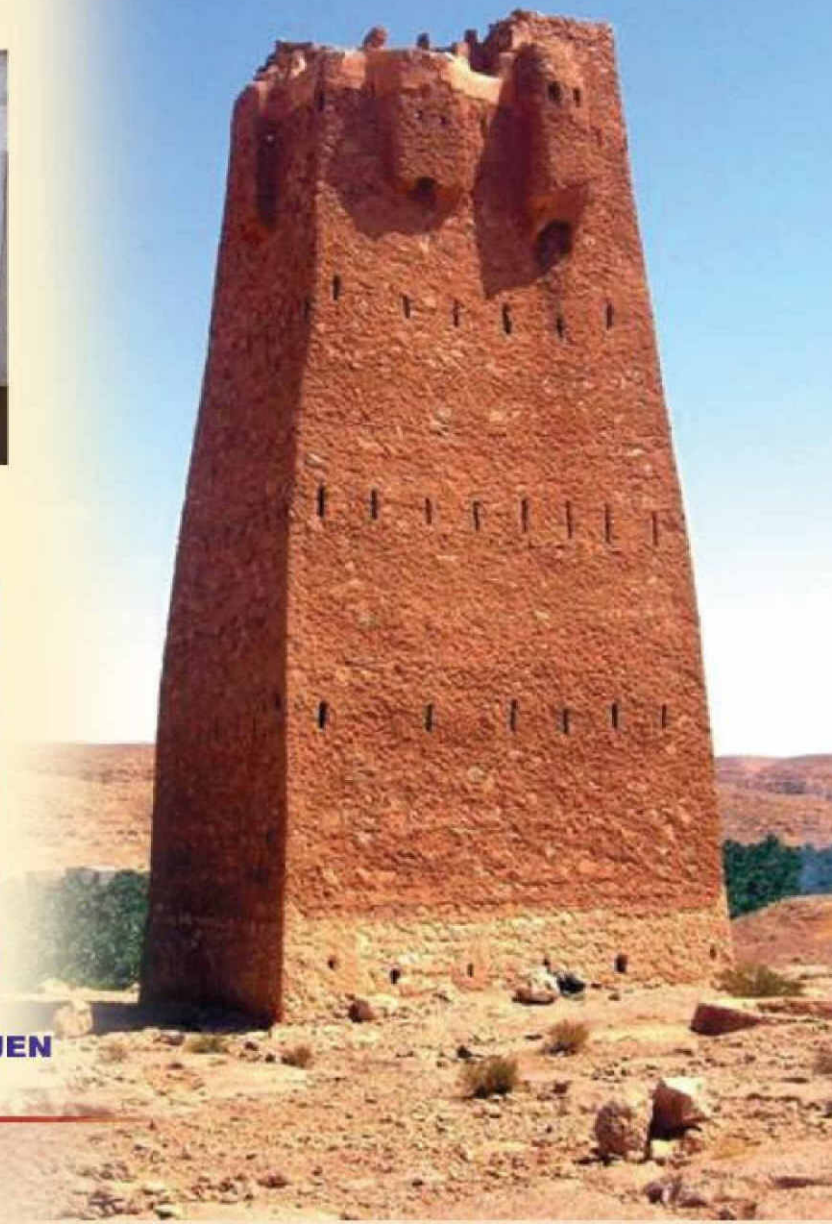
UNE MAISON TRADITIONNELLE



DIGUE TOUZOUZ



BARRAGE DE BEN-ISGUEN



BIBLIOGRAPHIE

- DOCUMENTS TECHNIQUES DE L'OFFICE DE PROTECTION ET DE PROMOTION DE LA VALLÉE DU M'ZAB
- LA CHAUX ET LE STUC, ÉDITION EYROLLE 2004.

- Coordination: M. Ballalou Zouhir, Directeur de l'OPVM
- Contribution technique: Mr Noureddine BOUAROUA, Ingénieur d'état en génie civil, OPVM
- Schémas et dessins: M. Kaabouche
- Photos: OPVM
- Photos couverture: - Maison Boughali - Palmeuraie de Ben-isguen
- Travaux de restauration: Dar Sidi Kaddour à Metlili.





**OFFICE DE PROTECTION ET DE
PROMOTION DE LA VALLEE DU M'ZAB**

32, Rue de la Palastine, Ghardaia, Algerie

Tél: (213) 29 88 44 54

Fax: (213) 29 88 25 48

Email: opvm@yahoo.com

Site: www.opvmg.org