

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Responsable: Dr. GHOMARI Fouad

2.2. Liants hydrauliques :

2.2.1. Chaux hydraulique : Les Romains sont arrivés à confectionner un véritable liant hydraulique à durcissement lent en mélangeant de la chaux grasse à des cendres volcaniques d'origine récente, riches en silice et en alumine, qu'ils trouvaient au pied de Vésuve à Pouzzoles (Pozzuoli à côté de Naples; d'où le terme Pouzzolane).

On avait observé au 17^e et au 18^e siècles, sans pouvoir l'expliquer, que certaines chaux dites "maigres" obtenues à partir de calcaires impurs, résistaient mieux que les chaux grasses provenant de calcaires trop purs (et qu'elles pouvaient même légèrement durcir sous l'eau).

Louis Vicat, grâce à des recherches commencées en 1812, montra que pour obtenir des chaux hydrauliques, il fallait que la matière première utilisée contienne une certaine proportion d'argile.



Vésuve: formé de deux cônes superposés; le plus ancien; la somma, encercle le cône récent, plus élevé qui culmine à 1270 m.

L'éruption la plus célèbre demeure celle de 79 apr. J.C., qui ensevelit Herculanium et Pompei.

le Vésuve dominant la baie de Naples

On peut classer les chaux, comme l'avait proposé Vicat grâce à un indice d'hydraulicité 'i' qui est donné par le rapport des éléments les plus acides aux éléments les plus basiques :

$$i = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

Suivant les valeurs de *i*, les chaux sont plus ou moins hydrauliques

Type de chaux	% d'argile	'i'	Durée de prise sous l'eau
grasse	~ 0	0 à 0,1	6 mois
faiblement hydraulique	5-8	0,10 à 0,16	15 à 30 jours
moyennement hydraulique	8-15	0,16 à 0,30	10 à 15 jours
hydraulique	15-20	0,30 à 0,40	2 à 4 jours
éminemment hydraulique	20-30	0,40 à 0,50	inférieure à 2 jours

Vicat en préconisant la cuisson d'un mélange en proportion convenable de chaux et d'argile en 1817 fût donc à la fois l'inventeur des chaux hydrauliques et le Père des ciments artificiels Portland.

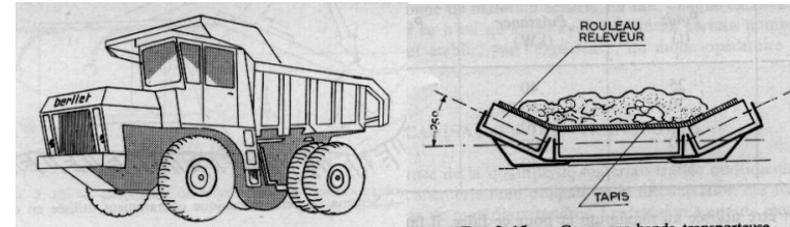
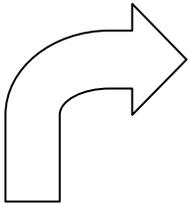
La chaux hydraulique naturelle est donc le résultat de la cuisson d'un mélange de roches calcaires et de 15 à 20% d'argile. Il existe des chaux hydrauliques artificielles qui résultent du broyage simultané de clinker, de ciment et de fillers calcaires.

En résumé selon la roche ou le constituant d'origine et le traitement subi, on obtient les différentes chaux suivantes :

Roche ou constituant d'origine	calcination au dessus de 900 °C	Extinction par hydratation	Après tamisage et broyage des produits commerciaux	Nature de la chaux
		non	chaux vive	chaux vive
calcaire pur	chaux vive	chaux éteinte	C.A.E.B. Hydrate de chaux	chaux grasse
calcaire argileux	chaux vive + silicates + aluminates	chaux éteinte + silicates + alumin.	chaux hydraul. naturelle (XHN)	chaux hydraulique
Clinker + fillers	NON	NON	chaux hydraul. artificielle (XHA)	chaux hydraulique

a., Extraction :

Les roches calcaires et l'argile sont extraites de carrières à ciel ouvert ou souterraines.



Après abattage à l'explosif, les roches dures sont reprises par des chargeurs, puis transportées vers des ateliers de concassage et de criblage

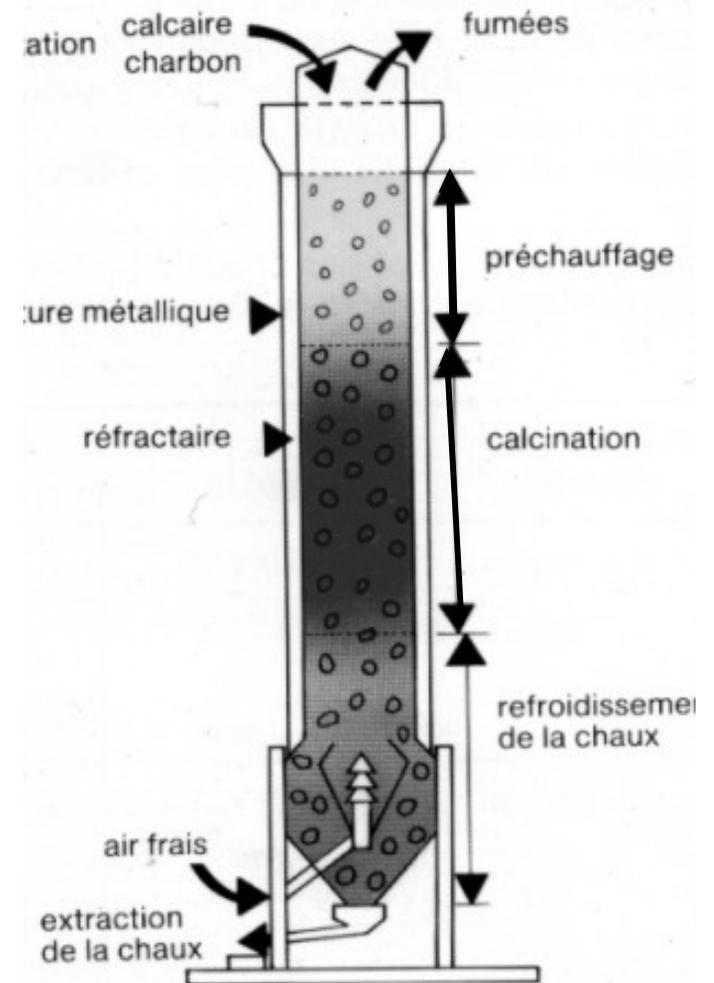
La première opération consiste à concasser, puis cribler les blocs, de façon à acquérir un calibre de pierre compatible avec le type de four utilisé.

Les fours verticaux requièrent une fourchette de calibre de 20 à 140 mm, contre 5 à 40 mm pour les fours rotatifs.

La cuisson s'effectue en général dans des fours verticaux à marche continue, dans lesquels un mélange intime de pierre et de charbon est introduit à la partie supérieure par couches alternées.

La pierre descend lentement, en traversant d'abord une zone de préchauffage, provoquant l'évaporation de l'eau libre et la déshydratation des marnes (vers 200°C).

Elle traverse ensuite une zone de calcination où elle est décarbonatée (à partir de 900 °C). La zone de cuisson proprement dite, où se forment les silicates et aluminates de chaux, se situe à une température variant entre 1000 et 1200 °C selon la qualité de chaux recherchée.





c. Extinction :

La chaux vive recueillie à la sortie du four passe alors par un traitement destiné à éteindre complètement la chaux libre tout en respectant les silicates et aluminates qui lui donnent son caractère hydraulique. En fait, ces silicates et aluminates fixent d'abord de l'eau, puis la perdent au profit de la chaux restant à éteindre. L'action d'extinction se fait suivant deux techniques:

Par immersion : La chaux est mise dans des paniers à claire-voie qu'on plonge dans l'eau pendant quelques secondes. Ce procédé est identique à celui utilisé pour l'extinction de la chaux grasse.

Par aspersion : La chaux est étalée en couches de 15 à 20 cm. On l'arrose légèrement puis on la retourne et on l'arrose à nouveau de manière à ce que toute la masse soit humectée.

La quantité d'eau employée se détermine expérimentalement (15 à 20% du poids de chaux). On relève ensuite la chaux en tas et on la laisse ainsi jusqu'à l'extinction complète (env. 2 semaines); la fin de l'opération étant marquée par la transformation du produit en poudre.

Dans certains cas d'extinction difficile, on utilise un extincteur rotatif en tôle qui reçoit intérieurement la quantité nécessaire à l'opération. Après extinction, la chaux est stockée en silo où s'achève l'hydratation des parties les plus cuites.

La chaux éteinte est passée par un grillage à mailles carrées de 10 cm de côté et subit enfin un tamisage dans les 'blutoirs'. Ces derniers sont des tambours longs à section polygonale dont les faces sont garnies de toiles métalliques. L'axe du tambour est légèrement incliné vers le bas et tourne à la vitesse de 60 à 80 tr/min. La chaux est introduite à la partie supérieure de l'appareil et descend lentement.

Les éléments qui traversent les mailles des toiles métalliques sont recueillis et constituent la chaux légère. Les morceaux qui ne peuvent passer à travers les ouvertures des grilles sont recueillis et soumis à un silotage prolongé (50 à 60 jours) puis broyés et blutés à nouveau.

Le produit qui passe alors à travers les mailles de la toile constitue la chaux lourde. Souvent on mélange cette chaux lourde à la chaux légère pour obtenir une chaux éminemment hydraulique. Enfin, le résidu de ce dernier blutage constitue les grappiers. Ces grappiers sont utilisés pour la fabrication de ciments à prise lente par broyage.

Le matériau obtenu peut faire l'objet, selon les cas, d'une mouture avec additions de grappiers ou d'autres constituants : clinker, laitier, pouzzolane. Lorsque aucune addition n'est effectuée, à l'exception facultative du grappier, le terme "pur" peut être appliqué à la chaux hydraulique naturelle (XHN pure).

d. Propriétés principales :

XHN : appartient à l'une des classes de résistance : 30, 60 et 100. Ces classes correspondent à des résistances à la compression minimales à 28 jours et en bars.; ex. : une chaux hydraulique naturelle offrant une résistance à la compression minimale à 28 jours de 60 bars est désignée sous le symbole de XHN 60.

La masse volumique apparente du produit est comprise pour les XHN 30 entre 600 et 750 kg/m³ et pour les XHN 60 et 100 entre 650 et 900 kg/m³,

La masse volumique absolue varie de 2600 à 2900 kg/m³,

La chaux hydraulique en poudre est jaune clair avec des nuances grisâtres. Elle est plus claire que les ciments et contient au moins 10% de chaux libre. T de stockage: 6 mois.

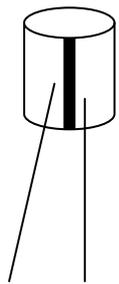
Sa granulométrie doit être telle que le refus au tamis d'ouverture de mailles 200 µm < 10%.

La surface spécifique Blaine varie entre 3000 à 8000 cm²/g.

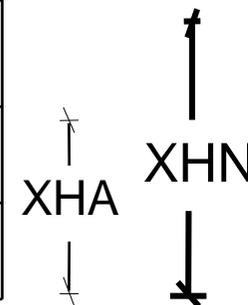
L'expansion à chaud, aux aiguilles de Lechâtelier, après 3 heures et à froid après 5 jours, doit être inférieure à 3 mm.

XHA : elles sont également classées selon leur résistance minimale à 28 jours, exprimée en bars. En revanche, la classe 30 n'existe pas pour les XHA.

Le début de prise ne doit pas avoir lieu avant 150 minutes et l'expansion aux aiguilles de Lechâtelier, à chaud après 3 heures doit être inférieure à 3 mm.



Classes	Résistances minima. à la compression en bars	
	7 jours	28 jours
30	10	30
60	30	60
100	50	100



Prise des chaux hydrauliques :

C'est au contact de l'eau (40 - 50%) que les silicates et aluminates calciques forment des hydrates insolubles dans l'eau (prise hydraulique : 20 à 80%). Les proportions d'alumines et de fer sont très faibles ($w_{\text{fer}} < 0,1$ ou $0,2\%$). Le phénomène de prise hydraulique est dû à la réaction :



La teneur en eau fixée 'n' varie, entre 1 et 3.

Par la suite, au contact de l'air humide, la chaux et les hydrates ainsi formés vont se carbonater (avec le CO_2 de l'air) pour redonner le carbonate de calcium et la silice d'origine (prise aérienne : 70 à 80%). Cette réaction prend plusieurs mois : c'est la partie aérienne de la prise.

Le caractère hydraulique des chaux se traduit également par leur prise ou leur durcissement plus ou moins rapide sous l'eau ($T_p = 150$ mn). Les XHN utilisés dans le bâtiment sont généralement hydrauliques ou éminemment hydrauliques.

e. Réglementation :

La chaux hydraulique naturelle, que l'on retrouve sous l'appellation standard XHN (chauX Hydraulique Naturelle), elle est déterminée par la norme française NFP 15310. Dans la nouvelle norme, on parle de chaux hydraulique naturelle : NHL (en anglais, Natural Hydraulique Lime).

Elle s'apparente aux chaux éminemment hydraulique.

Dans la nouvelle norme NFP 15311, les anciennes chaux hydrauliques artificielles n'ont plus droit à l'appellation de chaux, mais de ciment à maçonner.

Comme la C.L., la NHL présente une bonne isolation phonique.

f. Utilisation dans le bâtiment :

Les mortiers de chaux hydraulique trouvent leur application essentiellement dans le bâtiment où leurs qualités sont appréciées pour les enduits, les menus ouvrages de maçonnerie (joints, pose de carrelage) ou les travaux de restauration tels que l'exécution de moulures.

Enduits :

Les nombreuses qualités de la chaux, notamment plasticité et adhérence pour les XHN, rendent son emploi très intéressant et très efficace dans la réalisation des enduits extérieurs et intérieurs. On l'utilise seule ou mélangée au ciment Portland - souvent blanc -, au ciment prompt ou à la CAEB. Les enduits bâtards (chaux + ciment), tout en étant imperméables à l'eau sont perméables à l'air, ce qui évite les murs humides.

La XHN est utilisée dans la restauration des constructions anciennes et monuments historiques (mosquées, palais, remparts); ces ouvrages ont souvent été faits en utilisant de la chaux, et ce liant convient bien puisqu'il redonne à ces constructions leur aspect d'origine.

Badigeons :

les XHN conviennent bien pour la confection de badigeons qui peuvent être colorés dans la masse. Les chaux sont suffisamment fines et riches en hydroxyde de calcium pour rester en suspension aqueuse et donner un lait de chaux utilisable au moyen d'un pinceau ou d'un pulvérisateur. Leur blancheur est tout à fait satisfaisante pour cet usage.

Mortiers de pose et de jointement :

La chaux hydraulique constitue un matériau de choix pour la préparation des mortiers de pose et de liaison, principalement en élévation – mortiers de chaux pure et bâtard.

Le remplissage des joints se fait parfaitement grâce à l'onctuosité du liant. Les risques de fissuration sont minimes à condition que l'épaisseur du mortier des joints réalisés soit d'au moins 10 à 15 mm.

Bétons de remplissage :

Les chaux hydrauliques ne sont pas utilisables pour la réalisation de bétons destinés à supporter des charges importantes, mais elles peuvent être utilisées comme bétons de remplissage destinés par exemple à niveler le fond d'une fouille de fondation ou à constituer le support d'un carrelage, à la réalisation de murs de clôture ou encore des habitations de un ou deux étages.

Norme franç.	Dénomination et Composition	Symbole et classe de résistance (éventuellement sous classe)	Valeurs minimales garanties des résistances à la compression (en MPa)			Utilisation et avantages
			2 j.	7 j.	28 j.	
Ancienne norme NF P-15310 Nouvelle Norme NF P-15311	<p>CHAUX HYDRAULIQUE NATURELLES (X.H.N.)</p> <p>Obtenu par cuisson de calcaires marneux dont la pulvérisation résulte au moins partiellement, d'extraction (pulvérisation spontanée en présence d'eau).</p> <p>Natural Hydraulic Lime (NHL)</p>	XHN 100		50	100	<p>Maçonnerie traditionnelle n'exigeant que des résistances mécaniques moyennes.</p> <p>Les mortiers de chaux hydraulique d'un mélange chaux hydraulique - ciment (mortier bâtard) ont une grande plasticité et une faible fissurabilité. Ils conviennent pour l'exécution des enduits. Certaines de ces chaux sont naturellement blanches.</p>
		XHN 60		30	60	
		XHN 30		10	30	
Ancienne norme NF P-15312 Nouvelle Norme NF P-15311	<p>CHAUX HYDRAULIQUE ARTIFICIELLES (X.H.A.)</p> <p>Au moins 40 % de clinker, le surplus étant composé d'inertes.</p> <p>Incorporation d'un "entraîneur d'air" pour améliorer la plasticité.</p> <p>Ciment de Maçonnerie (C.M.)</p>	XHA 100		50	100	
		XHA 60		30	60	