

Délégation de la Moselle

Thomas Schuler, délégué-adjoint (Vallée de la Seille), professeur de physique-chimie

Dernière mise à jour janvier 2013

2 La chimie des chaux hydrauliques naturelles

1 La roche calcaire de départ

Avec un processus similaire à celui de la chaux aérienne, on obtient une chaux hydraulique naturelle dès lors que la roche calcaire de départ contient, en plus du *carbonate de calcium*, de 10 à 20% d'argile. La présence d'argile ou d'autres composés apporte notamment de la *silice* SiO₂, de l'*alumine* Al₂O₃ et des *oxydes de fer* comme Fe₂O₃ à la roche de départ.

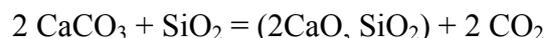
1) Conséquences au moment de la cuisson :

On obtient toujours une partie d'oxyde de calcium CaO via :



Mais la présence « d'impuretés » dans le calcaire de départ conduit à multitude de nouveaux produits. Il se forme ainsi des *silicates*, *aluminates* et *ferro-aluminates* de calcium.

On obtient majoritairement :



Obtention de silicate bicalcique (principal constituant de la bélite)

Remarque importante :

Nous entrons ici dans le monde des cimentiers, qui utilisent une notation spécifique.

En *notation cimentière*,

La silice SiO₂ est simplement notée S ;

L'oxyde de calcium CaO est simplement noté C

L'eau H₂O est simplement notée H

Ainsi, on voit souvent la bélite s'écrire comme C₂S, ce qui est plus commode que (2 CaO, SiO₂)...

Mais encore faut-il savoir de quoi on parle ! Car avec cette notation, la lettre C n'a rien à voir avec l'atome de carbone, pas plus que la lettre S ne désigne pas l'atome de soufre.

Il se forme aussi en faible proportion :



Obtention d'aluminat tricalcique et de ferrite

C'est la présence de ces composés dans la chaux obtenue qui va lui donner ses propriétés hydrauliques. (Début de prise au contact de l'eau)

La chaux vive CaO qui ne s'est pas combinée avec les « impuretés » va constituer la part aérienne du produit obtenu. En effet, une chaux hydraulique naturelle possède toujours une part aérienne.

(Dans la fabrication du ciment, la haute température du four (1450°C) et l'ajout volontaire d'argile dans des proportions contrôlées font qu'on obtient au final moins de 2% d'oxyde de calcium CaO. Après un brusque refroidissement on obtient le clinker, le principal constituant du ciment)

2 Conséquence à l'extinction

Ce caractère hydraulique a une conséquence sur la fabrication : l'extinction de la chaux hydraulique doit se faire avec la quantité d'eau juste nécessaire à la transformation de la « chaux libre » CaO en « chaux éteinte » Ca(OH)₂. Tout excédent d'eau entraînerait un début de prise. (Voir paragraphe suivant)

On ne peut donc pas stocker de la chaux en pâte avec une chaux hydraulique.

3 Première prise hydraulique et carbonatation

Du fait de la faible proportion des aluminates et ferro-aluminates dans une chaux hydraulique naturelle, la première prise s'explique essentiellement par le comportement des silicates de calcium en présence d'eau :



Au moment du gâchage, le silicate de calcium fournit un *silicate de calcium hydraté* (3CaO, 2SiO₂, 3H₂O) et à nouveau de la chaux éteinte qui vient s'ajouter à celle déjà présente suite à l'extinction. Contrairement aux silicates, les *silicates de calcium hydratés* ne sont pas des cristaux et ne sont pas solubles dans l'eau.

On obtient une sorte de gel, dont l'enchevêtrement autour de la chaux et des agrégats explique le durcissement. (Les cimentiers parlent de gel CSH, toujours avec la notation qui leur est propre)

Une première prise se fera donc en quelques heures, tandis que la seconde prise « aérienne » se fera dans les jours voire les semaines suivantes.

La vitesse de carbonatation secondaire dans l'épaisseur est à peu près d'1 cm par an.

Ces mécanismes sont relativement complexes, ce ne sont ici que les grandes lignes.

4 Indice d'hydraulicité de la chaux

Le rapport (en masse) des différents composés associés à l'argile sur la part de chaux vive définit l'indice d'hydraulicité. Pour être plus clair, il faut rappeler que les composés associés à l'argile sont la silice SiO_2 , l'alumine Al_2O_3 et l'oxyde de fer Fe_2O_3 ; tandis qu'il s'agit de l'oxyde de calcium CaO et l'oxyde de magnésium MgO pour la chaux vive.

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

Pour la plupart des chaux hydrauliques, les termes $m(\text{Al}_2\text{O}_3)$, $m(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ et $m(\text{MgO})$ sont minoritaires, de sorte que l'indice d'hydraulicité est très voisin du seul rapport $m(\text{SiO}_2)/m(\text{CaO})$

Cette définition de l'hydraulicité a été formulée par Vicat, elle permet de traduire l'observation qu'il avait faite au cours de ses innombrables essais : plus il y a d'argile dans le pierre à chaux, plus la chaux est hydraulique.

Comme il l'a été dit, c'est notamment la présence de silice SiO_2 qui donne à la chaux ses propriétés hydrauliques c'est pourquoi de nos jours, les industriels utilisent plutôt le « *taux de silice combinable* » qui permet d'estimer de façon plus précise la nature de la chaux qui va être obtenue après cuisson.

Toujours est-il que cet indice d'hydraulicité est à mettre en parallèle avec la résistance mécanique des mortiers que l'on pourra obtenir à partir de ces chaux. Plus cet indice est élevé, plus la chaux est hydraulique, et plus la résistance à la compression augmente.

(Ces mesures de résistance sont faites après que le mortier ait fait prise, le temps d'attente pour la mesure normalisée est de 28 jours.)

Bien entendu, ces mesures n'ont un sens que si le mortier utilisé est le même, quelque soit la chaux testée. C'est pourquoi le mortier confectionné pour ces essais répond à la norme EN 459-2, avec entre autres contraintes à respecter, une part de liant pour 3 parts de sable (en masse)

Type de chaux	taux de chaux libre (*)	Résistance à la compression à 28 jours (kg/cm^2)
CL 90	≥ 80	(**)
NHL 2	≥ 35	20 – 70
NHL 3,5	≥ 25	35 – 100
NHL 5	≥ 15	50 – 150
Chaux éminemment hydraulique, clinker	< 2	> 150

(*) Voir explication dans la fiche n°1 sur les chaux aérienne.

(**) La mesure n'a pas de sens, l'enduit n'ayant pas terminé de carbonater.

Plus la chaux est hydraulique, plus la résistance à la compression du mortier obtenu est grande. Mais la respiration du support est alors diminuée.

5 LA NORME EUROPEENNE POUR LES CHAUX HYDRAULIQUES NATURELLES

Compte-tenu de la norme **NF EN 459**, une chaux hydraulique naturelle prend la dénomination **NHL 2**, ou **NHL 3,5** ou **NHL 5**.

- Les lettres NH signifie qu'il s'agit de produit Hydraulique Naturel (Chaux produite à partir d'un calcaire contenant déjà naturellement argile ou silice, sans ajout)
- Le chiffre 2 ou 3,5 ou 5, fait référence à une performance mécanique annonçant une classe de résistance à la compression. (Voir tableau précédent)

Si l'on peut admettre l'utilisation d'une chaux NHL2 voire NHL3,5 dans certains cas pour le bâti ancien, une chaux de type NHL5 est plutôt à déconseiller car trop rigide.

Depuis juin 2011 et la révision de la norme, les chaux hydrauliques naturelles type NHL s'inscrivent dans une famille plus vaste intitulée « Chaux ayant des propriétés hydrauliques »¹

On y parle également de chaux formulées type FL, et de chaux hydrauliques type HL.

Ces chaux sont produites au départ **d'un mélange de constituants appropriés** ; et non d'une roche calcaire ayant naturellement une composition menant à une chaux hydraulique.

Remarque sur les chaux formulées :

Il n'est pas impossible que le taux de chaux libre d'une chaux formulée soit supérieur à celui d'une chaux hydraulique naturelle... puisque les chaux formulées contiennent une part aérienne.

Il suffit pour cela d'avoir mis dans le four un calcaire pur et très peu de "liants hydrauliques" (argile en somme), de sorte à reconstituer un calcaire faiblement argileux.

Mais une chaux formulée contient aussi des adjuvants, sensés faire son intérêt :

- Des colloïdes végétaux naturels pour obtenir plus de souplesse à l'application
- De la silice SiO₂ soluble pour accélérer la prise d'une chaux aérienne

La nouvelle norme impose en principe aux fabricants d'afficher la liste de ces adjuvants... mais il s'agit souvent de codes sous forme de lettres ; pas évident de s'y retrouver au 1^{er} coup d'œil.

Il ne faut pas forcément s'arrêter à un taux de chaux libre flatteur, bien que cela soit un prérequis pour une utilisation dans le bâti ancien. Si on devait hésiter entre une chaux hydraulique naturelle et une chaux formulée, il faudrait, pour faire son choix, tester comment elles se comportent à la pose et à quelle vitesse elles "tirent" ; et juger aussi de leur aptitude à ne pas trahir la couleur du sable utilisé (point très important pour les enduits, beaucoup moins pour de la maçonnerie)

Bibliographie :

- 1 : Pour plus de détails, voir article de Luc Van Nieuwenhuyze, revue MPF automne 2012, p8-10.
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Chaux_%28mati%C3%A8re%29
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ciment>
- <http://lebeton.free.fr/ciment.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Belite>
- <http://www.bcb-tradical.fr/>
- <http://www.chauxflash.be>
- Brochure Maisons Paysannes de Moselle : « Les mortiers à la chaux aérienne »
Jean-Yves Chauvet, 1981.
- « Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons, et les mortiers ordinaires »
L. J. Vicat, 1818.