Les ajouts : la chaux hydraulique

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin du ciment**

Band (Jahr): **63 (1995)**

Heft 5

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-146371

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

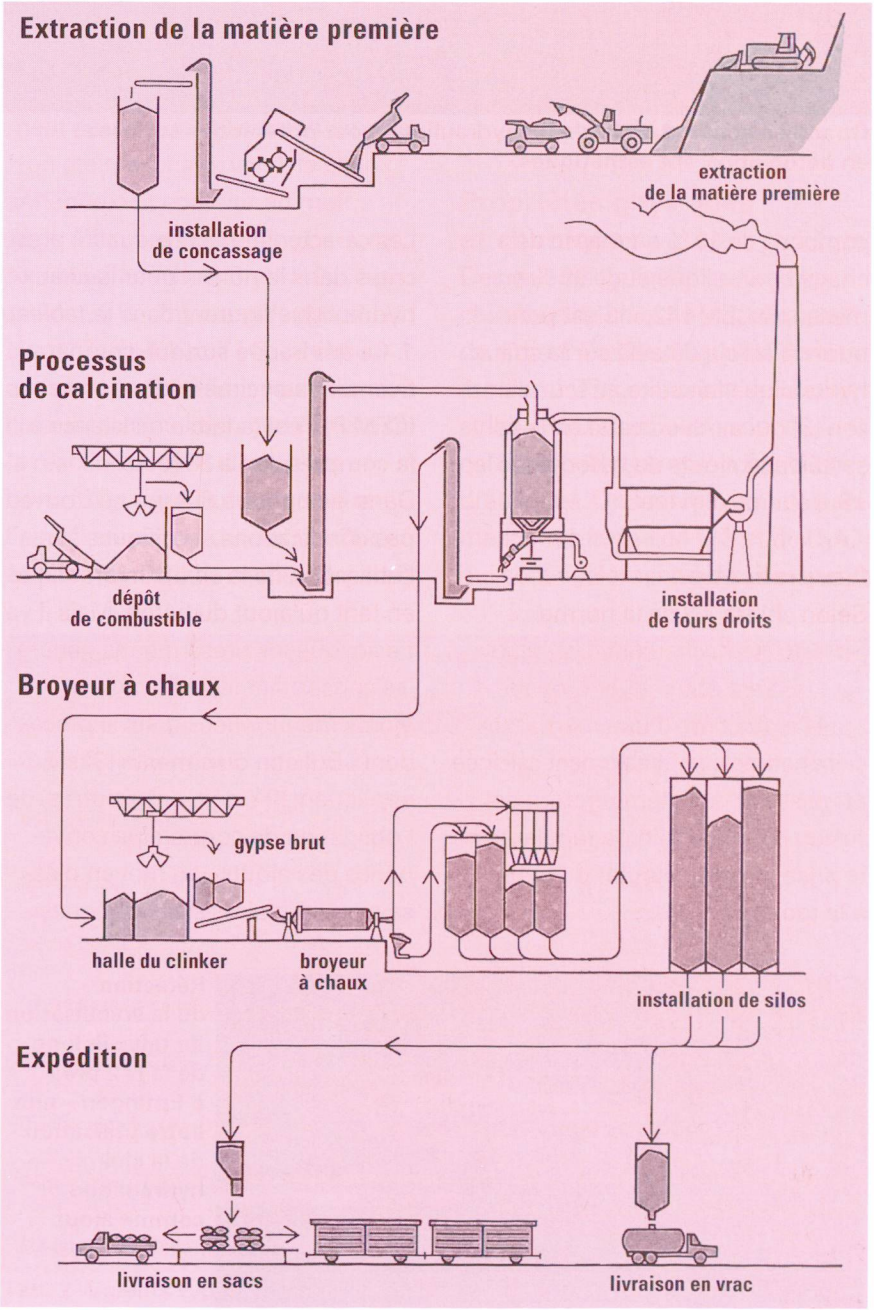
http://www.e-periodica.ch

Les ajouts: la chaux hydraulique

2ème partie

La chaux hydraulique est un ajout qui, grâce à sa grande finesse surtout, améliore certaines propriétés du béton, telles qu'ouvrabilité ou pouvoir de rétention d'eau.

On utilise la chaux depuis fort longtemps comme ajout du béton. C'est ainsi que l'on pouvait lire en 1934 déjà, dans un «Bulletin du ciment» [1]:
«La chaux hydraulique est un agglomérant connu depuis très longtemps, qui a fait ses preuves quant à sa durabilité, sa grande plasticité et son imperméabilité; par contre elle ne permet pas d'atteindre les hautes resistances initiales qu'on obtient sans peine avec le ciment Portland. Il semble donc tout indiqué d'utiliser ensemble ces 2 matériaux pour obtenir un béton qui, à part ses hautes résistances mécaniques et sa résistance au gel et aux intempéries, possédera encore une plasticité et une compacité plus grandes.»
L'auteur de ce texte renvoyait également à une publication de 1933, dans laquelle il était question – pour la première fois peut-être – d'études systématiques concernant l'influence de la chaux hydraulique sur les propriétés du béton [2].
Il ne semble pas qu'il y ait d'autres publications dans lesquelles l'effet de la chaux hydraulique sur le béton frais et le béton durci ait été spécialement étudié. Néanmoins, en Suisse, on ajoute souvent aujourd'hui encore un peu de chaux hydraulique au béton. Une cimenterie suisse fabrique en outre un liant



Graphique: TFB/S. Einfalt, ZSD

Fig. 1 Fabrication de la chaux hydraulique ([6], modifié).

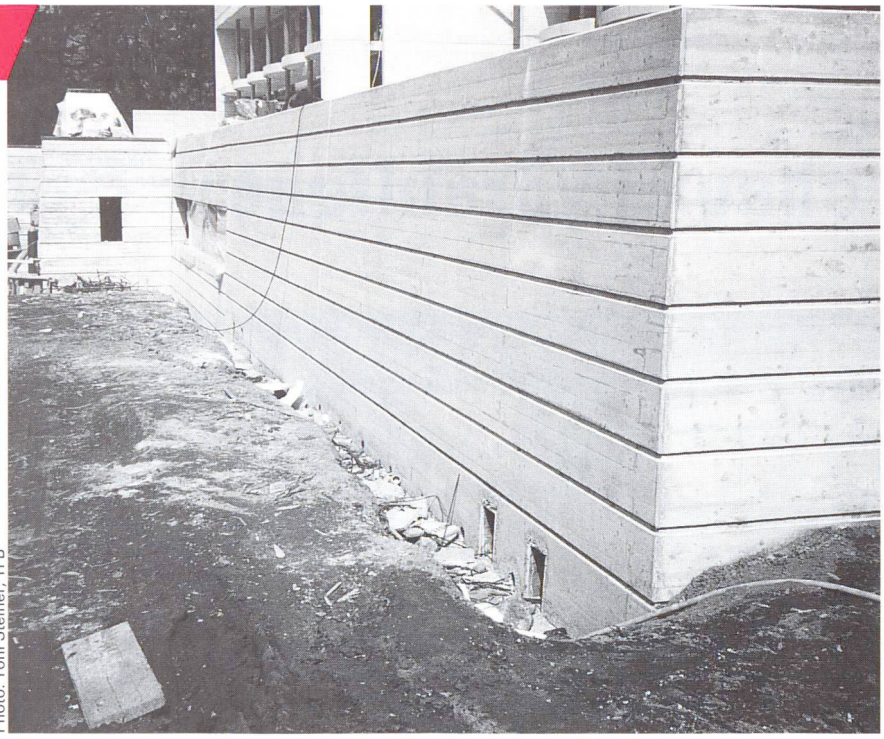


Photo: Toni Steiner, TFB

On utilise souvent de la chaux hydraulique pour obtenir des surfaces en béton apparent esthétiques.

composé de 10 % en masse de chaux hydraulique et de 90 % en masse de CEM I 42,5. C'est pourquoi un article détaillé sur la chaux hydraulique fait suite au tour d'horizon [3] qui a ouvert cette série consacrée aux ajouts du béton dans le «Bulletin du ciment».

Normalisation

Selon chiffre 2 3 de la norme SIA 215 [4], la chaux hydraulique «est un liant obtenu par broyage, après extinction, d'une marne calcaire naturelle préalablement calcinée au-dessous de la température de fusion partielle. Afin de régulariser la prise, on peut ajouter du gypse à la mouture.»

Les caractéristiques de qualité prescrites dans la norme pour la chaux hydraulique figurent dans le *tableau 1*. Ce qui frappe surtout, comparativement aux ciments Portland (CEM I), c'est la faible résistance à la compression à 28 jours.
Dans les normes SIA, on ne trouve pas d'indications spécifiques sur l'utilisation de la chaux hydraulique en tant qu'ajout du béton. Mais il va de soi que les prescriptions générales concernant les adjuvants et ajouts mentionnées dans le précédent «Bulletin du ciment» [3] s'y appliquent. Il s'agit, entre autres, de l'obligation de contrôler la convenance des ajouts «au moyen d'essais préliminaires systématiques».

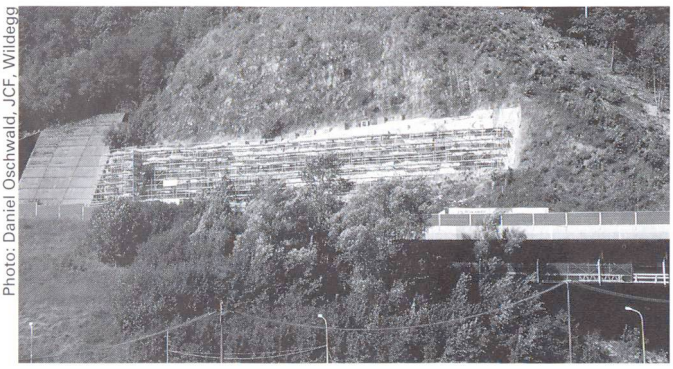


Photo: Daniel Oschwald, JCF, Wildegg

Réfection de la stabilisation de talus le long de la N 2 près d'Eptingen – une autre utilisation de la chaux hydraulique comme ajout.

Fabrication de la chaux hydraulique

La matière première pour la fabrication de chaux hydraulique est la marne calcaire, qui se compose pour 65 à 75 % de calcaire (carbonate de calcium, $CaCO_3$). La marne calcaire contient en outre – en pourcentages décroissants – du dioxyde de silicium (SiO_2), de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), de l'oxyde de fer (Fe_2O_3), et éventuellement de l'oxyde de magnésium (MgO).
Lors de la calcination de la marne calcaire, le carbonate de calcium se transforme en oxyde de calcium (CaO) et en dioxyde de carbone:

$$CaCO_3 \Rightarrow CaO + CO_2$$

Avec les combinaisons siliciées ou l'oxyde d'aluminium, l'oxyde de calcium se transforme partiellement en disilicate de calcium C_2S ($2\,CaO \cdot SiO_2$) ou en aluminate tricalcique C_3A ($3\,CaO \cdot Al_2O_3$).
C_2S et C_3A sont également d'importants composants du ciment Portland. Ils font partie de ce qu'on appelle les minéraux à clinker.
Une partie de l'oxyde de calcium ne réagit pas; elle subsiste sous forme de chaux libre.
Les principales étapes de la fabrication de la chaux sont représentées schématiquement dans la *figure 1*. On peut les résumer comme suit [5, 6]:

Photo: Laich SA

Rochers artificiels dans l'enclos des ours du zoo de Zurich (réalisation W. Vetsch, Zurich). Une application intéressante de la chaux hydraulique comme ajout du béton projeté.

Caractéristique de qualité	Valeur limite
Résistance à la compression (28 jours)	≥ 4 N/mm²
Début de prise	≥ 60 min
Stabilité de volume (Le Chatelier)	≤ 10 mm
Teneur admissible en SO_3	≤ 3,5%

Tab. 1 Valeurs caractéristiques de la chaux hydraulique selon norme SIA 215, chiffre 3 3 [4].

- La matière première est broyée dans des concasseurs à marteaux ou à mâchoires, pour obtenir une granulométrie de 30–50 mm; les fines au-dessous de 30 mm sont éliminées.
- La matière première concassée est introduite dans un four droit avec la quantité nécessaire de combustible (coke et anthracite), et cuite à 900–1000 °C.
- La matière calcinée (clinker de chaux) est mouillée avec la quantité d'eau nécessaire pour que la chaux libre (CaO) soit éteinte (hydratée), et le produit est entreposé jusqu'à réaction complète, c'est-à-dire au moins un mois encore:

$$CaO + H_2O \Rightarrow Ca(OH)_2$$

- Le clinker de chaux est versé dans un triturateur à boulets, et moulu en poudre fine (chaux hydraulique prête à l'emploi).

Il ne faut pas confondre la chaux hydraulique avec la *chaux aérienne,* qui s'utilise principalement dans l'industrie des enduits, mais également pour les stabilisations de sols. Non éteinte (chaux vive), la chaux aérienne doit contenir au moins 85 % d'oxyde de calcium (CaO) actif, et éteinte (chaux hydratée), au moins 90 % d'hydroxyde de calcium ($Ca(OH)_2$) actif [4]. La chaux aérienne se solidifie à peu près exclusivement au contact de l'air, par la réaction avec le dioxyde de carbone (CO_2, «gaz carbonique») et l'eau. Il en résulte du carbonate de calcium ($CaCO_3$), la matière à partir de laquelle la chaux aérienne a été fabriquée initialement:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \Rightarrow CaCO_3 + 2\,H_2O$$

Propriétés physiques et chimiques

Des valeurs typiques de l'analyse chimique de chaux hydraulique et de ciment Portland figurent dans le *tableau 2* [7]. Le dioxyde de silicium et l'oxyde d'aluminium sont ce qu'on appelle des composants hydrauliques. On les trouve principalement sous forme de C_2S et de C_3A, qui sont également des composants

Constituant	Teneur en pour cent de la masse	
	chaux hydraulique (valeurs provenant d'une usine)	ciment Portland (valeurs indicatives selon [7])
Oxyde de calcium (chaux)	ca. 41	62 ± 3
Dioxyde de silicium	ca. 30	21 ± 2
Oxyde d'aluminium	ca. 6	5 ± 1
Oxyde de fer	ca. 3	2,5 ± 1
Oxyde de magnésium	ca. 2	2 ± 1
Anhydride sulfurique	ca. 3	2,3 ± 1
Oxydes alcalins ($Na_2O + K_2O$)	ca. 1	1 ± 0,5
Perte au feu (surtout CO_2 et H_2O)	ca. 15	1,4 ± 1
Matières insolubles	ca. 12	0,5 ± 1

Tab. 2 Valeurs typiques pour la composition chimique de la chaux hydraulique et des ciments Portland.

6 Le rôle des fines dans le béton

On appelle «fines» la part des granulats dont le diamètre des grains est inférieur à 0,125 mm. Selon la norme SIA 162, chiffre 5 14 24 [11], les granulats naturels roulés doivent comporter entre 3 et 8 % de fines. Pour les bétons à propriétés particulières (en particulier pour le béton pompé) et pour les bétons apparents, il est recommandé, dans la même norme, de maintenir la part de fines au-dessus de 350 kg/m^3 (le ciment compte également parmi les fines).
Les sables naturels suisses sont fréquemment lavés. C'est pourquoi il manque souvent dans la grave une partie de la quantité de fines nécessaire. On peut la compléter par du sable, du ciment, du filler ou de la chaux hydraulique.
L'influence d'une teneur en fines optimale concerne particulièrement les propriétés du béton frais. On sait entre autres, par expérience, que [12]

- les farines augmentent la quantité de film lubrifiant, sans augmentation notable de la quantité d'eau de gâchage,
- les fines améliorent l'ouvrabilité,
- les fines améliorent le pouvoir de rétention d'eau,
- les fines réduisent la tendance à la ségrégation lors de la mise en place, et facilitent le compactage.

Il peut toutefois aussi y avoir trop de fines dans un béton. Le besoin en eau du béton augmentant alors, les propriétés du béton qui dépendent de la teneur en eau, comme par exemple la résistance à la compression, se dégradent. Le béton frais devient gluant ou pâteux. C'est pourquoi en Allemagne, dans la norme DIN 1045, la teneur en fines maximale admissible pour certains bétons utilisés à l'extérieur a été limitée à 350 kg/m^3 (dosage en ciment ≤ 300 kg/m^3), resp. à 400kg/m^3 (dosage en ciment ≤ 350 kg/m^3) [13].

des ciments Portland (voir [3]). Ils durcissent dans la chaux hydraulique comme dans le ciment Portland, c'est-à-dire sans air et dans l'eau. Plus une chaux hydraulique en contient, plus sa résistance est élevée. Ce qu'on appelle la chaux libre, qui se trouve également dans la chaux hydraulique, ne durcit qu'en présence de dioxyde de carbone et d'eau.
La résistance à la compression requise de la chaux hydraulique est peu élevée (voir *tableau 1*). Sa très grande finesse de mouture (valeur Blaine) est en revanche caractéristique comparativement aux ciments. La finesse de mouture est

- d'env. 7500 cm^2/g pour la chaux hydraulique
- d'env. 4000 cm^2/g pour le CEM I 52,5
- d'env. 3000 cm^2/g pour le CEM I 42,5
- d'env. 2500 cm^2/g pour le CEM I 32,5

La chaux hydraulique en tant qu'ajout

Il a déjà été traité plusieurs fois dans le «Bulletin du ciment» de la chaux hydraulique en tant qu'ajout du béton [1, 8, 9]. Dans une brochure détaillée sur la chaux hydraulique, éditée en 1987 par le TFB, il est conseillé d'ajouter au béton 20 à 30 kg de chaux hydraulique pour toute une série d'applications; le dosage en ciment (généralement 300 kg/m^3) n'est pas réduit [6]. L'utilisation de chaux hydraulique comme ajout destiné à améliorer la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau du béton s'est propagée en France également voici une vingtaine d'années [10].
Si l'on veut toutefois s'appuyer sur des résultats expérimentaux, sûrs et publiés, concernant l'utilisation de chaux hydraulique, on se trouve dans l'embarras. Des expériences issues de la pratique et des essais isolés ne cessent cependant de prouver que la chaux hydraulique

Bibliographie

[1] «La chaux hydraulique – ses avantages, son emploi», Bulletin du ciment **2** [4], 1–6 (1934).
[2] *Hutchinson, G. W.*, «L'influence de la chaux hydraulique sur le béton», Revue des matières de construction et de travaux publics **1933**, 63–65.
[3] *Hermann, K.*, «Les ajouts (1re partie)», Bulletin du ciment **63** [4], 3–7 (1995).
[4] Norme SIA 215, «Liants minéraux» (édition 1978).
[5] *Hermann, K.*, «Chaux», Bulletin du ciment **61** [24], 1–6 (1993).
[6] «Hydraulischer Kalk – Eigenschaften/Anwendungen», édité par le TFB, Wildegg (décembre 1987).
[7] *Eichenberger, H.*, «Eloge de la chaux», rapport annuel 1987 de la Société suisse des fabricants de ciment, chaux et gypse.
[8] *Trüb, U.*, «L'adjonction de chaux hydraulique au béton», Bulletin du ciment **40** [1], 1–5 (1972).
[9] *Trüb, U.*, «Adjonction de chaux hydraulique au béton», Bulletin du ciment **52** [1], 1–4 (1984).
[10] «Les chaux hydrauliques», Notice technique, éditée par le Syndicat National des Fabricants de Ciment et de Chaux, Paris (1975).
[11] Norme SIA 162, «Ouvrages en béton» (édition 1993).
[12] *Meyer, B.*, «Le rôle des fines dans le béton», Bulletin du ciment **54** [6], 1–8 (1986).
[13] DIN 1045, «Beton und Stahlbeton – Bemessung und Ausführung» (1978).

Expériences d'un applicateur de béton projeté

Photo: Greuter AG, Hochfelden

Le béton projeté s'utilise aujourd'hui souvent avec de la chaux hydraulique comme ajout.

Dans une entreprise qui utilise depuis de nombreuses années du béton projeté par voie sèche, il a été usuel, pendant longtemps, d'ajouter un peu de chaux hydraulique au béton projeté, afin d'améliorer son ouvrabilité. Le travail de la surface en particulier, par exemple le talochage, était ensuite plus facile.
A la fin des années 80, on a renoncé à l'adjonction de chaux hydraulique, au cours de l'optimisation des phases de travail. Toutefois, depuis deux ans environ, on ajoute de nouveau régulièrement de la chaux hydraulique au béton projeté, car pour les travaux de réfection, le module d'élasticité du béton projeté doit être pareil, ou plus bas, que celui de l'ancien béton. Comme le béton projeté contient proportionnellement beaucoup de ciment Portland, son module d'élasticité est élevé (36 000 à 38 000 N/mm^2). Mais en remplaçant quelque 10 % du ciment par de la chaux hydraulique, on peut atteindre des modules d'élasticité de 30 000 à 32 000 N/mm^2 environ.
La résistance à la compression du béton s'en trouve réduite, mais elle reste suffisamment élevée.
Dans ladite entreprise, on apprécie également la chaux hydraulique pour compléter les granulats ayant une courbe granulométrique défavorable dans la fraction des fines. Et finalement, on a également constaté que l'ouvrabilité était meilleure et le pouvoir de rétention d'eau plus élevé, et qu'il y avait moins de problèmes de ressuage. Dans la plupart des cas, on admet en outre que le rebond est moindre.

sert avant tout à faciliter la mise en œuvre.
C'est essentiellement à sa grande finesse de mouture que la chaux hydraulique doit son influence positive sur les propriétés du béton frais. Elle lui permet de remplacer les fines dans le béton (voir encadré «Le rôle des fines dans le béton»). Il faut toutefois absolument prendre en considération que l'adjonction de chaux hydraulique à un béton contenant déjà suffisamment de fines peut avoir des effets négatifs: le besoin en eau augmente, et les propriétés qui dépendent de la teneur en eau (par exemple la résistance à la compression) se dégradent; le béton frais devient gluant, et le béton durci témoigne d'un fort retrait.
Les effets positifs de la chaux hydraulique sur un béton de bonne composition qui peuvent être considérés comme sûrs sont les suivants:

- meilleure ouvrabilité
- meilleur pouvoir de rétention d'eau, et donc moins de ressuage pendant et après la mise en œuvre
- béton frais plus plastique
- ségrégation réduite pendant le transport et la mise en place du béton frais
- surfaces de béton apparent plus uniformes

Il ressort également de cette énumération les importantes utilisations suivantes de la chaux hydraulique:

- béton pompé
- béton fluidifié
- béton apparent

Pour le béton pompé, ce sont surtout le meilleur pouvoir de rétention d'eau (pas d'extraction d'eau sous haute pression de refoulement dans le tuyau) et la plus grande quantité de film lubrifiant qui se répercutent positivement. Le pouvoir de rétention d'eau plus élevé du béton frais est également important pour le béton apparent, car il permet des surfaces plus uniformes. La chaux hydraulique ne contribue que peu, ou même pas du tout, à la résistance à la compression du béton.
Depuis quelques années, la chaux hydraulique est de nouveau de plus en plus utilisée dans le béton projeté, aussi bien pour la projection humide que pour la projection à sec. Quelques expériences d'un spécialiste sont résumées dans un encadré spécial.
Un article sur la chaux hydraulique serait incomplet s'il n'y était fait mention que ce liant est également utilisé dans les mortiers de chaux et les mortiers bâtards à maçonner, ainsi que comme composant d'autres mortiers tels que les mortiers à crépir (crépis de fond et crépis pour façades pour les bâtiments en construction et les rénovations). Ces mortiers sont plastiques et malléables, et témoignent d'un haut pouvoir de rétention d'eau.

Kurt Hermann