

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Pr. GHOMARI Fouad

CHAP. II. Liants Minéraux et Bétons.

Les liants minéraux sont des matériaux moulus d'une façon très fine. Malaxés à l'eau, ils donnent une pâte collante qui durcit graduellement pour devenir une sorte de pierre artificielle. Dans les travaux de construction, les liants minéraux sont mélangés avec l'eau et/ou les granulats (sable, gravillon, gravier), pour devenir une pâte de ciment ou mortier ou encore béton.

Il est connu que certains liants durcissent à l'air seulement et d'autres dans des milieux humides ou dans l'eau. Cette propriété nous permet de classer les liants minéraux en :

- Liants aériens qui ne durcissent et ne peuvent conserver leurs propriétés mécaniques qu'à l'air (ex.: chaux grasse, plâtre),
- Liants hydrauliques qui durcissent et conservent leurs propriétés mécaniques non seulement à l'air mais aussi dans l'eau (ex. : chaux hydraulique, ciment Portland,...)

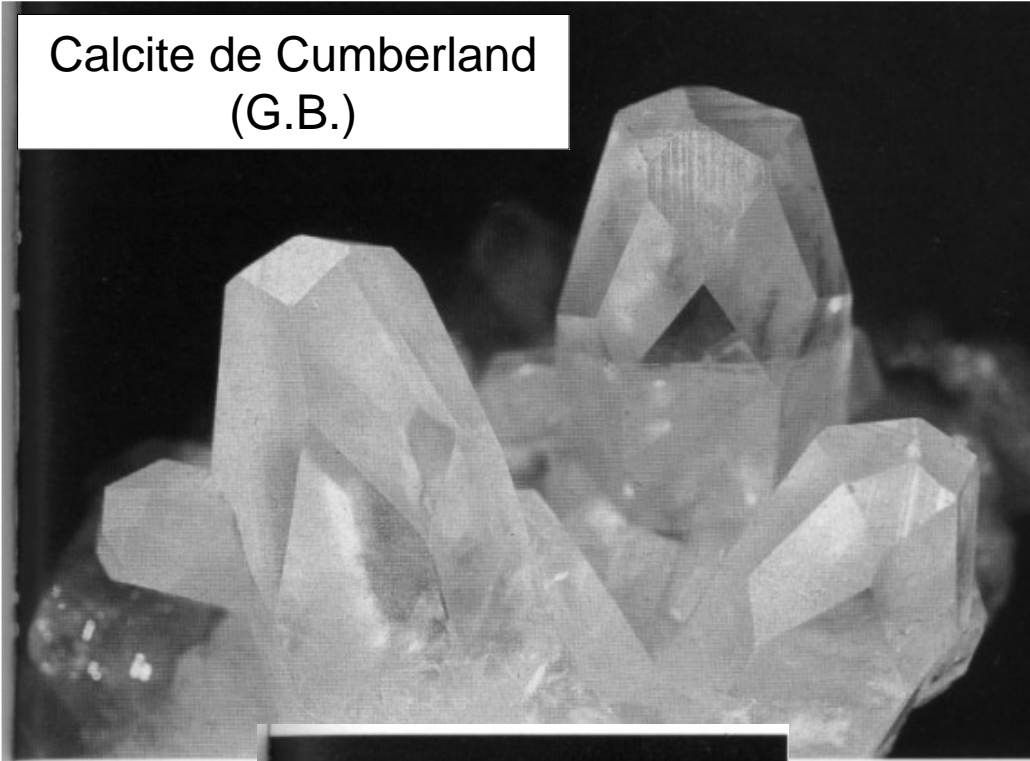
2.1. Liants aériens :

2.1.1. Chaux grasse : a été l'un des premiers liants utilisés (avec le plâtre et le bitume) depuis des millénaires. Les chinois, les égyptiens, les mayas ont construit des édifices durables avec des mortiers à base de chaux.

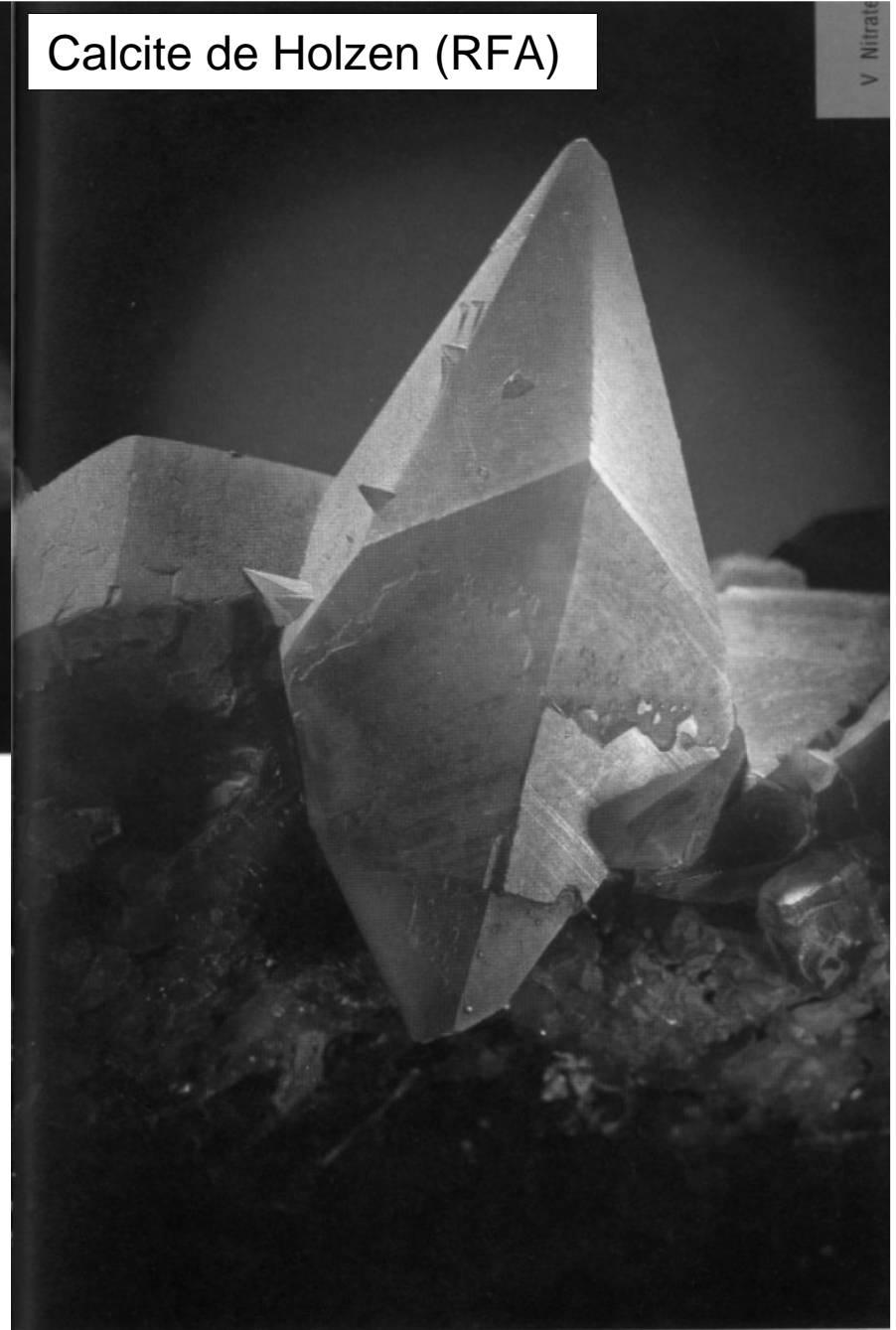
Au moyen âge, la chaux a été des plus employée (mélangée avec des tuiles ou des briques pilées); ainsi elle fût couramment utilisée jusqu'au milieu du 19e siècle. Il y avait alors en Algérie des milliers de petits fours à chaux dont il subsiste encore quelques vestiges.

Cette chaux, obtenue par cuisson de roches calcaires (CaCO_3) ou dolomitiques (association de CaCO_3 et MgCO_3) suivie d'une extinction à l'eau, durcissait lentement à l'air, ce qui lui a valu son appellation couramment employée de chaux aérienne.

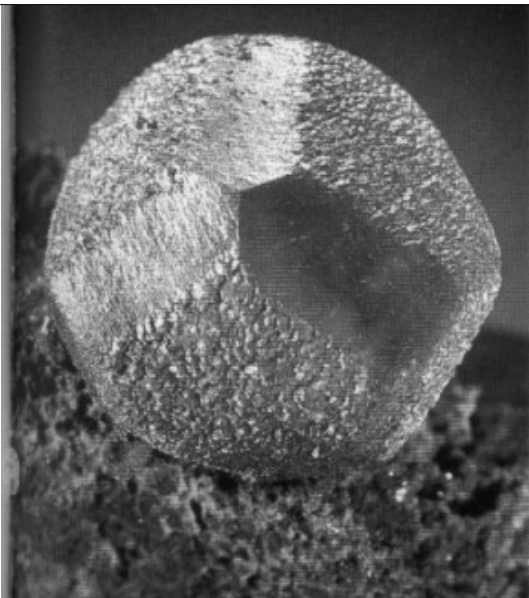
Calcite de Cumberland
(G.B.)



Calcite de Holzen (RFA)

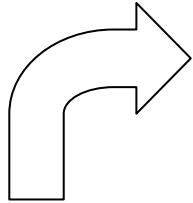


Calcite de Kander (Suisse)



a., Extraction :

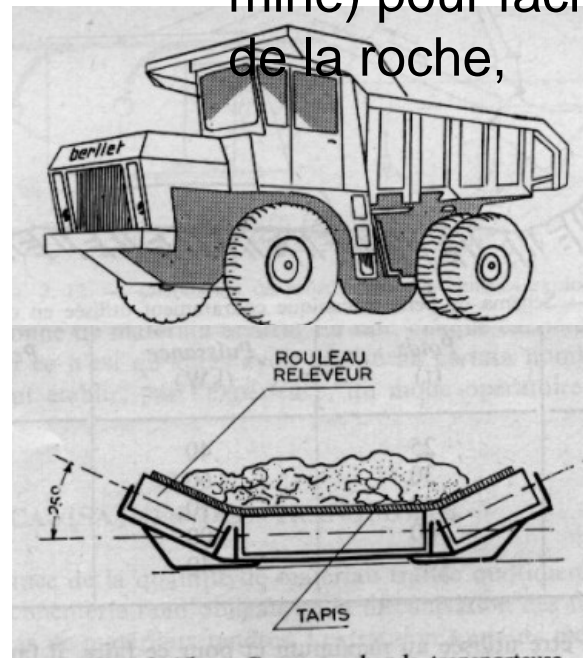
Le calcaire est extrait des carrières.
Traditionnellement, l'extraction se faisait par des moyens manuels (pics, pioches,...).



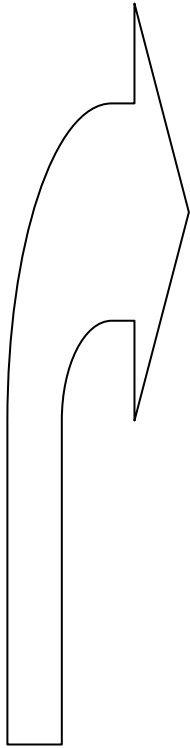
Les blocs ainsi obtenus sont charriés par des pelles mécaniques et déposés dans des camions chargeurs. Ils sont acheminés vers les ateliers de préparation, où débute leur transformation (concassage, criblage et calibrage).

D'autres gisements comme les matériaux calcaires maritimes (coquillages, coraux) ont été exploités par le passé, et le sont parfois encore de nos jours. C'est toujours le cas en Inde, et jusqu'à récemment dans l'île de la Réunion.

On a recours actuellement à l'utilisation d'explosifs (tirs de mine) pour faciliter l'extraction de la roche,




b., Concassage, criblage et calibrage :



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.

c., Cuisson ou calcination :

 Aujourd'hui deux types de fours sont employés dans l'industrie pour la cuisson du calcaire.



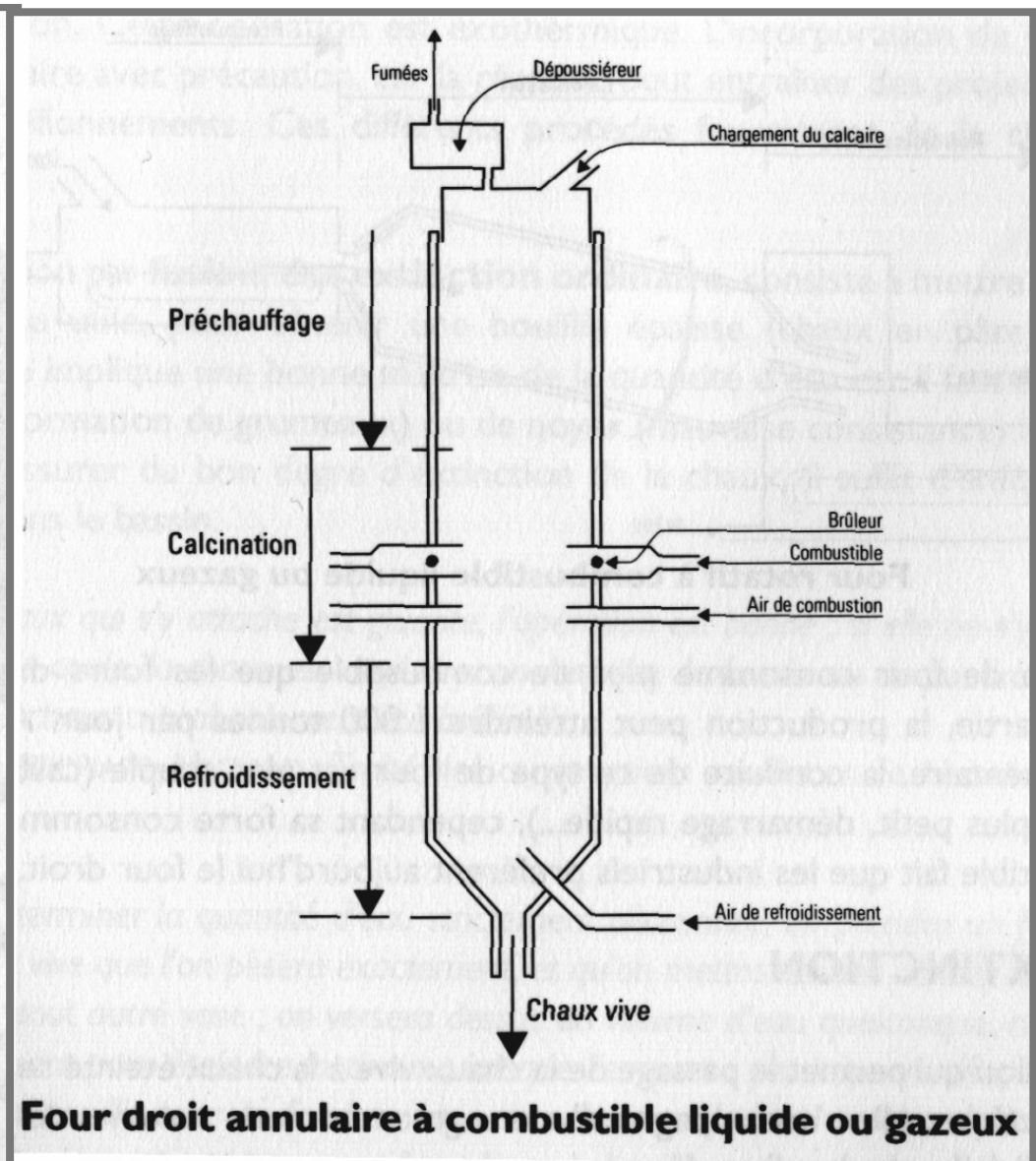
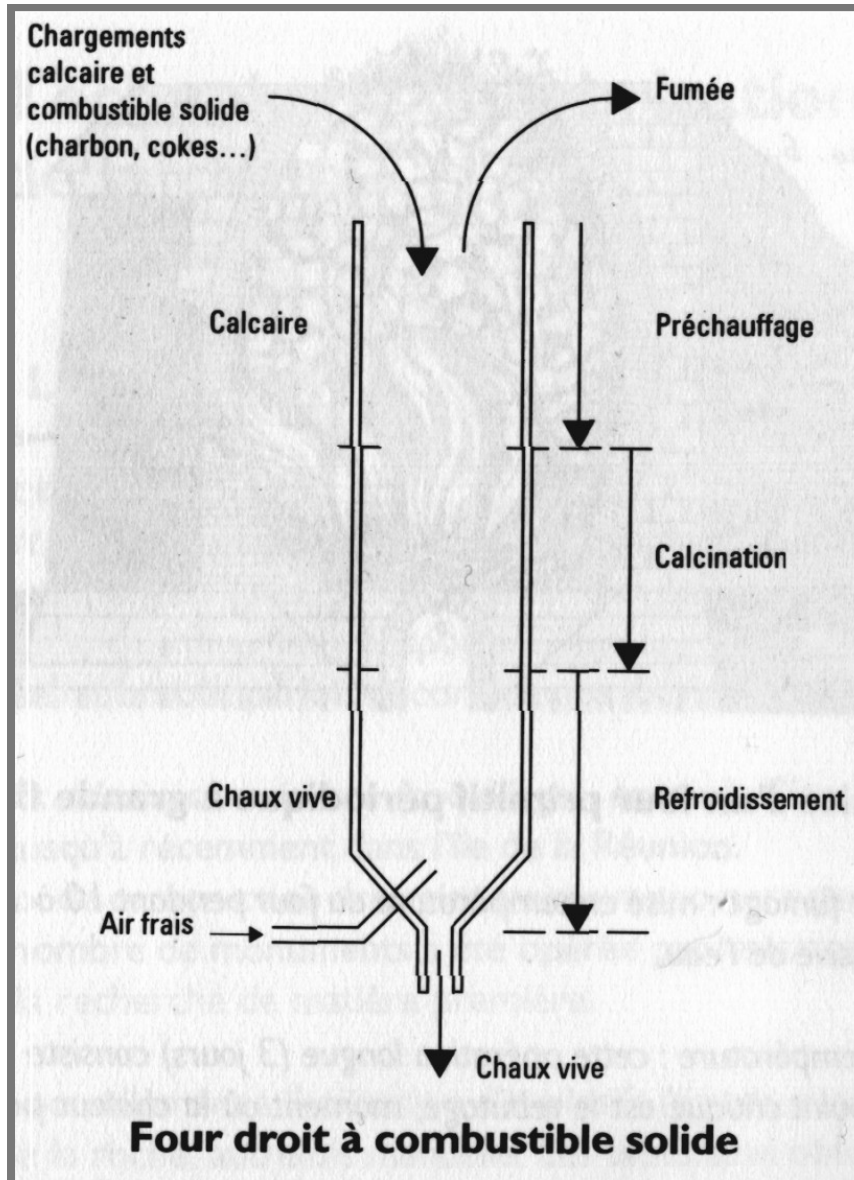
Le four
était
construit à
proximité
de la
carrière,
afin de
limiter les
transports.

Le four vertical ou four droit, sur le modèle des fours primitifs, se présente généralement sous la forme d'un cylindre en acier (dim. Moy. : diam. 2m et H. 8m), chemisé intérieurement avec un matériau réfractaire, résistant à l'abrasion et à la corrosion. Il comporte des ventilateurs de tirage. La partie inférieure est munie d'une grille de défournement.

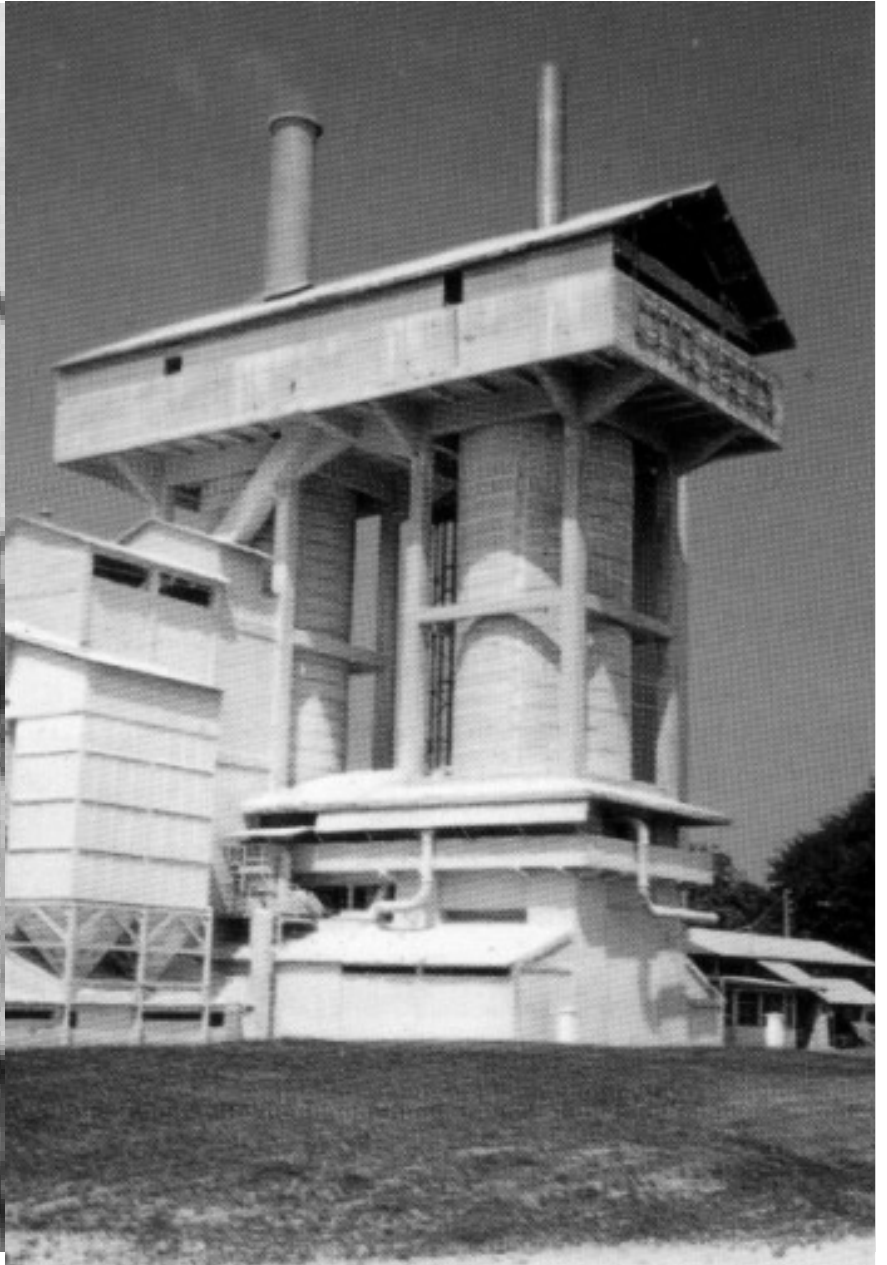
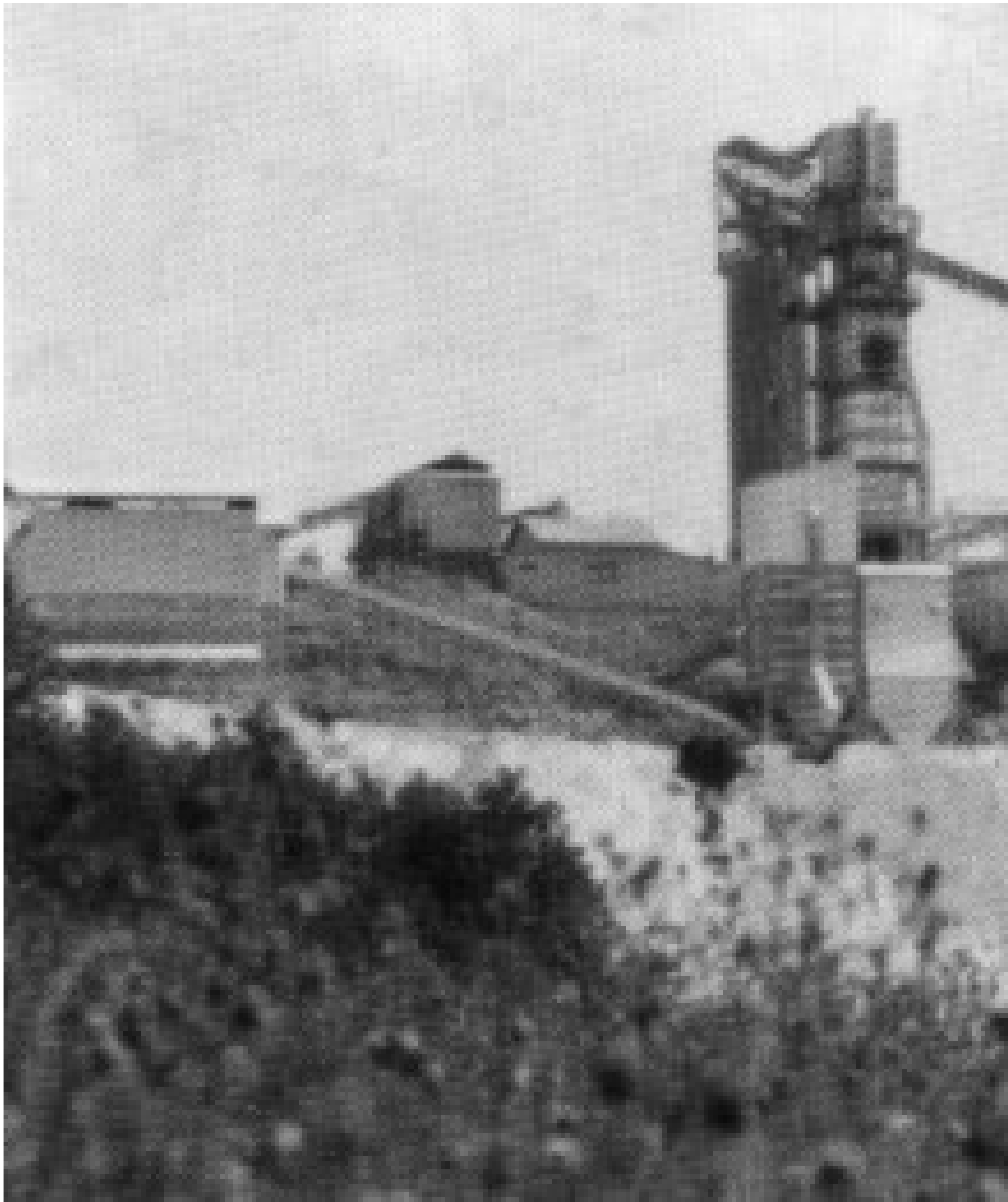
Les perfectionnements de ces dernières années ont contribué à faire du four droit annulaire le plus économique d'un point de vue énergétique.

On distingue, en effet, les fours droits anciens, utilisant des combustibles solides (coke métallurgique, charbons,...). Ils consomment environ 150 kg de charbon par tonne de chaux et ont une production assez faible : quelques tonnes à quelques dizaines de tonnes par jour. Elle est comprise entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{3}$ de son volume intérieur.

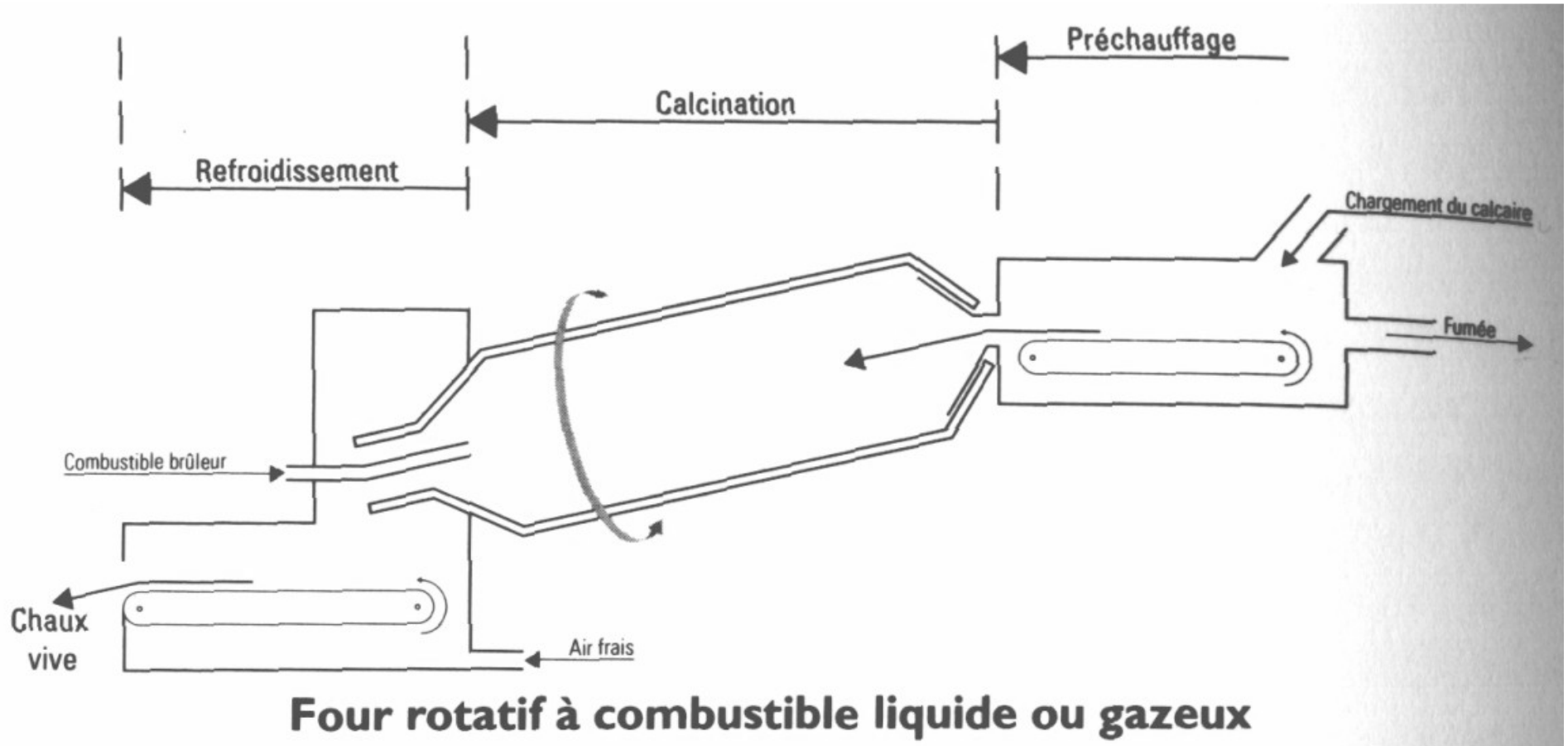
Les fours droits modernes, quant à eux, utilisent des combustibles tel que le fuel, et d'autres combustibles d'origines végétales (pépins de raisin...), le gaz. Leur capacité de production, nettement plus importante, est de 150 à 500 T / jour.



L'alimentation en calcaire se fait par le haut du four. Le choix d'un bon calibrage des pierres permet une bonne circulation des flammes et une répartition homogène de la température.



Le **four rotatif** possède les caractéristiques de ceux utilisés dans l'industrie cimentière. Pour fabriquer de la chaux, il cuit le matériau entre 1000°C et 1300°C, suivant le type de chaux produite.

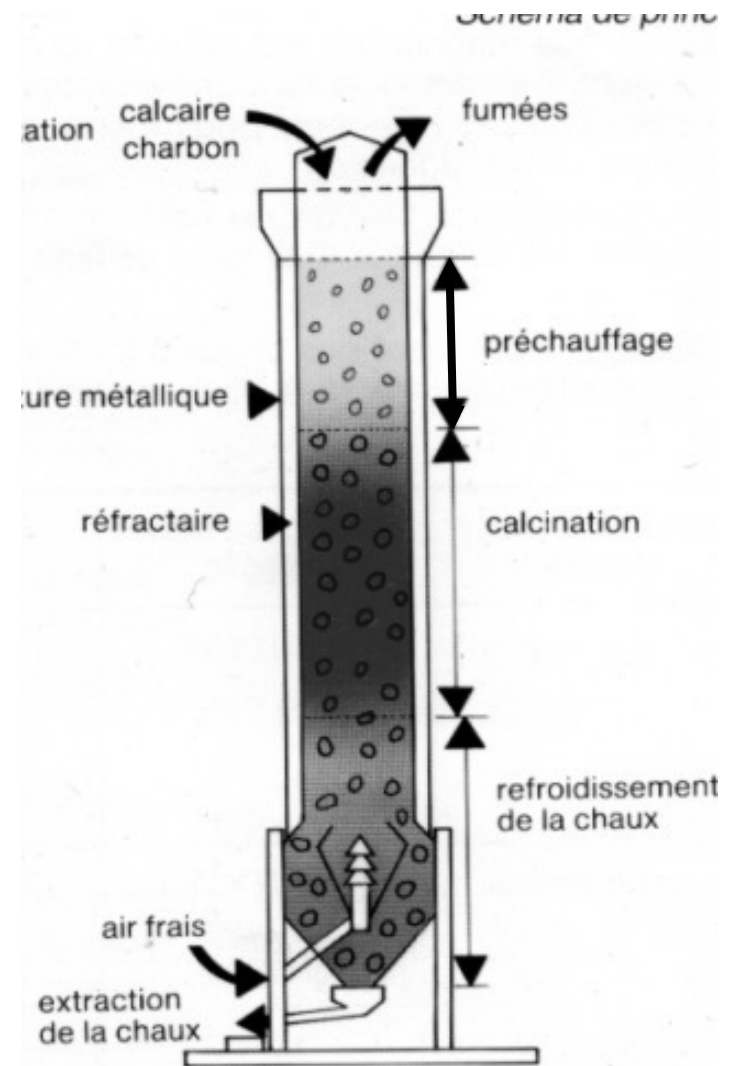


Le calcaire est introduit par l'un des côtés. Il traverse une zone de préchauffage avant de subir la calcination. La chaux est refroidie avant d'être extraite.

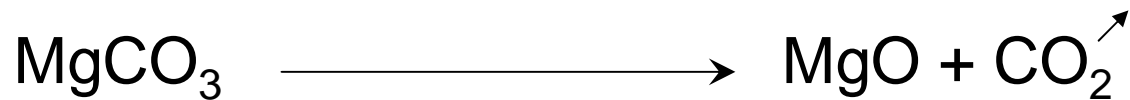
Le four de type horizontal consomme plus de combustible que les fours droits. En contrepartie, la production peut atteindre 1000 T/j.

Avantage supplémentaire, la conduite de ce type de four est plus souple (calibrage de pierre plus petit, démarrage rapide, ...), cependant sa forte consommation en combustible fait que les industriels préfèrent aujourd'hui le four droit.

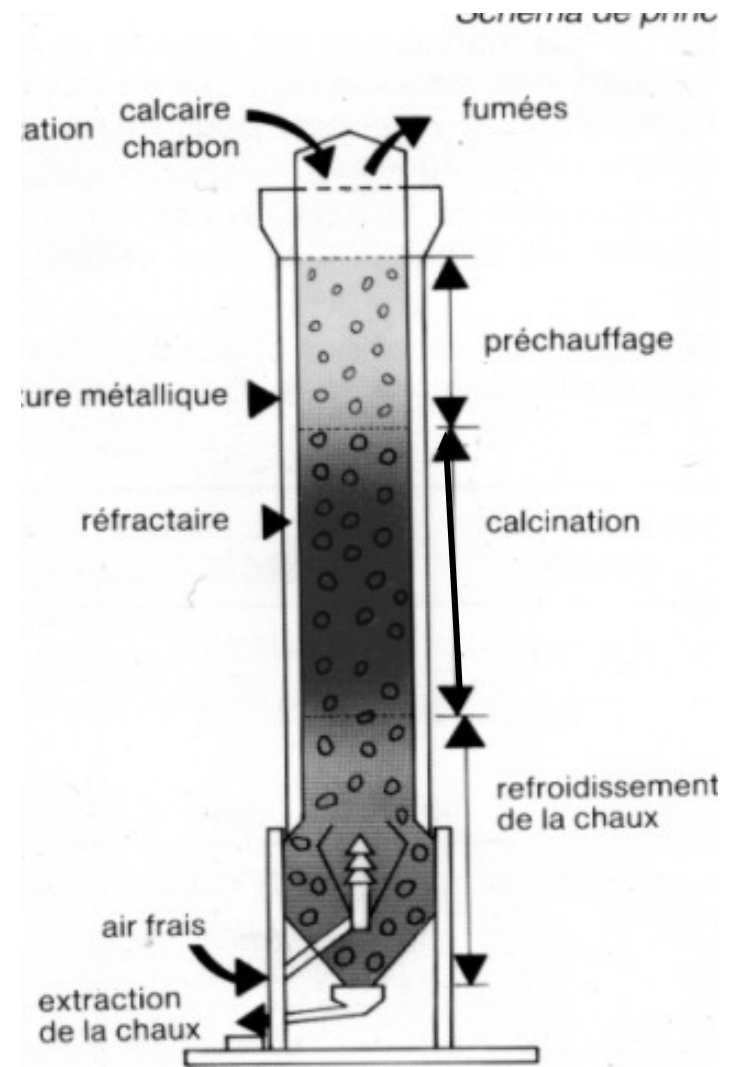
La pierre descend lentement en traversant d'abord une zone de préchauffage. Cette opération importante permet l'évaporation de l'eau libre contenue dans la pierre et évite l'éclatement des blocs,



Puis la pierre traverse une seconde zone où elle subit la calcination. C'est une décarbonatation qui a pour effet d'entraîner la perte de "CO₂" à partir de 900°C. Dans les dolomies, la décarbonatation se fait à une température inférieure (400°C) pour donner de la magnésie (MgO).



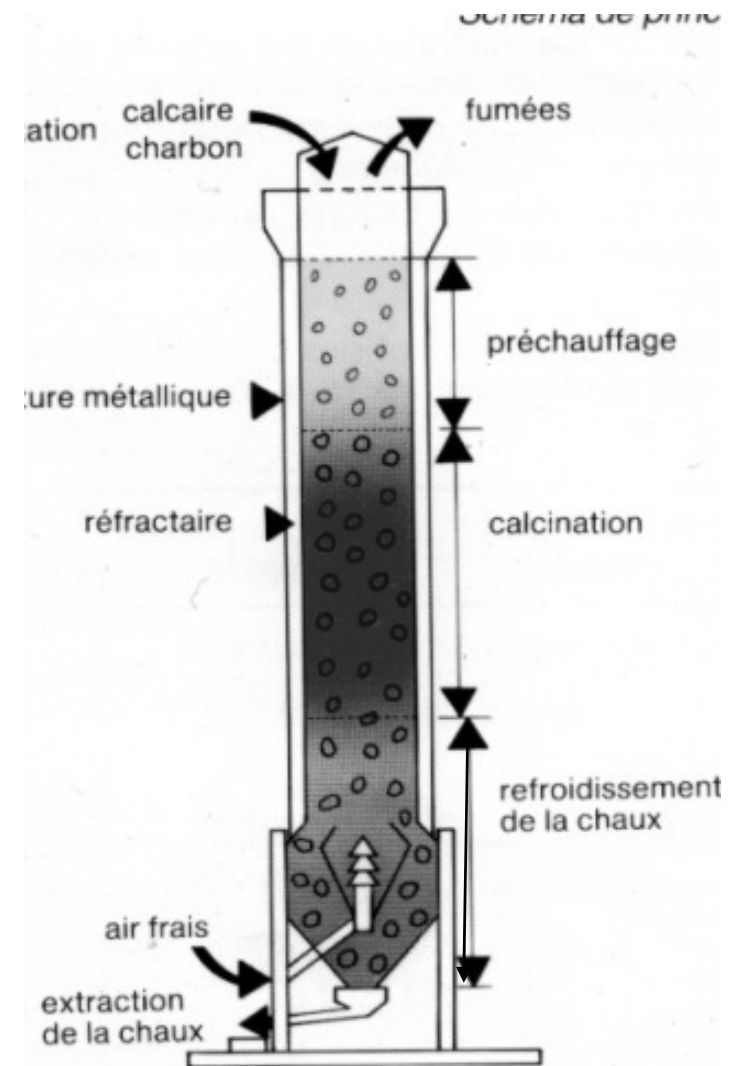
Les vapeurs d'eau produites sont évacuées avec les fumées et participent à la bonne décarbonatation du calcaire, du fait de la grande affinité de la vapeur d'eau avec le gaz carbonique.



La chaux vive ainsi produite continue sa descente vers une troisième zone de refroidissement, avant d'être extraite.

L'arrivée d'air frais au bas du four provoque un courant d'air qui parcourt le four en sens inverse et intervient dans les différentes étapes de fabrication de la chaux : refroidissement, combustion du combustible,...

Pierre sortant du four



d. Extinction :

C'est l'opération qui permet le passage de la chaux vive à la chaux éteinte; elle s'accompagne d'une augmentation de volume : le 'foisonnement'. Elle résulte d'un changement de structure moléculaire et de la formation d'aiguilles d'hydrate de chaux. Au moment de son utilisation, la chaux doit être entièrement hydratée, sous peine de voir des gonflements destructeurs se manifester dans les ouvrages.



L'extinction est obtenue par adjonction d'eau et peut s'effectuer selon diverses méthodes :

1. L'extinction spontanée est obtenue en soumettant la chaux vive à l'action lente et continue de l'air. L'humidité présente dans l'atmosphère assure le rôle de l'eau d'extinction.

La méthode par arrosage manuel consiste à apporter la juste quantité d'eau nécessaire à l'extinction (10 à 15%) . La réaction est exothermique (dégagement de chaleur) et engendre des projections dans le cas de blocs de chaux.

La méthode traditionnelle par immersion comporte le trempage de blocs dans l'eau, puis l'égouttage et enfin le stockage pour laisser se poursuivre l'extinction. Cette opération est exothermique (15500 cal/mol.g; T= 150 °c). L'incorporation de la chaux doit se faire avec précaution, car la réaction peut entraîner des projections et des bouillonnements.

Ces trois premiers procédés fournissent de la chaux en poudre.

L'extinction par fusion, dite extinction ordinaire, consiste à mettre la quantité d'eau utile, pour obtenir une bouillie épaisse (chaux en pâte). Cette méthode implique une bonne maîtrise de la quantité d'eau car il faut éviter de brûler (formation de grumeaux) ou de noyer (mauvaise consistance) la chaux.

Pour s'assurer du bon degré d'extinction de la chaux, il suffit d'enfoncer un bâton dans le bassin :

- Si la chaux qui s'y attache est gluante, l'opération est bonne,
- Si elle ne s'y attache pas, si elle coule, la chaux est noyée,
- Si une espèce de fumée ou de poudre tient au bâton, la chaux a probablement été brûlée.



Chaux vive réagissant à l'eau

La méthode utilisée dans les procédés industriels modernes produit de la chaux éteinte sous forme de poudre.

Les granulats de chaux vive sont broyés et passent par un hydrateur (vis sans fin aspergé d'eau). L'eau introduite (7 à 10%) permet l'hydratation de la chaux vive, mais elle aide également à l'évacuation de la chaleur dégagée lors de la réaction ($T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Les particules qui n'ont pas réagi appelés "grappiers" (impuretés, surcuits, incuits,...) sont éliminées par tamisage. La chaux éteinte pulvérulente est tamisée, conditionnée en sac de 25 ou 50kg ou en vrac.

e. Propriétés principales :

Chimiques : la teneur en chaux libre et magnésie (CaO et MgO) doit être supérieure à 80%. La teneur en oxyde de carbone (CO) doit rester inférieure à 5%.

Physiques :

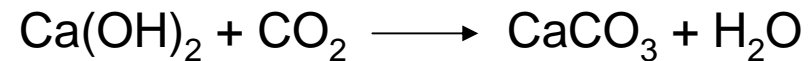
Le refus au tamis de 800 μ est nul et le refus au tamis de 80 μ doit être inférieure à 10%.

La finesse globale doit se situer dans l'intervalle de 8.000 à 20.000 cm²/g.

La masse volumique apparente varie de 500 à 700 kg/m³ et la masse volumique absolue varie de 2200 à 2500 kg/m³.

La chaux vive est très avide d'eau, elle s'éteint en s'hydratant avec un fort dégagement de chaleur (absorbe pour 1kg de chaux, 3 litres d'eau). Cette propriété est utilisée pour assécher et traiter les sols très imprégnés d'eau.

La chaux éteinte durcit en fixant le gaz carbonique de l'air pour redonner du carbonate de calcium.

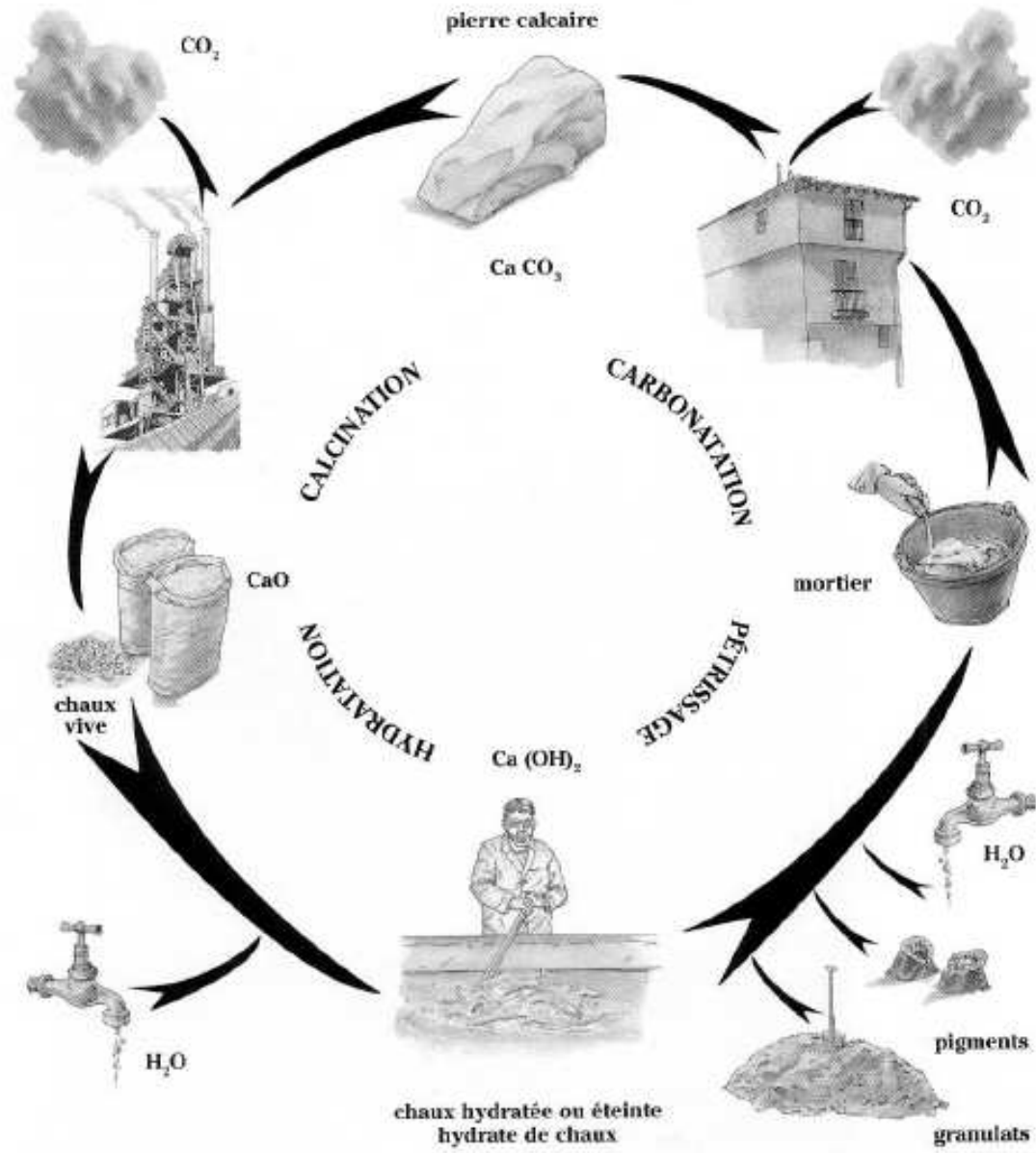


La chaux aérienne présente un indice de clarté proche de 100 (indice qui varie de 0 à 100). Ce qui permet de révéler la coloration de l'agrégat.

La chaux aérienne résiste bien au feu. Sa résistance réfractaire varie entre 1800 à 2000 °C.

La chaux aérienne prend lentement. Le temps de début de prise est de 600 minutes (10 heures).

Cycle de la Chaux grasse



La solubilité est faible (1 à 1,5 g/l), ce qui permet de fabriquer des laits de chaux.

L'eau de gâchage pour l'obtention d'une pâte de chaux est de 8 à 15%.

La chaux grasse est fortement basique, ce qui permet de neutraliser les acides du sol ou les eaux usées (produit bactéricide).

La chaux grasse constitue un bon isolant à la fois phonique et thermique.

La chaux aérienne fait l'objet d'une normalisation. La norme française ancienne NFP 15 510 désignait la chaux aérienne éteinte pour le bâtiment par CAEB. Une nouvelle désignation apparaît CL (calcique Lime, NFP 15 311).

f. Utilisation dans le bâtiment :

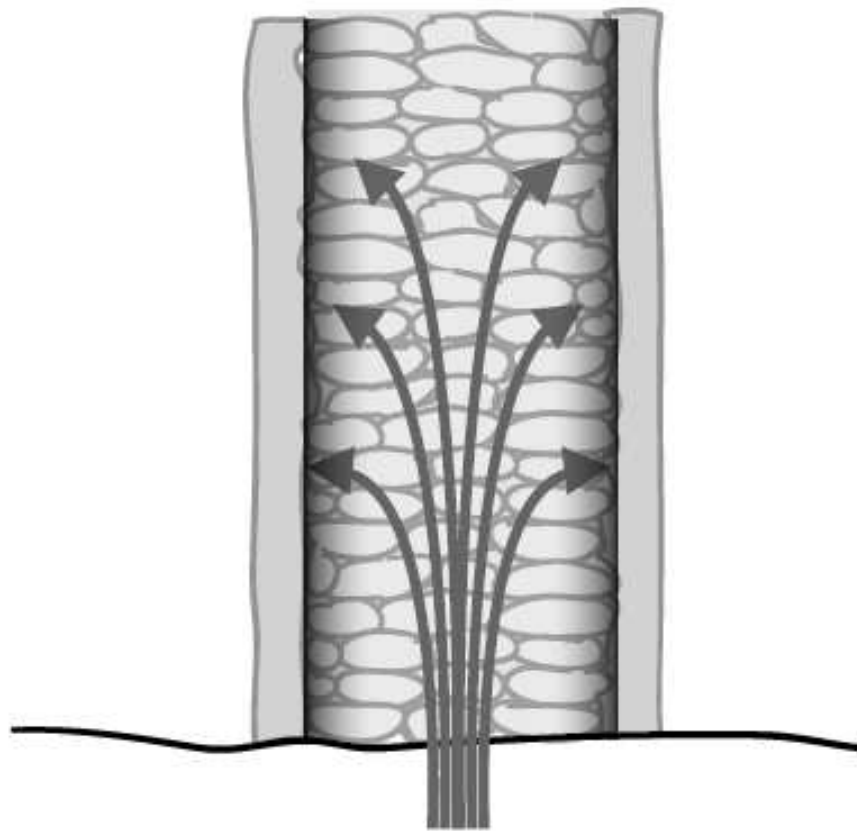
Les chaux aériennes trouvent leurs applications les plus anciennes dans le bâtiment dans la préparation de mortiers et de badigeons.

Enduits :

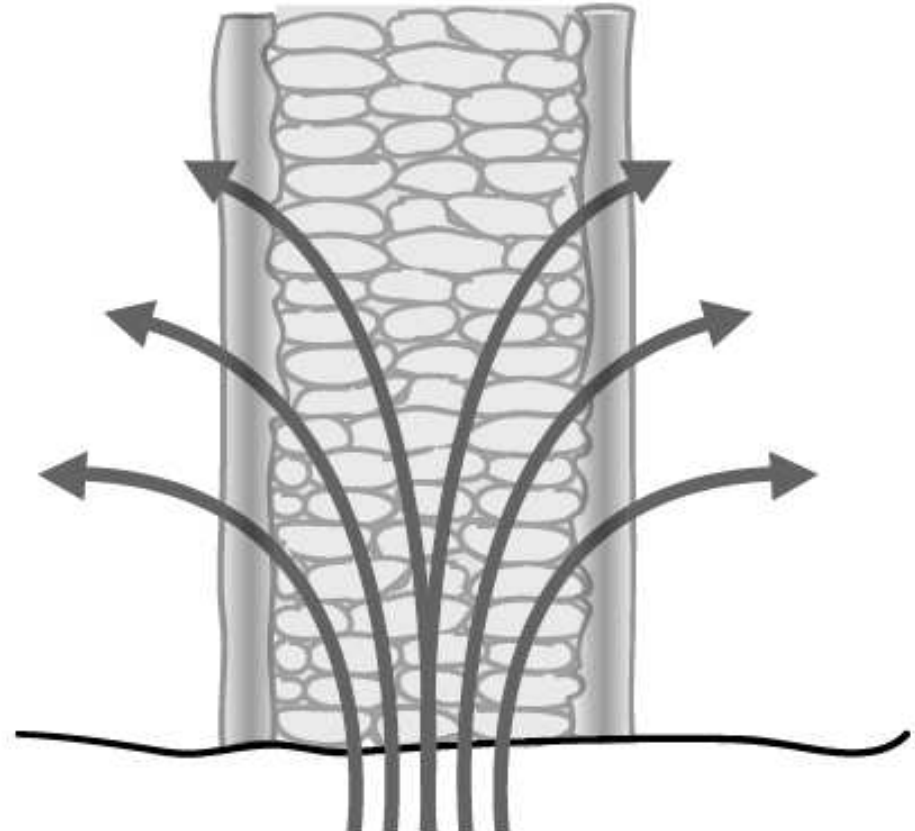
Ont principalement deux fonctions: protection et esthétique.

Les mortiers de chaux présentent une grande élasticité, ce qui permet d'éviter les fissures de retrait et faïençage.

Les mortiers de chaux, une fois durcis, ont la propriété d'être imperméable à l'eau tout en étant perméable à l'air. On dit que le mur respire.



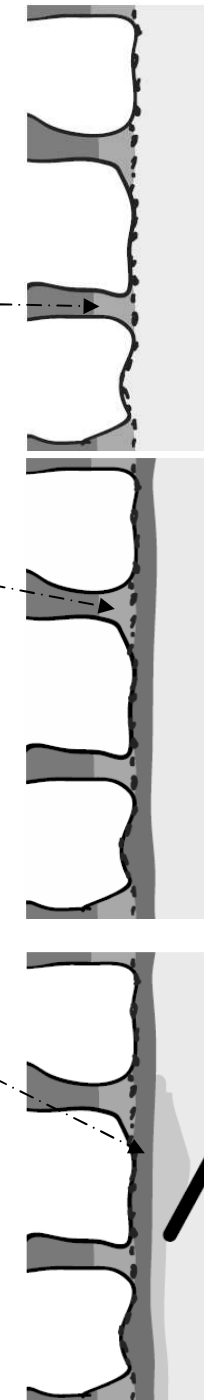
Enduit au ciment



Enduit à la chaux

Le durcissement des enduits à base de chaux est lent; par conséquent, il est déconseillé de les utiliser à l'extérieur par période hivernale. Aussi, il faut protéger l'enduits frais contre le soleil et les vents violents.

OUVRAGES	DOSAGE EN LIANT/M ³ DE SABLE SEC (EN KG)				ÉPAISSEUR en mm
	CAEB	Ciment	XHA/XHN	Autres	
1. MORTIERS POUR ENDUITS TROIS COUCHES sur maçonneries blocs béton, briques					
- gobetis	-	500	-	-	5 à 7
- corps d'enduit	150	250	-	-	15
- finition	150 ou 300	150 ou	150 ou	150 ciment prompt	7 à 10
sur maçonneries anciennes					
- gobetis	-	400 ou	400	-	5 à 7
- corps d'enduit	150 ou 200	150 ou -	150 -	-	15/20
- finition	150 ou 250	et 100 ou -	100 -	Ciment prompt 100 ou prompt -	7 à 10 -
pour béton cellulaire autoclavé					
- gobetis	-	400	-	-	3
- corps d'enduit	250 ou 100	100 -	- 250	- -	15/20
- finition	250 ou 150	50 -	- 200	- -	7 à 10
sur pisé humecter le support avec un lait de chaux (1 sac de 25 kg de CAEB pour 100 l d'eau) :					
- corps d'enduit	100	-	200	-	15/20
- finition	125	-	125	-	7 à 10
2. MORTIERS POUR ENDUITS, PLÂTRE ET CHAUX					
	200	-	-	Plâtre gros PGCI 1 300	20/30 en 2 passes
3. MORTIERS POUR JOINTOIEMENT	150	-	150	-	10/15
4. MORTIERS DE MOULAGE	100	-	-	-	-



L'association de la chaux aérienne et du ciment constitue un liant privilégié pour les enduits (mortier bâtard).

Le mortier à la chaux respecte la couleur du sable. Il permet de retrouver l'aspect d'origine des constructions anciennes et des monuments historiques.

La couleur finale de l'enduit réalisé avec de la chaux dépend essentiellement du sable utilisé. On peut, quand de besoin y ajouter des oxydes métalliques en poudre pour accentuer la coloration en s'assurant de le doser parfaitement et de bien le mélanger.

Le temps de séchage à observer entre chaque couche peut varier entre un à plusieurs jours selon les conditions climatiques et de mise en œuvre.

La couche de finition peut être talochée, jetée à la truelle, projetée à la machine... Mais en général, il est recommandé de la gratter ou de la brosser, quelques heures à quelques jours après application.



Mortiers de pose et de jointement :

La force de liaison d'un mortier de pose est plus importante que sa résistance à la compression.

Les mortiers de chaux qui développent cette adhérence grâce à leur plasticité, sont ainsi bien adaptées à cet emploi. Ils sont de surcroît peu perméables à l'eau et peu fissurables. Ils ne provoquent pas d'efflorescences.

Les mortiers de chaux constituent de très bons mortiers de jointement de maçonneries en pierres tendres, en béton cellulaire ou en briques. Ils sont également très utilisés dans les travaux de bâtiments anciens.

Badigeons :

Sont obtenus en mettant la chaux éteinte en suspension dans l'eau à raison de 40 litres d'eau par sac de 25 kg.

Ils sont réalisés à deux ou trois couches.

Les badigeons sont réalisés sur des supports enduits, lissés, frottés ou décoratifs, pour donner un aspect uniforme aux couleurs et aux matériaux.

Il peuvent avoir un effet curatif de bouchage sur des enduits microfissurés ou faïencés, et rattraper des défauts d'aspect.

Matériaux de construction :

La chaux intervient aussi dans la fabrication de matériaux de construction :

Les briques silico calcaires, sont fabriquées avec un mélange intime de chaux et de sable siliceux, compacté et étuvé. Ce matériau est très utilisé en Allemagne et en Russie. Deux grande usines sont installées en Algérie.

Les Bétons cellulaires, matériaux légers et isolants. Sont fabriqués à base de sable siliceux et de chaux dans lequel on provoque la formation de bulles de gaz, souvent par action de la chaux sur l'aluminium en poudre.