

La chaux, (Lime), الجير

III.1 Introduction

Matériau connu et utilisé depuis plus de 6000 ans, la chaux est aujourd'hui un produit de base essentiel dans un champ de domaines industriels extrêmement vaste. Ses qualités physico-chimiques lui confèrent des propriétés de choix dans différents domaines, et l'asse, dans le domaine du bâtiment, la chaux enregistre un faible taux d'utilisation. Néanmoins, avec le développement des restaurations et des réhabilitations de bâtiments anciens et avec le nombre croissant des travaux dans le domaine, l'emploi de la chaux depuis ces dernières années commence à se revigorer.

III.2 Rapide historique de la chaux

- 500 ans avant J.-C. environ : Les Chinois ont construit les 2 500 km de la Grande muraille de Chine en stabilisant le sol avec de la chaux et en utilisant des mortiers à base de chaux pour assembler les pierres.

Des Antiquités romaines au XVIIIe siècle : La chaux était largement utilisée dans toute l'Europe en tant qu'enduit et peinture décorative et servait comme matériau principal des maisons.

XVIIIe et XIXe siècle : Black et Lavoisier décrivent la réaction chimique de la chaux. Debray et Le Chatelier découvrent d'autres qualités et applications.

XXe et XXIe Siècles : La prolifération de nouvelles innovations, notamment la naissance et le développement rapide des technologies, ont élargi l'usage de la chaux.

III.3 Définition :

La chaux (CaO), est un liant obtenu par calcination du calcaire naturel plus ou moins argileux.

Le calcaire : $CaCO_3$ (minéral ou roche) $\xrightarrow{1000^{\circ}C}$ CaO (solide) + CO_2 (gaz).

Le calcaire contient plus ou moins des "impuretés" :

- ☛ La dolomie : double carbonate de calcium et de magnésium - $CaCO_3.MgCO_3$;
- ☛ Des composés argileux: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ...

D'où les proportions de ces différentes "impuretés" peuvent modifier le comportement de la chaux.



Une roche calcaire

III.1 Fabrication de la chaux aérienne

Les principales étapes de fabrication sont résumées dans le schéma de la figure.

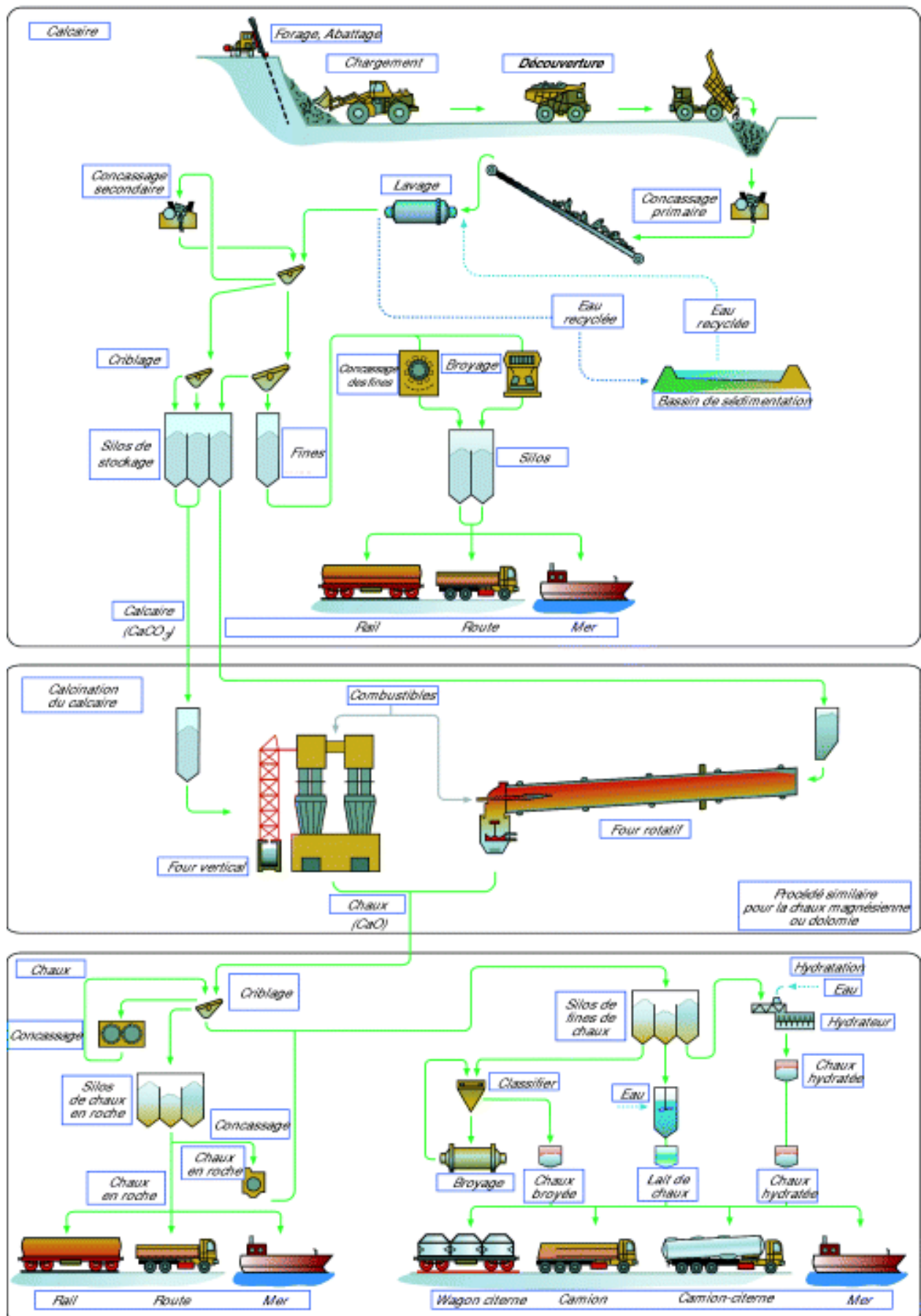


Schéma de production de la chaux (Crédit Lhoist)

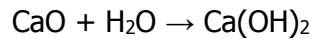
On distingue successivement la phase amont, qui va de l'extraction, à la préparation du calcaire avant enfournement, la calcination de la pierre dans les fours, et la phase aval qui concerne l'élaboration et le conditionnement du produit final avant chargement pour expédition.

III.1 Le cycle de la chaux aérienne

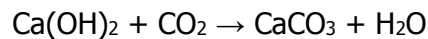
Les différentes réactions chimiques liées à la chaux

1- Par chauffage : Le Calcaire (CaCO_3) $1000\text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

2- Par Hydratation :



3- Par Carbonatation :



Cycle de la chaux

De ces réactions chimiques on en déduit le cycle de la chaux :



Cycle de la chaux aérienne

Trois étapes essentielles peuvent être tirées de la figure :

- La calcination de la roche calcaire produit de la chaux vive avec une perte de gaz carbonique,
- L'extinction à l'eau de la chaux vive produit de la chaux éteinte,
- la carbonatation, au contact de l'air, de la chaux éteinte produit le durcissement de la matière par reformation de calcite.

III.2 Typologie des chaux

La chaux vive

Le feu transforme le calcaire pur en "chaux vive". C'est un matériau instable, une base forte avide d'eau, agressive pour la peau et les matières organiques qu'elle brûle.

La chaux se présente sous trois formes commerciales:

- 1- La chaux vive : $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{Chaleur (15,5 kcal)}$
- 2- La chaux hydraulique (éteinte) : Ca(OH)_2
- 3- Les pâtes et le lait de chaux : $\text{Ca(OH)}_2 + n(\text{H}_2\text{O})$.

III.2.1 Chaux calciques et chaux dolomitiques

- ☛ **Les chaux calciques** (grasses): contiennent plus de 95% d'oxydes de calcium CaCO_3 et moins de 5% d'oxyde de magnésium (MgCO_3).
- ☛ **Les chaux dolomitiques** (maigres): contiennent au moins 5% d'oxyde de magnésium (MgCO_3).

- $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$

III.2.2 Chaux aériennes et chaux hydrauliques

La caractérisation de l'hydraulicité des chaux (son aptitude à durcir au contact de l'eau) est liée à leur teneur en matière argileuse. On peut donc calculer l'indice d'hydraulicité qui traduit cette propension.

L'indice d'hydraulicité est calculé en fonction des rapports de poids entre les trois substances contenues dans le calcaire : la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3) et l'oxyde de fer (Fe_2O_3).

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

☛ Chaux aériens

- Si cet indice est inférieur à 0,1 ($i \leq 0,1$): la chaux n'aura peu voire aucun caractère hydraulique. Elle ne durcit qu'au contact avec l'oxyde carbonique (CO_2), contenu dans l'air.

☛ Chaux hydraulique

- Au-delà de 0,1 ($i > 0,1$) la chaux devra être considérée comme ayant des caractéristiques hydrauliques.

Suivant les valeurs de i , les chaux sont plus ou moins hydrauliques, le tableau 4.1 donne les différents types de chaux en fonction de l'indice i .

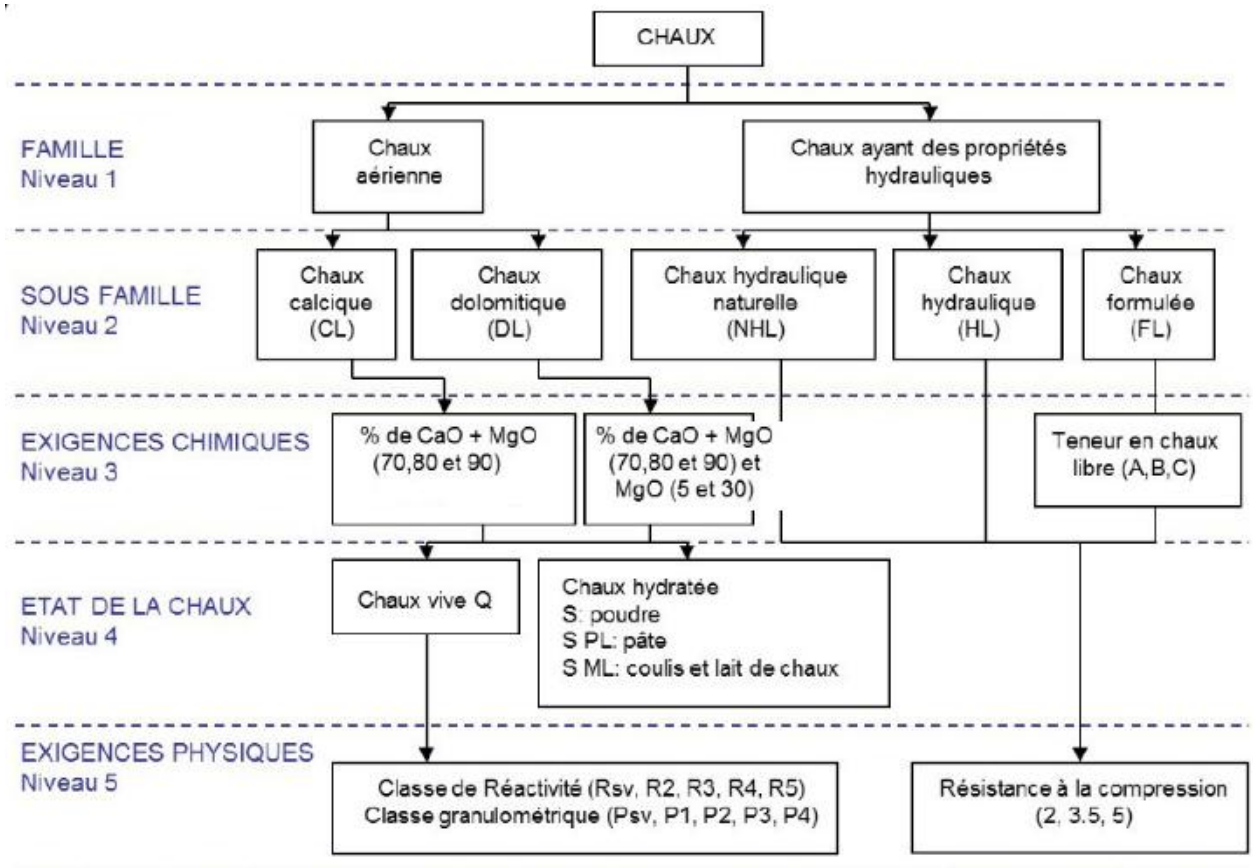
Tableau 4.1. Classification de la chaux en fonction de l'indice d'hydraulicité i

| Type de chaux | % d'argile | Valeur de i | Durée de prise sous l'eau |
|--|------------|-------------|---------------------------|
| Chaux grasse « chaux purement aérienne » | 0 | 0 – 0,1 | 6 moins |
| Chaux faiblement hydraulique | 5 - 8 | 0,10 – 1,16 | 15 à 30 jours |
| Chaux moyennement hydraulique | 8 - 15 | 0,16 – 0,30 | 10 à 15 jours |
| Chaux fortement hydraulique | 15 - 20 | 0,30 – 0,40 | 2 à 4 jours |
| Chaux éminemment hydraulique « chaux maigre ». | 20 - 30 | 0,40 – 0,50 | Inférieure à 2 jours |

On observe que :

- Si le mélange ne contient ni silicate, ni aluminat, ni ferrite, l'indice d'hydraulicité vaut $i = 0$ et correspond à une chaux purement aérienne et n'ayant aucune propriété hydraulique ; elle est désignée sous le nom de « chaux grasse ».
- Si le mélange contient un tiers de silicate, d'aluminat et/ou de ferrite, l'indice d'hydraulicité vaut $i = 0,5$ et correspond à un mélange sans chaux résiduelle : la proportion est, en effet, celle d'un mélange de bélite $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ et de gehlénite $2\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{SiO}_2$. La chaux « éminemment hydraulique » est encore désignée sous le nom de « chaux maigre ».

III.3 Normalisation des chaux



Tableaux de la norme NF EN 459 “Chaux de construction”

Les chaux aériennes

Tableau des chaux calciques

| | Type de chaux | | Valeurs données en pourcentage en masse | | | | |
|----------------------------|--|----------|---|-----|-----------------|-----------------|-------------|
| | Désignation | Notation | CaO + MgO | MgO | CO ₂ | SO ₃ | Chaux libre |
| Chaux calcique (CL) | Chaux calcique 90 | CL 90 | ≥ 90 | ≤ 5 | ≤ 4 | ≤ 2 | ≥ 80 |
| | Chaux calcique 80 | CL 80 | ≥ 80 | ≤ 5 | ≤ 7 | ≤ 2 | ≥ 65 |
| | Chaux calcique 70 | CL 70 | ≥ 70 | ≤ 5 | ≤ 12 | ≤ 2 | ≥ 55 |
| Remarque : | Additifs possibles en faible quantité pour améliorer la fabrication ou les propriétés de la chaux. Si la teneur > 0,1%, la teneur réelle et le type doivent être déclarés. | | | | | | |

Tableau des chaux dolomitiques

| | Type de chaux | | Valeurs données en pourcentage en masse | | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------|---|------|-----------------|-----------------|
| | Désignation | Notation | CaO + MgO | MgO | CO ₂ | SO ₃ |
| Chaux dolomitique (DL) | Chaux dolomitique 90-30 | DL 90-30 | ≥ 90 | ≥ 30 | ≤ 6 | ≤ 2 |
| | Chaux dolomitique 90-5 | DL 90-5 | ≥ 90 | > 5 | ≤ 6 | ≤ 2 |
| | Chaux dolomitique 85-30 | DL 85-30 | ≥ 85 | ≥ 30 | ≤ 9 | ≤ 2 |
| | Chaux dolomitique 80-5 | DL 80-5 | ≥ 80 | > 5 | ≤ 9 | ≤ 2 |

Les chaux à caractéristiques hydrauliques

Tableau des chaux hydrauliques naturelles

| | Type de chaux | | Valeurs données en pourcentage en masse | | Résistance à la compression (MPa) | |
|--|--|----------|---|---|-----------------------------------|--------------|
| | Désignation | Notation | SO ₃ | Chaux libre sous forme Ca (OH) ₂ | 7 jours | 28 jours |
| Chaux hydraulique naturelle (NHL) | Chaux hydraulique naturelle 2 | NHL 2 | ≤ 2 | ≥ 35 | / | ≥ 2 à ≤ 7 |
| | Chaux hydraulique naturelle 3,5 | NHL 3,5 | ≤ 2 | ≥ 25 | / | ≥ 3,5 à ≤ 10 |
| | Chaux hydraulique naturelle 5 | NHL 5 | ≤ 2 | ≥ 15 | ≥ 2 | ≥ 5 à ≤ 15 |
| Remarque : | Les valeurs de SO ₃ sont fondées sur un produit exempt d'eau libre et d'eau liée. | | | | | |

Tableau des chaux hydrauliques

| | Type de chaux | Valeurs données en pourcentage en masse | Résistance à la compression (MPa) |
|--|---------------|---|-----------------------------------|
|--|---------------|---|-----------------------------------|

| | Désignation | Notation | SO ₃ | Chaux libre sous forme Ca (OH) ₂ | 7 jours | 28 jours |
|-------------------------------|---|----------|-----------------|---|---------|--------------|
| Chaux hydraulique (HL) | Chaux hydraulique 2 | HL 2 | ≤ 3 | ≥ 10 | / | ≥ 2 à ≤ 7 |
| | Chaux hydraulique 3,5 | HL 3,5 | ≤ 3 | ≥ 4 | / | ≥ 3,5 à ≤ 10 |
| | Chaux hydraulique 5 | HL 5 | ≤ 3 | ≥ 4 | ≥ 2 | ≥ 5 à ≤ 15 |
| Remarques : | Les valeurs de SO ₃ sont fondées sur un produit exempt d'eau libre et d'eau liée. Additifs possibles en faible quantité pour améliorer la fabrication ou les propriétés de la chaux. Si teneur > 0,1 %, la teneur réelle et le type doivent être déclarés. | | | | | |

Tableau des chaux hydrauliques formulées

| | Type de chaux | | Valeurs données en pourcentage en masse | | Résistance à la compression (MPa) | |
|---------------------|--|----------|---|---|-----------------------------------|--------------|
| | Désignation | Notation | SO ₃ | Chaux libre sous forme Ca (OH) ₂ | 7 jours | 28 jours |
| Chaux formulée (FL) | Chaux formulée A 2 | FL A 2 | ≤ 2 | ≥ 40 à < 80 | / | ≥ 2 à ≤ 7 |
| | Chaux formulée A 3,5 | FL A 3,5 | | | / | ≥ 3,5 à ≤ 10 |
| | Chaux formulée A 5 | FL A 5 | | | ≥ 2 | ≥ 5 à ≤ 15 |
| | Chaux formulée B 2 | FL B 2 | ≤ 2 | ≥ 25 à < 50 | / | ≥ 2 à ≤ 7 |
| | Chaux formulée B 3,5 | FL B 3,5 | | | / | ≥ 3,5 à ≤ 10 |
| | Chaux formulée B 5 | FL B 5 | | | ≥ 2 | ≥ 5 à ≤ 15 |
| | Chaux formulée C 2 | FL C 2 | ≤ 2 | ≥ 15 à < 40 | / | ≥ 2 à ≤ 7 |
| | Chaux formulée C 3,5 | FL C 3,5 | | | / | ≥ 3,5 à ≤ 10 |
| | Chaux formulée C 5 | FL C 5 | | | ≥ 2 | ≥ 5 à ≤ 15 |
| Remarque : | Les valeurs de SO ₃ sont fondées sur un produit exempt d'eau libre et d'eau liée. | | | | | |

III.4 Classification de la chaux

Le principe général de classification selon la norme NF EN 459 "Chaux de construction" est donné par l'organigramme suivant :

III.4.1 Exemples de spécification des chaux

NF EN 459 CL 80-Q (R3, P2)

- NF EN 459 : référence normative ; chaux
- CL : chaux calcique ; niveau 1 et 2 chaux aérienne calcique

- 80 : teneur en % garantie en CaO + MgO ; niveau 3 : exigences chimiques
- Q : chaux vive ; niveau 4 : état de la chaux
- R3 : Classe de réactivité en temps ; P2 : Classe de répartition granulométrique ; niveau 5 : exigences physiques

NF EN 459 FL B 3,5 na 455

- NF EN 459 : référence normative ; chaux
- FL : chaux hydraulique formulée ; niveau 1 et 2
- B : teneur en chaux libre de classe B (de 25 à 50 %) ; niveau 3 : exigences chimiques
- 3,5 : Classe de résistance à la compression (de 3,5 à 10 MPa à 28 jours) ; niveau 5 : exigences physiques.

III.5 Diversité des applications de la chaux aérienne

III.5.1 Différentes formes de chaux

Les chaux aériennes sont sans addition de composants dotés de propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques et elles peuvent se présenter sous deux formes :

- ✓ **Chaux vive** (notation Q) qui existe sous forme d'oxyde et réagit de façon exothermique avec l'eau ;
- ✓ **Chaux Hydratée** – également qualifiée d'étéinte – (notation S) essentiellement sous forme d'hydroxyde obtenu par hydratation – ou extinction – contrôlée de l'oxyde.

La chaux hydratée est disponible à l'état de **poudre** d'une part, et en suspension dans l'eau, d'autre part. Dans ce dernier cas, on obtient, du plus **concentré au plus dilué**, une **pâte**, un **coulis** ou un **lait de chaux**.

III.5.2 Fonctionnalités de la chaux:

- ✓ Source de calcium et de magnésium ;
- ✓ Pouvoir neutralisant ;
- ✓ Déshydratant ;
- ✓ Agent purifiant ;
- ✓ Agent floculant et précipitant ;
- ✓ Fondant ;
- ✓ Caustifiant ;
- ✓ Filler ;
- ✓ Pouvoir réfractaire ;
- ✓ Agent de blanchiment.

III.5.3 Diverses applications

La chaux est, à la fois, le liant minéral majeur de l'histoire de la construction et un des produits minéraux les plus utilisés depuis le début de l'ère industrielle.

L'ensemble des utilisations actuelles dans un contexte industriel, économique et réglementaire en constante évolution, auquel la chaux s'adapte en permanence pour apporter ses

solutions. Ces propriétés fonctionnelles sont mises à profit dans de nombreuses applications : industrielles, agricoles, environnementales et autres.

- ☛ Environnement: Traitement des eaux
- ☛ Agriculture : Amélioration de la qualité des sols.
- ☛ Sidérurgie et industrie des métaux non-ferreux: (pour l'extraction de certaines impuretés)
- ☛ Industrie chimique: Fabrication divers agents chimiques tels que la soude caustique.
- ☛ Industries alimentaire et sucrière
- ☛ Industrie verrière: Amélioration de la Résistance du verre aux agressions chimiques.
- ☛ Industrie papetière: Régénérer la soude caustique lors de la confection de la pâte à papier.
- ☛ Activités du génie civil: Traitement des sols humides pour la construction de routes.

Application dans le bâtiment

Avec la maîtrise de la technique et l'amélioration des connaissances relatives à la chaux et à ses propriétés, les applications se sont largement diversifiées, tant et si bien que le caractère multifonctionnel de la chaux, qui se décline par le biais de ses nombreuses applications, s'affirme également dans les applications en bâtiments.

La chaux 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.

La Chaux aérienne est ainsi largement utilisée pour l'amélioration des qualités d'isolation, de captation du CO₂ et pour son aspect toujours d'actualité.

Mortiers de pose et de jointement :

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. Ils sont peu perméables à l'eau et peu fissurables. Ils ne provoquent pas d'efflorescences.

Enduits intérieurs et extérieurs :

Les nombreuses qualités de la chaux, notamment plasticité et adhérence, rendent son emploi très intéressant et très efficace dans la réalisation des enduits extérieurs et intérieurs. La chaux a deux fonctions principales : Protection et Esthétique.

Les enduits bâtards (chaux +ciment), tout en étant imperméables à l'eau sont perméables à l'air afin d'assurer la respiration du mur, ce qui évite les murs humides.

peintures et badigeons:

Les chaux aérienne conviennent bien pour la confection de badigeons qui peuvent être colorés dans la masse. Les badigeons traditionnels sont réalisés à partir d'un lait de chaux produit avec de la chaux vive, de la chaux éteinte ou de la chaux en pâte.

Bétons isolants :

Béton cellulaire, silico calcaire et le béton de chanvre.

III.6 Normes et réglementation

En tant que produit multifonctionnel à usages multiples, il va de soi que la chaux doit satisfaire un grand nombre d'exigences exprimées dans de nombreuses normes, normes de produits comme normes d'application :

- **EN 12878 : 2014** , Pigments de coloration des matériaux de construction à base de ciment et/ou de chaux - Spécifications et méthodes d'essai
- **NF EN 459 : 2015**, Chaux de construction - Partie 1: Définitions, spécifications et critères de conformité.

Ces normes contiennent toutes les spécifications relatives aux produits pour l'usage considéré.

III.7 Référence Bibliographiques