

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider Biskra



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد خيضر بسكرة

الشعبة: هندسة معمارية

الميدان: هندسة معمارية، عمران ومهن المدينة

التخصص: هندسة معمارية

المستوى: السنة الأولى هندسة معمارية

cours
MATIÈRE : TMC 1

Préparé par
Dr . Youcef Kamal

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Divers tests sur ciment :**
- Fondamentalement, deux types de tests sont effectués pour évaluer la qualité du ciment. Il s'agit soit de tests sur le terrain, soit de tests en laboratoire.
- **Essai sur le terrain:**
- Quatre tests sur le terrain peuvent être effectués pour vérifier approximativement la qualité du ciment. Il existe quatre types de tests sur le terrain pour accéder à la couleur, aux propriétés physiques et à la résistance du ciment, comme décrit ci-dessous.

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Essai sur le terrain:**
 - **Couleur**
 - La couleur du ciment doit être uniforme.
 - Il doit être de couleur typique du ciment, c'est-à-dire gris avec une légère nuance verdâtre.
 - **Propriétés physiques**
 - Le ciment doit être lisse au toucher entre les doigts.
 - Si la main est insérée dans un sac ou un tas de ciment, elle devrait être fraîche.
 - **Présence de**
 - Le ciment doit être exempt de grumeaux.
 - Pour une teneur en humidité de l'ordre de 5 à 8 %, cette augmentation de volume peut aller jusqu'à 20 à 40 %, selon la granulométrie du sable.
 - **Force**
 - Une pâte épaisse de ciment avec de l'eau est réalisée sur un morceau de verre épais et maintenue sous l'eau pendant 24 heures. Elle doit prendre et ne pas se fissurer.

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Tests de laboratoire :**

- Six tests en laboratoire sont réalisés principalement pour évaluer la qualité du ciment. Ce sont : la finesse, la résistance à la compression, la consistance, le temps de prise, la solidité et la résistance à la traction.
- **Finesse**
 - Ce test est réalisé pour vérifier le bon broyage du ciment.
 - La finesse des particules de ciment peut être déterminée soit par un test au tamis, soit par un test sur appareil de perméabilité.
 - Lors du test de tamisage, le ciment pesant 100 g est prélevé et passé en continu pendant 15 minutes à travers le tamis standard BIS no. 9. Le résidu est ensuite pesé et ce poids ne doit pas dépasser 10 % du poids original.
 - Dans le test d'appareil de perméabilité, la surface spécifique des particules de ciment est calculée. Ce test est meilleur que le test au tamis. La surface spécifique agit comme une mesure de la fréquence des particules de taille moyenne.

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Tests de laboratoire :**
- **Résistance à la compression**
- Ce test est réalisé pour déterminer la résistance à la compression du ciment.
- Le mortier de ciment et de sable est préparé dans un rapport 1:3.
- L'eau est ajoutée au mortier dans un rapport eau-ciment de 0,4.
- Le mortier est placé dans des moules. Les éprouvettes sont sous forme de cubes et les moules sont en métaux. Pour les cubes de 70,6 mm et 76 mm, le ciment nécessaire est respectivement de 185 g et 235 g.
- Ensuite le mortier est compacté en machine vibrante pendant 2 minutes et les moules sont placés en cabine humide pendant 24 heures.

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Tests de laboratoire :**
- **Résistance à la compression**
- **Les échantillons sont retirés des moules et immergés dans de l'eau propre pour le durcissement.**
- **Les cubes sont ensuite testés en machine d'essai de compression au bout de 3 jours et 7 jours. C'est ainsi que la résistance à la compression a été découverte.**

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Tests de laboratoire :**
- **Cohérence**
 - Cet essai a pour but de déterminer le pourcentage d'eau nécessaire à la préparation des pâtes de ciment pour d'autres essais.
 - Prenez 300 g de ciment et ajoutez-y 30 pour cent en poids ou 90 g d'eau.
 - Mélangez soigneusement l'eau et le ciment.
 - Remplissez le moule de l'appareil Vicat et le temps de dosage doit être de 3,75 à 4,25 minutes.
 - L'appareil Vicat est constitué d'une aiguille à laquelle est fixée une tige mobile à laquelle est fixé un indicateur.
 - Il existe trois attaches : aiguille carrée, piston et aiguille à collerette annulaire.
 - Le piston est fixé sur la tige mobile. Le piston est descendu doucement sur la pâte dans le moule.
 - Le tassement du piston est noté. Si la pénétration se situe entre 5 mm et 7 mm du fond du moule, l'eau ajoutée est correcte. Dans le cas contraire, le processus est répété avec différents pourcentages d'eau jusqu'à obtenir la pénétration souhaitée.

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Tests de laboratoire :**

- **Temps de prise**

- Ce test permet de détecter la détérioration du ciment due au stockage. Le test est réalisé pour connaître le temps de prise initiale et le temps de prise finale.
- Le ciment mélangé à de l'eau et de la pâte de ciment est coulé dans le moule Vicat.
- L'aiguille carrée est fixée à la tige mobile de l'appareil Vicat.
- L'aiguille est rapidement relâchée et elle peut pénétrer dans la pâte de ciment. Au début, l'aiguille pénètre complètement. La procédure est répétée à intervalles réguliers jusqu'à ce que l'aiguille ne pénètre pas complètement. (jusqu'à 5 mm du bas).
- Temps de prise initial ≤ 30 min pour le ciment Portland ordinaire et 60 min pour le ciment à basse température.
- La pâte de ciment est préparée comme ci-dessus et elle est coulée dans le moule Vicat.
- L'aiguille à collerette annulaire est fixée sur la tige mobile de l'appareil Vicat.
- L'aiguille est relâchée doucement. Le moment auquel l'aiguille fait une impression sur le bloc de test et que le collier ne parvient pas à le faire est noté.
- Le temps de prise final est la différence entre le moment auquel l'eau a été ajoutée au ciment et le temps enregistré à l'étape précédente, et il est ≤ 10 heures.

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Tests de laboratoire :**

- **Solidité**

- Le but de ce test est de détecter la présence de chaux non combinée dans le ciment.
- La pâte de ciment est préparée.
- Le moule est posé et rempli de pâte de ciment.
- Il est recouvert en haut d'une autre plaque de verre. Un petit poids est placé en haut et l'ensemble est immergé dans l'eau pendant 24 heures.
- La distance entre les points indicateurs est notée. Le moule est à nouveau placé dans l'eau et la chaleur est appliquée de telle sorte que le point d'ébullition de l'eau soit atteint en 30 minutes environ. L'ébullition de l'eau est poursuivie pendant une heure.
- Le moule est retiré de l'eau et laissé refroidir.
- La distance entre les points indicateurs est à nouveau mesurée. La différence entre les deux lectures indique l'expansion du ciment et elle ne doit pas dépasser 10 mm.

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Tests de laboratoire :**
- **Résistance à la traction**
- Cet essai était autrefois utilisé pour avoir une indication indirecte de la résistance à la compression du ciment.
- Le mortier de sable et de ciment est préparé.
- L'eau est ajoutée au mortier.
- Le mortier est placé dans des moules à briquettes. Le moule est rempli de mortier puis un petit tas de mortier est formé à son sommet. Il est battu avec une spatule standard jusqu'à ce que de l'eau apparaisse à la surface. La même procédure est répétée pour l'autre face de briquette.
- Les briquettes sont conservées 24 heures dans un endroit humide et soigneusement démoulées.
- Les briquettes sont testées dans une machine d'essai au bout de 3 et 7 jours et une moyenne est établie.

les chaux

Ils découlent de la cuisson de roches calcaires à environ 1000°C. Les roches calcaires naturelles contiennent souvent des niveaux de pureté inférieurs à ceux des calcaires utilisés. Les produits calcaires, tels que la chaux vive et la chaux éteinte, sont appelés chaux. Le calcaire est une pierre naturelle riche en carbonates de calcium et/ou de magnésium. Le calcaire est extrait dans des carrières et des mines à travers le monde.

les chaux

CALCAIRE est utilisé pour produire de la chaux. Le carbonate de calcium, également connu sous le nom de calcaire pur, est constitué de CaCO_3 . Cependant, des impuretés telles que MgCO_3 , Al_2O_3 et SiO_2 peuvent être présentes.

Les chaux sont généralement ou non hydrauliques ou hydrauliques. Les chaux non hydrauliques ne peuvent pas durcir sans l'apport d'air, comme sous la mer.

▪ **Liants aériens (Chaux grasse) :**

La chaux grasse a été l'un des premiers liants utilisés (avec le plâtre et le bitume) depuis des millénaires. Les anciennes civilisations ont construit des édifices durables avec des mortiers à base de chaux. La 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.

▪ **Liants aériens (Chaux grasse) :**



Chaux aérienne

■ Fabrication de la chaux aérienne

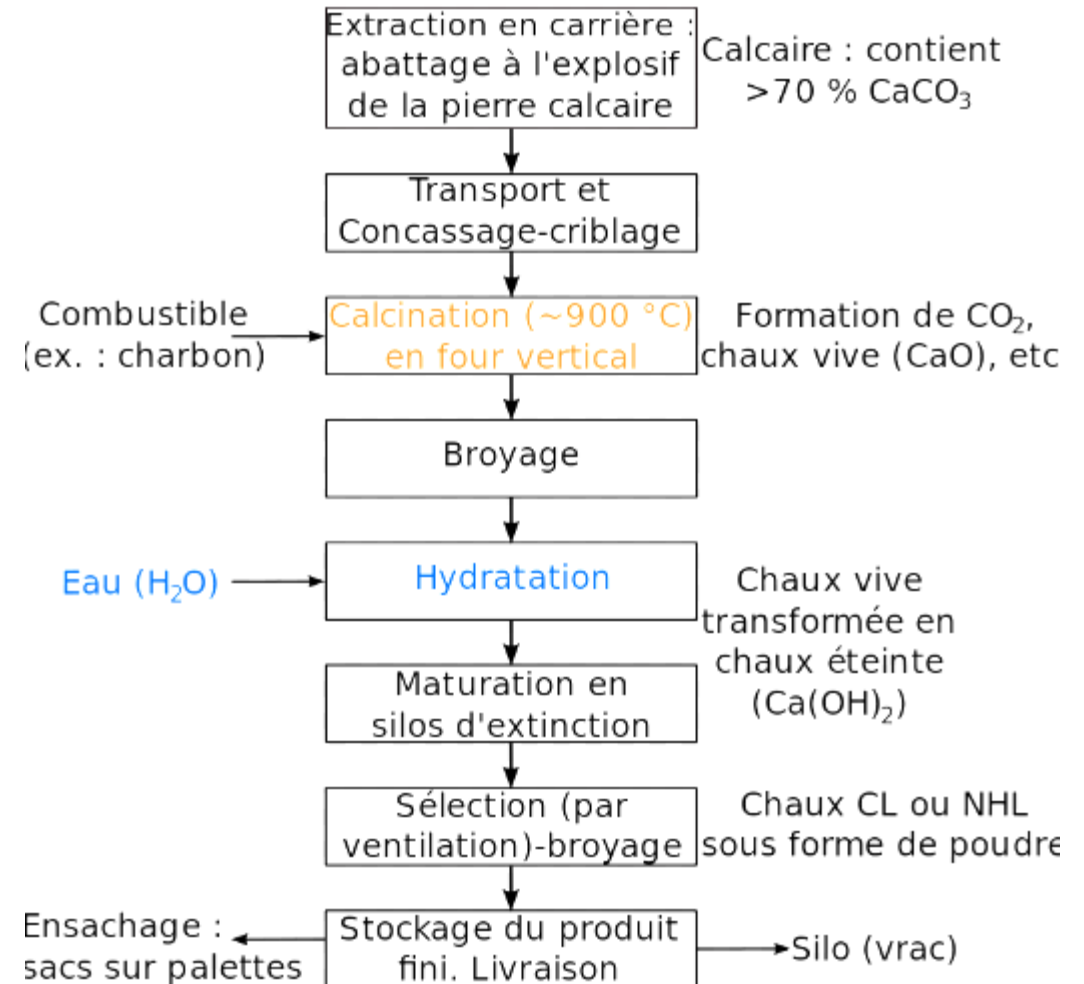
Elle se fait selon les étapes suivantes

1-Extraction

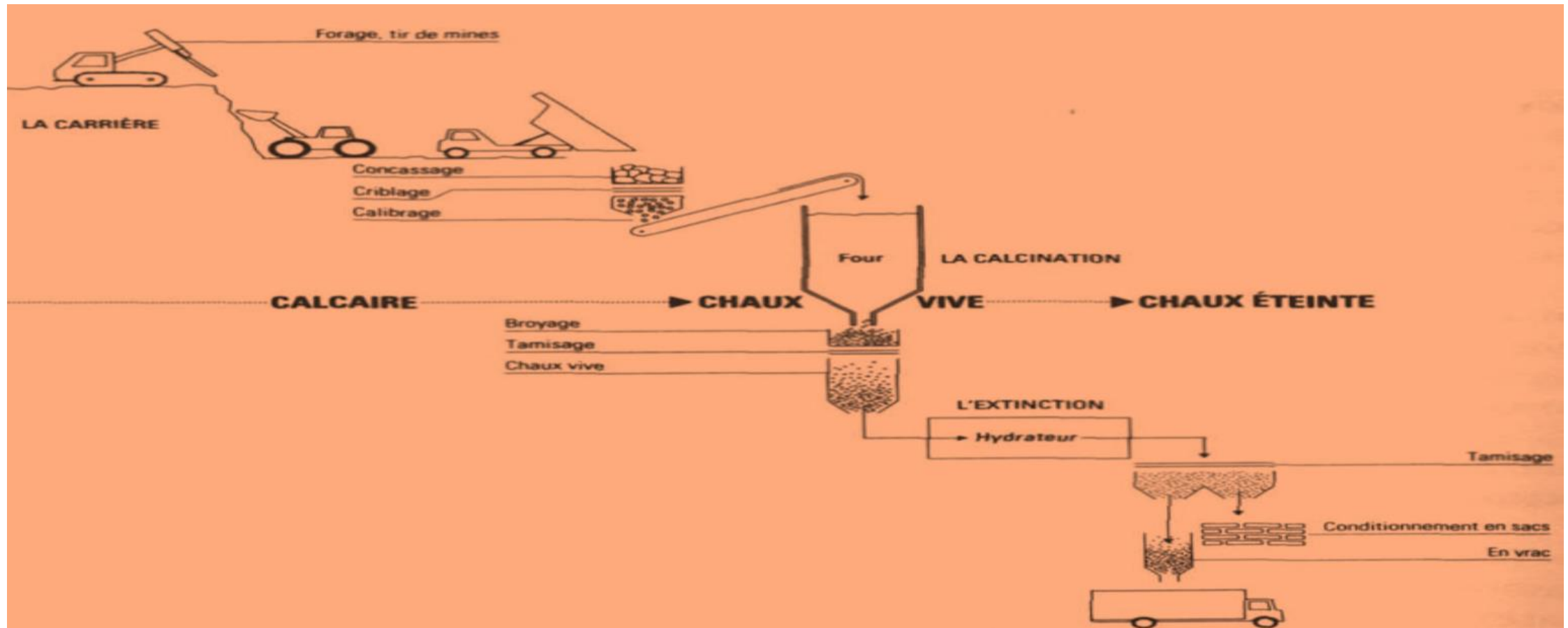
2-Concassage, criblage et calibrage

3-Cuisson ou calcination

4-Extinction



■ Fabrication de la chaux aérienne



■ Fabrication de la chaux aérienne

1-Extraction

Les carrières produisent du calcaire. Traditionnellement, l'extraction était effectuée à l'aide de moyens manuels tels que des pics, des pioches, etc. Actuellement, l'extraction de la roche est facilitée grâce à l'utilisation d'explosifs (tirs de mine). Les blocs produits sont constitués de roche et sont transportés à l'aide de pelles mécaniques, puis déposés dans des camions chargeurs. Ils sont transportés vers les ateliers de préparation où leur transformation (concassage, criblage et calibrage) commence.

▪ Fabrication de la chaux aérienne

2- Concassage, criblage et calibrage

La première étape consiste à concasser les blocs avant de les cribler pour obtenir un calibre de pierre approprié au type de four utilisé. Les fours verticaux ont besoin d'une fourchette de calibre de 20 à 140 mm, tandis que les fours rotatifs en ont besoin de 5 à 40 mm.

- **Fabrication de la chaux aérienne**
- **3- cuisson ou calcination**

Dans l'industrie, deux types de fours sont utilisés pour la cuisson du calcaire.

Le four vertical ou droit, sur le modèle des fours primitifs, se présente généralement sous la forme d'un cylindre en acier (diamètre moyen : 2m et hauteur : 8m), chemisé à l'intérieur avec un matériau réfractaire, résistant à l'abrasion et à la corrosion. Il dispose de ventilateurs pour le tirage. Une grille de défournement est présente dans la partie inférieure. Le four droit annulaire est devenu le four le plus économique d'un point de vue énergétique grâce aux progrès de ces dernières années.

▪ **Fabrication de la chaux aérienne**

▪ **3- cuisson ou calcination**

Il cuit le matériau entre 1000°C et 1300°C pour fabriquer de la chaux, selon le type de chaux produit. L'un des côtés introduit du calcaire. Avant de subir la calcination, il traverse une zone de préchauffage. Avant d'être extraite, la chaux est refroidie. La pierre descend lentement après avoir traversé une zone de préchauffage. Cette intervention cruciale empêche l'éclatement des blocs en évaporant l'eau libre contenue dans la pierre. La pierre subit ensuite la calcination dans une autre partie. C'est une décarbonatation qui provoque la perte de "CO₂" à 900°C.

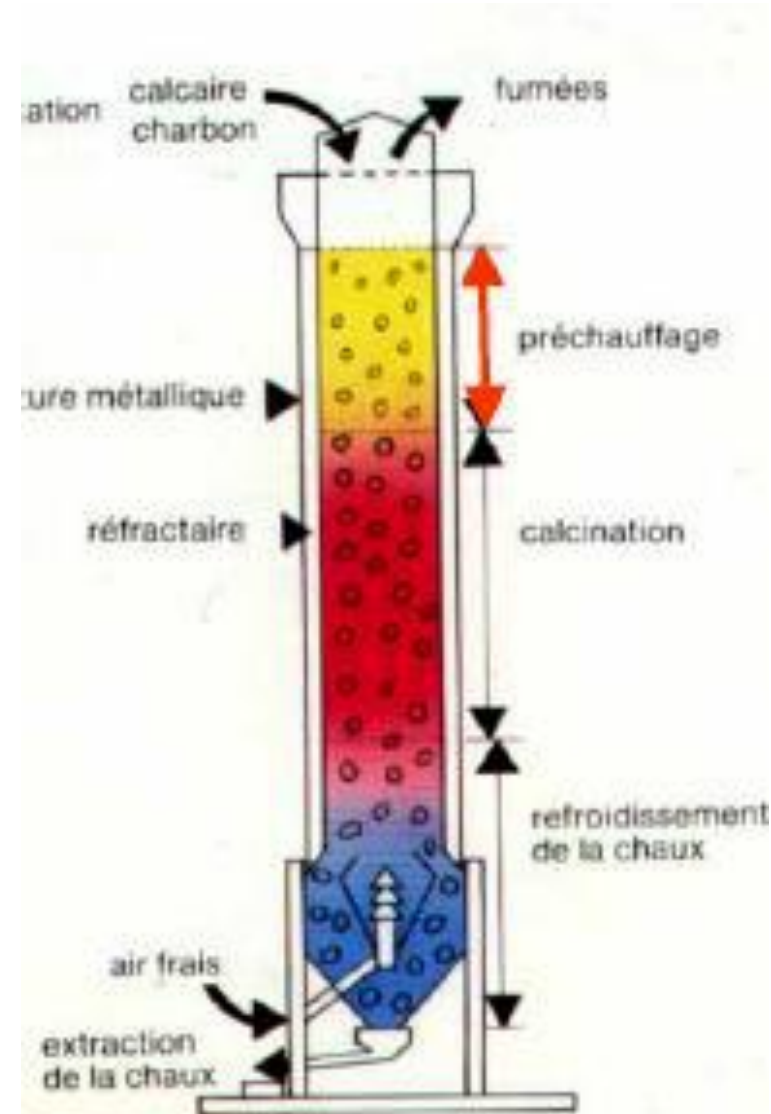
▪ **Fabrication de la chaux aérienne**

▪ **3- cuisson ou calcination**

La décarbonatation des dolomies se produit à une température inférieure ou égale à 400°C pour produire de la magnésie MgO . Les fumées évacuent les vapeurs d'eau produites et contribuent à la bonne décarbonatation du calcaire. La chaux vive générée descend ensuite vers une troisième zone de refroidissement avant d'être extraite. L'arrivée d'air frais en bas du four crée un courant d'air qui parcourt le four en sens inverse et participe aux différentes étapes de fabrication de la chaux, telles que le refroidissement, la combustion du combustible, etc.

■ Fabrication de la chaux aérienne

■ 3- cuisson ou calcination



▪ Fabrication de la chaux aérienne

▪ 3- Extinction

Le "foisonnement" est l'opération qui permet le passage de la chaux vive à la chaux éteinte et qui entraîne une augmentation du volume. Elle est le résultat de modifications de la 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 de structures se manifester dans les ouvrages.

- $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ réaction exothermique dégageant 155 Kcal/kg de CaO

▪ Fabrication de la chaux aérienne

▪ 3- Extinction

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

- **La méthode d'extinction spontanée** consiste à exposer la chaux vive à l'action lente et continue de l'air. L'eau d'extinction est assurée par l'humidité de l'atmosphère.
- **La méthode d'arrosage manuel** consiste à apporter la juste quantité d'eau nécessaire à l'extinction (10 à 15%). Dans le cas des blocs de chaux, la réaction est exothermique (dégagement de chaleur) et produit des projections.

▪ Fabrication de la chaux aérienne

▪ 3- Extinction

- **La méthode traditionnelle** par immersion consiste à tremper les blocs dans l'eau, à les égoutter et à les stocker pour permettre l'extinction. Le processus est exothermique (15 500 cal/mol.g; $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$). La chaux doit être ajoutée avec précaution car la réaction peut provoquer des projections et des bouillonnements.

▪ Fabrication de la chaux aérienne

▪ 3- Extinction

- Les trois premières méthodes produisent de la chaux en poudre. Les granulats de chaux vive sont broyés et passés par un hydrateur. L'eau introduite (7 à 10%) permet non seulement l'hydratation de la chaux vive, mais elle contribue également à l'évacuation de la chaleur dégagée lors de la réaction ($T = 150\text{ °C}$).
- Le tamisage est utilisé pour éliminer les particules qui ne réagissent pas, telles que les "grappiers" (impuretés, surcuits, incuits,...). La chaux pulvérulente éteinte est mélangée et emballée en sacs de 25 ou 50 kg ou en vrac.

- **Propriétés principales Physiques**

- Le refus au tamis de 800 mm est nul et le refus au tamis de 80 mm doit être inférieur à 10 %.

- La finesse globale doit être comprise entre 8.000 et 20.000 cm²/g.

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

— La chaux vive est très avide d'eau et s'éteint en s'hydratant avec un fort dégagement de chaleur. Les sols très imprégnés d'eau sont asséchés et traités avec cette propriété.

- **Propriétés principales**
Physiques

- La température de résistance réfractaire de la chaux aérienne est comprise entre 1800 et 2000 °C.
- La chaux aérienne commence à prendre lentement la prise dure 600 minutes (10 heures).
- Les chaux aériennes sont utilisées dans le bâtiment pour la fabrication de mortiers et de badigeons.

- **Propriétés principales**

- **Chimiques**

- **La teneur en chaux libre et en magnésie (CaO et MgO)**

devrait dépasser 80 %.

- **La teneur en oxyde de carbone (CO) ne doit pas dépasser 5 %**

-

- **Utilisation dans le bâtiment**
- **Enduits :**

Ils ont principalement deux rôles : protection et esthétique. La grande élasticité des mortiers de chaux permet d'éviter les fissures de retrait et de faïençage. Une fois durcis, les mortiers de chaux sont imperméables à l'eau et perméables à l'air pour assurer la respiration du mur.

- **Mortiers de pose et de jointement :**

La résistance à la compression d'un mortier de pose est plus importante que sa force de liaison. Les mortiers de chaux, qui sont capables de produire

- **Utilisation dans le bâtiment**

cette adhérence grâce à leur plasticité, sont idéaux pour cette tâche. Ils sont également peu perméables à l'eau et difficiles à fissurer. Ils ne causent pas d'efflorescence. Les mortiers en chaux sont excellents pour les joints de maçonneries en pierres tendres, en béton cellulaire ou en briques. Ils sont également fréquemment utilisés dans les travaux de construction.