

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

les liants

Définition

Les liants *sont des produits généralement utilisés sous forme de poudres fines, après avoir été transformées en pâte plus épaisse avec de l'eau, durcissent et forment une masse dure et compacte similaire à celle de la roche naturelle.*

Les liants sont utilisés pour fabriquer des mortiers de béton, des peintures, des colles, des mastics, etc.

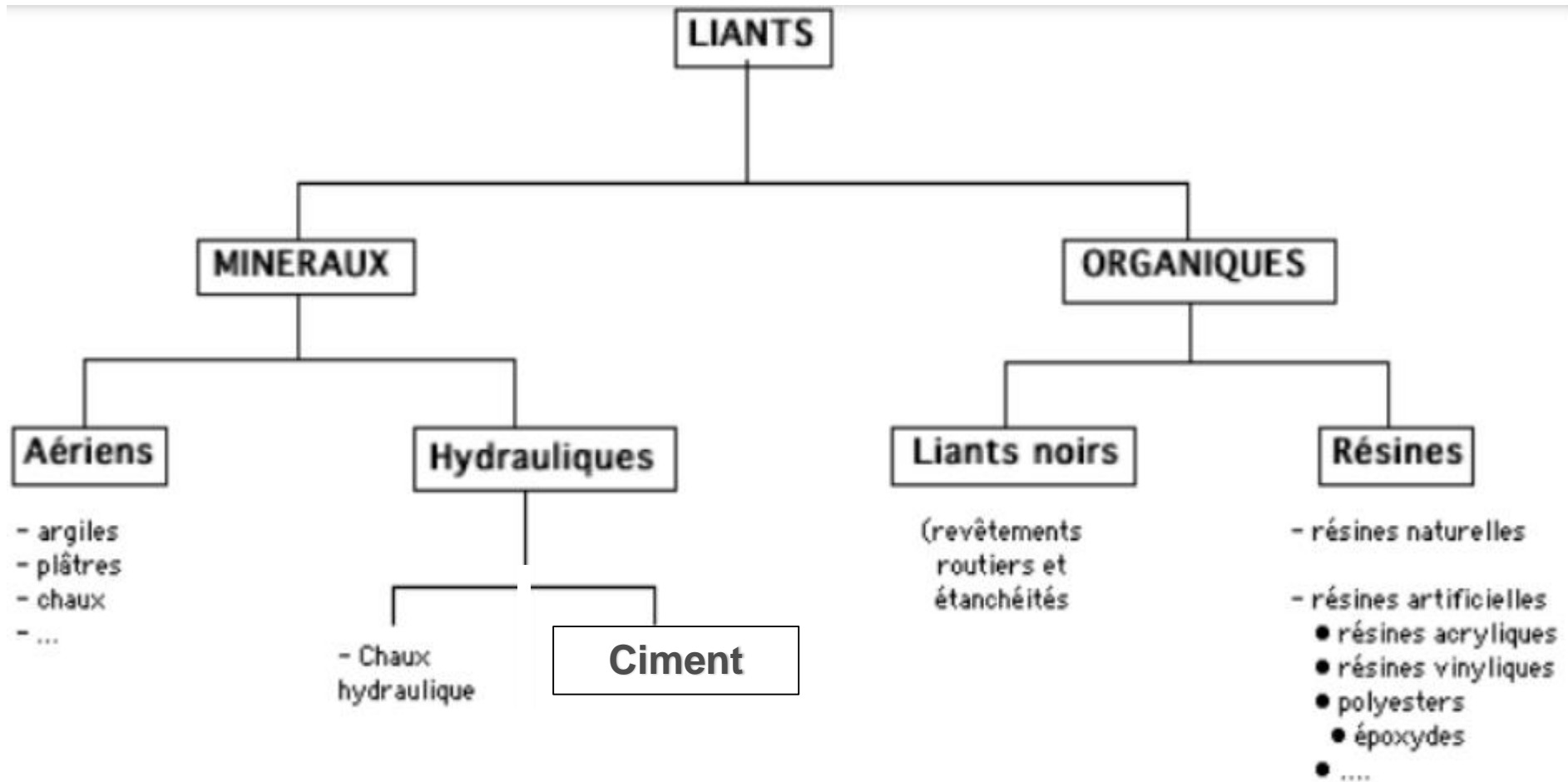
Classification des liants

Les liants peuvent être classés en deux grandes familles en fonction de leur composition :

Les liants minéraux : sont généralement obtenus par traitement à haute température de matériaux minéraux, et font prise en présence d'eau.

Les liants organiques: sont synthétisés par des organismes vivants, ou par la science de l'homme, au départ de matière minérale ou de matière organique préexistante.

Classification des liants



Les liants minéraux

Les liants minéraux

Les liants minéraux : sont des poudres fines broyées produites par la transformation des roches.

Ces poudres se mélangent à de l'eau et forment une pâte plastique qui durcit avec le temps en raison de réactions chimiques.

Certains liants durcissent seulement à l'air et d'autres dans des milieux humides ou à l'eau.

Les types des liants minéraux

Les liants calcinés peuvent être classés en fonction de leur mode de durcissement :

1. **Les liants hydrauliques** : durcissent et conservent leurs propriétés mécaniques à la fois à l'air et à l'eau :

Ciment

La chaux hydraulique

- 2 , **Les liants aériens** : ne durcissent et ne conservent leurs propriétés mécaniques qu'à l'air libre :

La chaux

plâtre

Les liants magnésiens

Elles résultent de la cuisson de roches calcaires à une température environ 1000°C.

Les roches calcaires naturelles contiennent souvent des impuretés en particulier argileuses, selon le degré de pureté des calcaires utilisés on peut avoir

- **Liant hydraulique.**
- **Liant aérienne**

1. Les liants minéraux hydrauliques

I. Les liants minéraux hydrauliques

1. Les liants minéraux hydrauliques

Les liants minéraux hydrauliques :

sont obtenues par le mélange de pierres calcaires avec une certaine quantité d'argile ou de silice.

Elles peuvent être:

- **Naturelles:** c'est à dire obtenues à partir d'un gisement de chaux contenant de l'argile
- **De *composition*:** c'est à dire issues d'un mélange préparé en usine.

1. Les liants minéraux hydrauliques

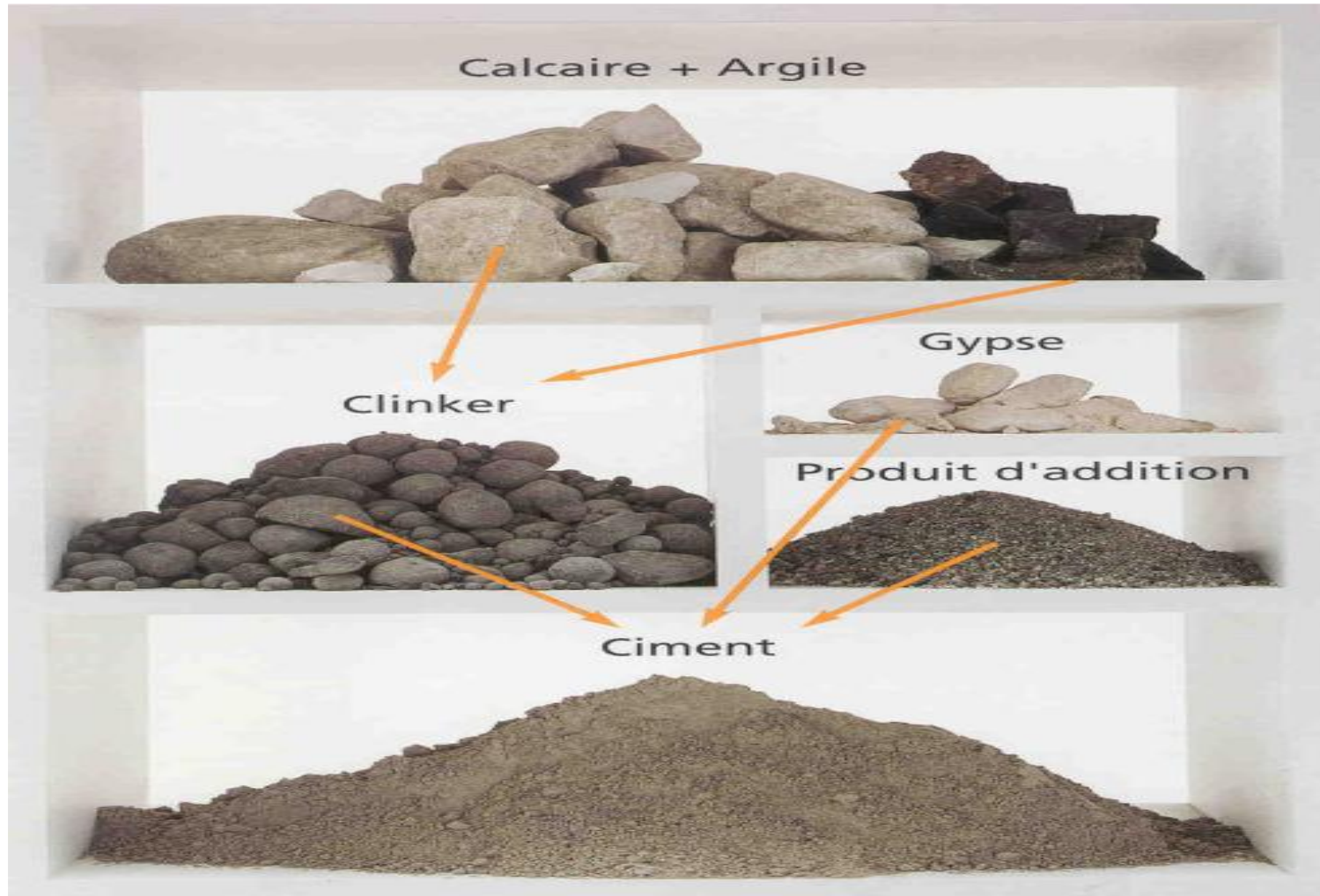
■ Le ciment:

Le ciment est un liant, un matériau qui durcit et peut être lié à d'autres matériaux. Selon la capacité du ciment à être utilisé en présence d'eau, le ciment utilisé dans la construction est appelé hydraulique ou non hydraulique ,

Le constituant principal du ciment est le clinker, obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de 80 % de calcaire et 20% d'argile

Le ciment est appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau

1. Les liants minéraux hydrauliques



1. Les liants minéraux hydrauliques

■ Principe de fabrication du ciment :

Le processus de fabrication du ciment peut être réduit schématiquement aux étapes suivantes :

- l'extraction ;
- l'homogénéisation ;
- le séchage et le broyage ;
- la cuisson ;
- le refroidissement ;
- le broyage.

1. Les liants minéraux hydrauliques

■ Principe de fabrication du ciment :

Les adjuvants peuvent être ajoutés lors du broyage ou après, dans des mélangeurs et même dans des centrales à béton, ce qui peut entraîner une différenciation des produits et des gammes.

• Extraction

- L'extraction consiste à extraire les matières premières : le **calcaire** (CaCO_3) de 75 à 80 % et l'**argile** ($\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$) de 20 à 25 %, à partir de carrières.
- Les deux carrières peuvent être sur le même site ou distantes

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Principe de fabrication du ciment :**

- **Homogénéisation:**

Créer un mélange homogène aux proportions chimiques bien définies est la phase d'homogénéisation.

Cette opération se fait

- soit dans un hall de préhomogénéisation
- soit dans un silo vertical par brassage

1. Les liants minéraux hydrauliques



1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Principe de fabrication du ciment :**
- **Séchage et broyage:**

Les étapes de séchage et de broyage favorisent les réactions chimiques suivantes. Les matières premières sont broyées très finement dans des broyeurs à boulets ou, plus récemment, dans des broyeurs verticaux à meules, qui sont plus économes en énergie.

En fonction du type de préparation, il existe trois catégories principales de « voies » :

1. Les liants minéraux hydrauliques

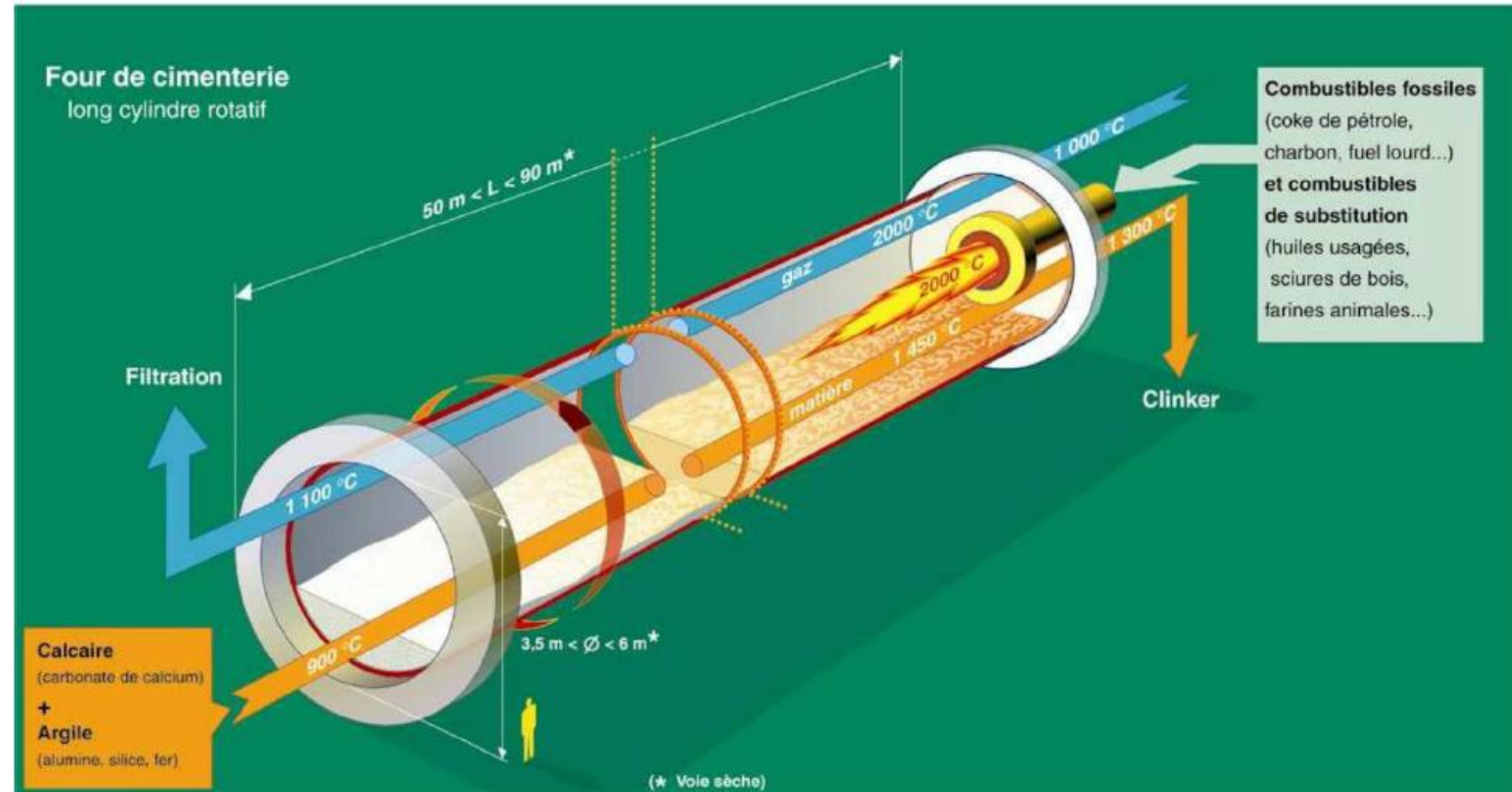
- **Principe de fabrication du ciment :**
- **Séchage et broyage:**
 - la voie humide
 - la **voie sèche** : la farine est introduite dans le four sous forme pulvérulente après un préchauffage dans une tour à échangeurs thermiques ;
 - la **voie semi-sèche** : avant introduction dans le four, la farine est transformée en « granules » par humidification dans des granulateurs :

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Principe de fabrication du ciment :**
- **Séchage et broyage:**

La farine est mélangée à de l'eau pour obtenir environ 13 % d'humidité, puis ces granules sont préchauffés (350 °C) et décarbonatés (900 °C) avant de tomber dans le four. Après cela, le produit brut est placé dans un four long (60 à 200 m) qui est rotatif (1,5 à 3 tr/min), de forme tubulaire (jusqu'à 6 m de diamètre) et légèrement incliné (2 à 3 % d'inclinaison).

1. Les liants minéraux hydrauliques



1. Les liants minéraux hydrauliques

■ Principe de fabrication du ciment :

■ Cuisson:

Lors de sa lente progression dans le four, à la rencontre de la flamme, le cru va traverser diverses étapes de transformation. La température requise pour la clinkérisation est d'environ 1 450 °C.

Il a la forme de granules gris. Le ciment doit être refroidi et broyé après sa sortie du four avant d'être stocké dans des silos.

1. Les liants minéraux hydrauliques

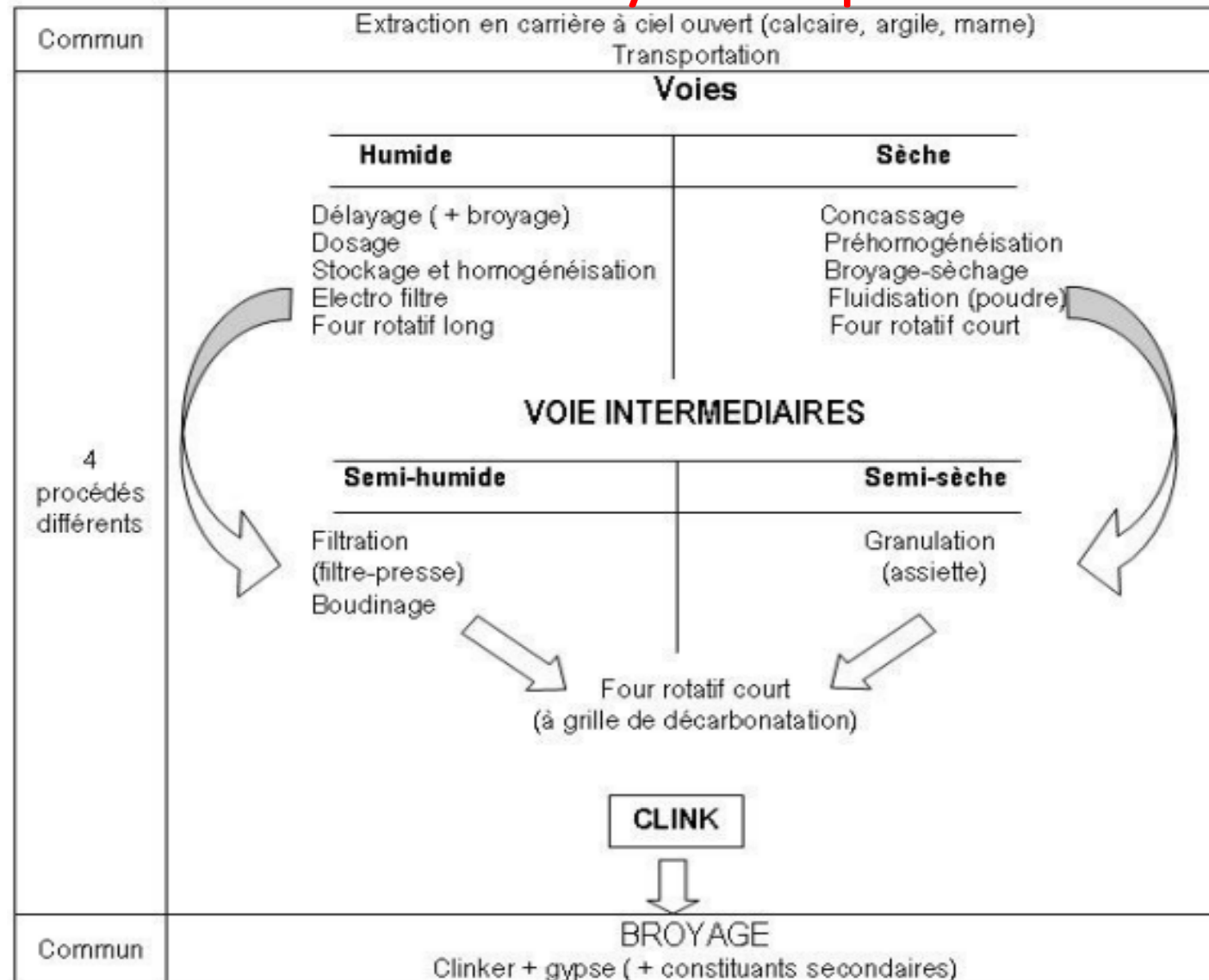


Schéma récapitulatif des quatre méthodes de fabrication du ciment

1. Les liants minéraux hydrauliques

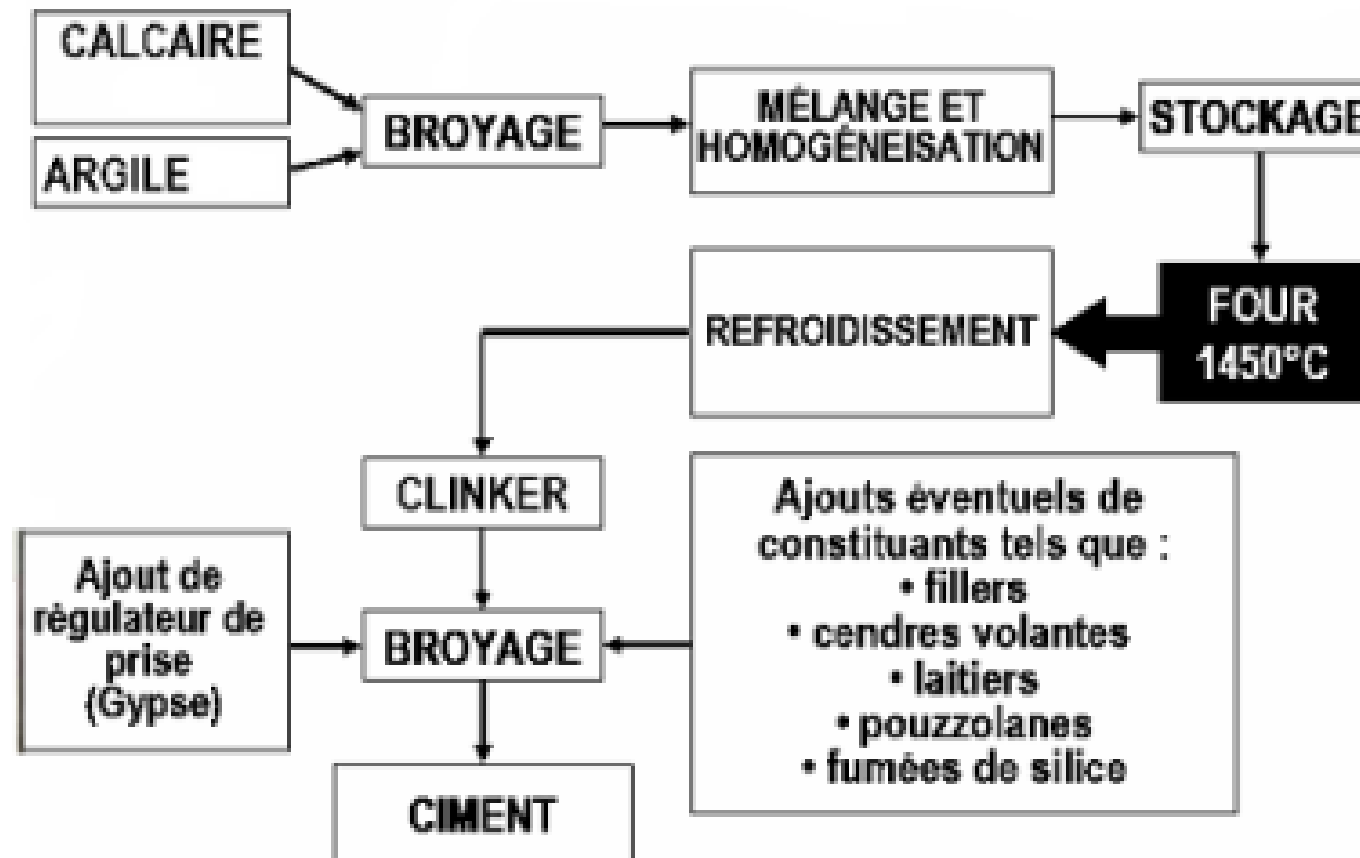
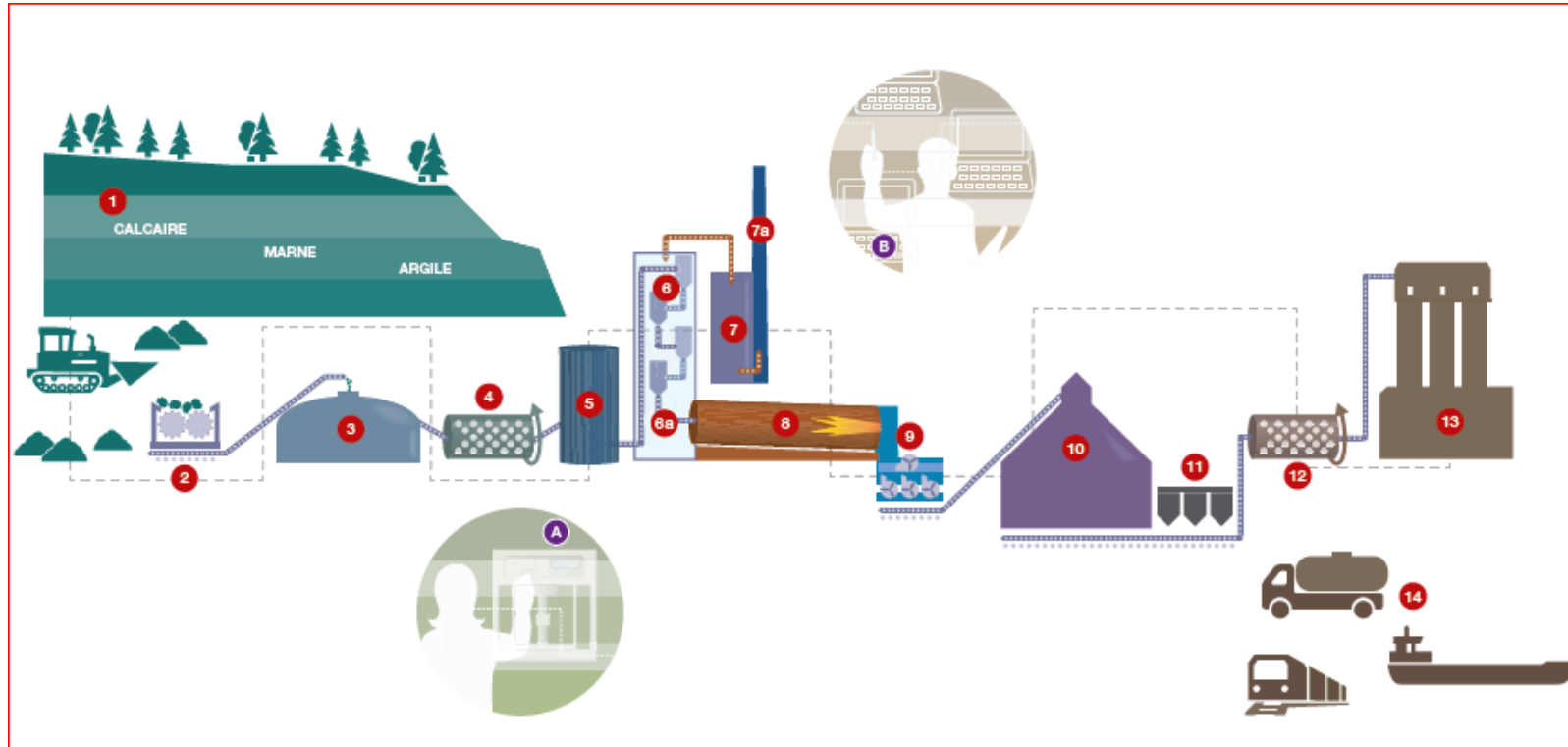


Schéma de fabrication du ciment par voie sèche

1. Les liants minéraux hydrauliques



1- Extraction des matières premières.

2- Concasseurs primaires & secondaires

3- Hall pré-homogénéisation

4- Broyeur sécheur du cru

5- Silo d'homogénéisation du cru.

6- Tour de préchauffage + Préalcalinateur.

7- Filtre à manche

8- Four rotatif.

9- 10 -Refroidisseur + silo de stockage clinker.

11- Autres constituants

12- Broyeur ciment.

13-14- Silos de stockage + transport du ciment.

Schéma de fabrication du ciment par voie sèche

1. Les liants minéraux hydrauliques

■ Composition du clinker de ciment:

- Les différents constituants se combinent en brûlant et forment du **clinker de ciment**. Les composés formés lors du processus de combustion ont les propriétés de prise et de durcissement en présence d'eau. Ils sont connus sous le nom de composés Bogue d'après le nom de **Bogue** qui les a identifiés. Ces composés sont les suivants :
- Alite (Silicate tricalcique ou C3S),
- Bélite (Silicate dicalcique ou C2S),
- Céliste (Alluminate tricalcique ou C3A)
- et Féliste (Ferrite tétracalciumalumine ou C4AF).

1. Les liants minéraux hydrauliques

■ Composition du clinker de ciment:

4 phases cristallines principales			
Notation symbolique	Nom	Formule chimique	% en poids moyen
C_3S	silicate tricalcique ou alite	$3 CaO, SiO_2$	62
C_2S	silicate bicalcique ou bélite	$2 CaO, SiO_2$	22
C_3A	aluminate tricalcique	$3 CaO, Al_2O_3$	8
C_4AF	alumino-ferrite tétracalcique	$4 CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$	8

1. Les liants minéraux hydrauliques

■ Composition du clinker de ciment:

1. Silicate tricalcique:

- Il est censé être le meilleur matériau de ciment et il s'agit d'un ciment bien brûlé. Il représente environ 25 à 65 % (normalement environ 62 %) du ciment. Il rend le clinker plus facile à broyer, augmente la résistance au gel et au dégel, s'hydrate rapidement en générant une chaleur élevée et développe une dureté et une résistance précoces.

2, Silicate dicalcique:

- Il constitue environ 20 à 40 % (normalement environ 22 %) du ciment. Il hydrate et durcit lentement et met beaucoup de temps à renforcer sa résistance (après un an ou plus). Il confère une résistance aux attaques chimiques. L'augmentation de la teneur en C2S rend le clinker plus difficile à broyer

1. Les liants minéraux hydrauliques

■ Composition du clinker de ciment:

3- Aluminate tricalcique:

- Il s'agit d'environ 5 à 11 % (normalement environ 8 %) de ciment. Il réagit rapidement avec l'eau et est responsable de la prise instantanée du clinker finement broyé. La rapidité d'action est régulée par l'ajout de 2 à 3 % de gypse au moment du broyage du ciment. L'aluminate tricalcique est responsable de la prise initiale, de la chaleur élevée d'hydratation,

4- Ferrite tétracalcique et alumino:

- Il constitue environ 8 à 14 % (normalement environ 8 %) du ciment. Il est responsable du déclenchement du flash mais génère moins de chaleur. Il a la valeur de cimentation la plus faible.

1. Les liants minéraux hydrauliques

■ Utilisation du ciment:

- Mortier de ciment pour travaux de maçonnerie, enduits et jointoiements, etc.
- Béton pour la pose de sols, de toitures et la construction de linteaux, poutres, pare-froid, escaliers, piliers, etc.
- Construction d'ouvrages d'art importants tels que ponts, ponceaux, barrages, tunnels, phares, horloges, etc.
- Construction d'eau, de puits, de courts de tennis, de fosses septiques, de lampadaires, de cabines téléphoniques, etc.
- Fabrication de tuyaux préfabriqués, sièges de jardin, wens artistiquement conçus, poteaux de fleurs, etc.
- Préparation des fondations, sols étanches, trottoirs, etc.

1. Les liants minéraux hydrauliques

▪ *Différents types de ciment :*

Il existe une grande variété de types de ciments en fonction des composants utilisés et de leur dosage. Il y a quelques exemples :

- les ciments courants
- les ciments adaptés à des usages spécifiques
- les ciments spéciaux
- les liants hydrauliques routiers

1. Les liants minéraux hydrauliques

▪ Différents types de ciment :

• Ciment Portland ordinaire:

- Le ciment Portland ordinaire est le type de ciment le plus couramment utilisé dans le monde. Ce ciment est fabriqué en chauffant du calcaire (carbonate de calcium) avec de petites quantités d'autres matériaux (comme l'argile) à 1 450 °C dans un four, selon un processus appelé calcination, par lequel une molécule de dioxyde de carbone est libérée du carbonate de calcium pour devenir former de l'oxyde de calcium, ou chaux vive, qui est ensuite mélangée aux autres matériaux inclus dans le mélange. La substance dure résultante, appelée « clinker », est ensuite broyée avec une petite quantité de gypse pour obtenir une poudre pour fabriquer du « ciment Portland ordinaire »
- Ce type de ciment est utilisé dans la construction lorsqu'il n'y a pas d'exposition aux sulfates présents dans le sol ou dans les eaux souterraines.

1. Les liants minéraux hydrauliques

▪ Différents types de ciment :

• Ciment Portland à durcissement rapide:

- Il est plus ferme que le ciment Portland ordinaire
- Il contient plus de C3S et moins de C2S que le ciment Portland ordinaire.
- Sa résistance sur 3 jours est la même que celle sur 7 jours du ciment Portland ordinaire.

• Ciment Portland à basse température :

- Chaleur générée dans le ciment Portland ordinaire au bout de 3 jours 80 cal/gm. Dans le ciment à basse température, il s'agit d'environ 50 cal/g de ciment.
- Il contient un faible pourcentage de C3A et relativement plus de C2S et moins de C3S
- Réduire et retarder la chaleur de l'hydratation de ce ciment.

1. Les liants minéraux hydrauliques

▪ Différents types de ciment :

- Ciment Portland résistant aux sulfates:

- Pour ce ciment, on utilise l'ensilage issu du haut fourneau.

- Les clinkers de ciment sont broyés avec environ 60 à 65 pour cent de débris.

- Sa résistance au début est moindre et nécessite donc une période de durcissement plus longue. Il s'avère économique car des débris, qui sont des déchets, sont utilisées dans sa fabrication.

1. Les liants minéraux hydrauliques

- **Différents types de ciment :**

- **Ciment pouzzolanique :**

- les proportions de pouzzolane peuvent être de 10 à 25 % en poids. e.2. Argile brûlée, schiste, cendres volantes.
- Ce ciment présente une plus grande résistance aux agents chimiques et à l'eau de mer en raison de l'absence de chaux.
- Il dégage moins de chaleur et sa résistance initiale est moindre, mais sa résistance finale est de 28 jours égale à celle du ciment Portland ordinaire.
- Il possède moins de résistance à l'action de l'érosion et des intempéries.

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.