

Chapitre III: Le ciment.

1. Définitions

Le ciment est un liant hydraulique c'est-à-dire : il est capable de faire prise, de durcir et de développer des résistances à l'air comme dans l'eau.

Le béton est un géomatériau composite, composé essentiellement de ciment + eau + granulats.

Une Pâte = Ciment + Eau.

Un mortier = Ciment + Eau + Sable.

Un Béton = Ciment + Eau + Sable + Gravier.

2. Fabrication du ciment

Le ciment est fabriqué à partir de calcaire et d'argile : 80 % + 20 % respectivement.

Le ciment est fabriqué (*par voie sèche*) selon le processus suivant (*figure 1*):

- Extraction de matière première de la carrière ;
- Concassage primaire de la matière première ;
- Concassage secondaire de la matière première en taille plus petite ;
- Broyage de la matière concassée.
- Dosage et homogénéisation de la farine crue (*matière broyée*) ;
- Phase de préchauffage de la farine crue (*et précalcination*) à **850° C**, puis la cuisson dans un four rotatif incliné à une température généralement de **1450° C**. le produit sortant du four s'appelle le **clinker**;
- Broyage du mélange : clinker + gypse ($\approx 5\%$) + ajouts éventuels.
- Le produit fini (*ciment*) est prêt alors pour être expédié en sacs en vrac.

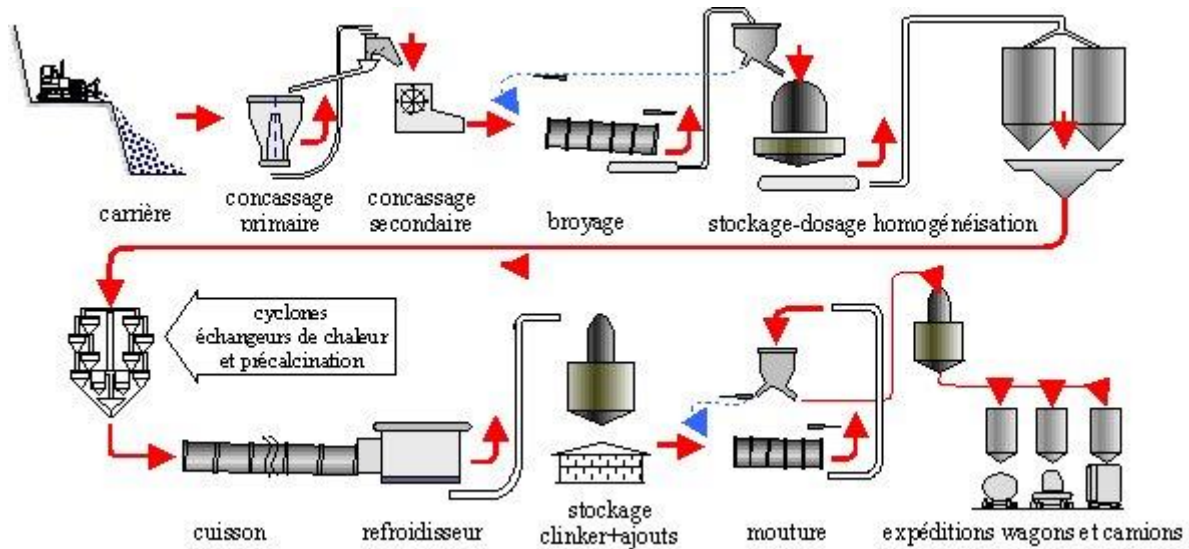


Figure 1- Méthode de fabrication de ciment par voie sèche.

Les ajouts minéraux dans le ciment ont pour but d'améliorer les propriétés physico-mécaniques du ciment, et ça résistance aux agressions chimiques.

Tableau 1- Les principaux ajouts et leurs effets.

Constituant ajouté		Effets principaux du constituant ajouté au clinker
S	Laitier granulé de haut fourneau	Diminue la réactivité à court terme. Diminue les retraits Montée en résistance moins rapide Adapté aux ouvrages en contact avec le sol
P	Pouzzolane naturelle	Diminue la réactivité à court terme et ses effets Complète l'hydratation en consommant la portlandite
Q	Pouzzolane calcinée	Diminue la réactivité à court terme et ses effets Complète l'hydratation en consommant la portlandite
V	Cendre volante siliceuse	Apporte une résistance complémentaire à long terme Améliore la durabilité en diminuant la perméabilité Améliore l'ouvrabilité. Teinte en noir le béton
W	Cendre volante calcique	Améliore l'ouvrabilité. Teinte en noir le béton
T	Schiste calciné	Diminue la réactivité à court terme et ses effets Complète l'hydratation en consommant la portlandite
L et LL	Calcaire broyé	Accélère la cinétique d'hydratation à très court terme (2 à 7 jours). Complète le squelette granulaire
M	Mélange de constituants	Associe les effets des différents constituants Diminue le prix du ciment. Couleur et propriétés variables

3. Propriétés physico-mécaniques du ciment.

a- La prise

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il fait prise.

b- Le durcissement

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter.

c- La finesse de mouture (*surface spécifique de Blaine*)

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimée en (cm^2/g) . Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500 cm^2/g .

Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible et plus le retrait est important.

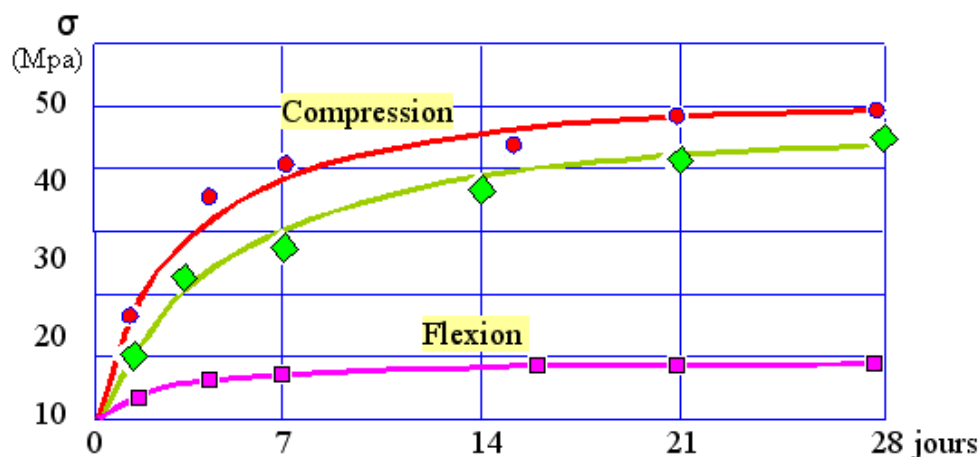


Figure 2- Résistance mécanique du mortier normal.

d- La résistance à la compression

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier dit "normal", à 28 jours d'âges en traction et en compression des éprouvettes 4 x 4 x 16 cm (figure 2). La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Elle dépend de la classe de ciment et est exprimée en MPa.

Le mortier utilisé est réalisé conformément à la norme EN 196-1. Le sable utilisé est un sable appelé: "sable normalisé".

Pour chaque type de ciment, il existe effectivement plusieurs classes de résistances pour lesquelles les fabricants garantissent des valeurs minimales et maximales.

4. Les minéraux de Bogue

Au cours de l'hydratation du ciment, quatre (04) minéraux principaux se forment par combinaison des la chaux, la silice, l'alumines, et l'oxyde de fer. C'est minéraux sont le C_3S , C_2S , C_3A et C_4AF .

Le pourcentage de ces minéraux est calculé selon les formules suivantes de Bogue (d'où vient leur nom):

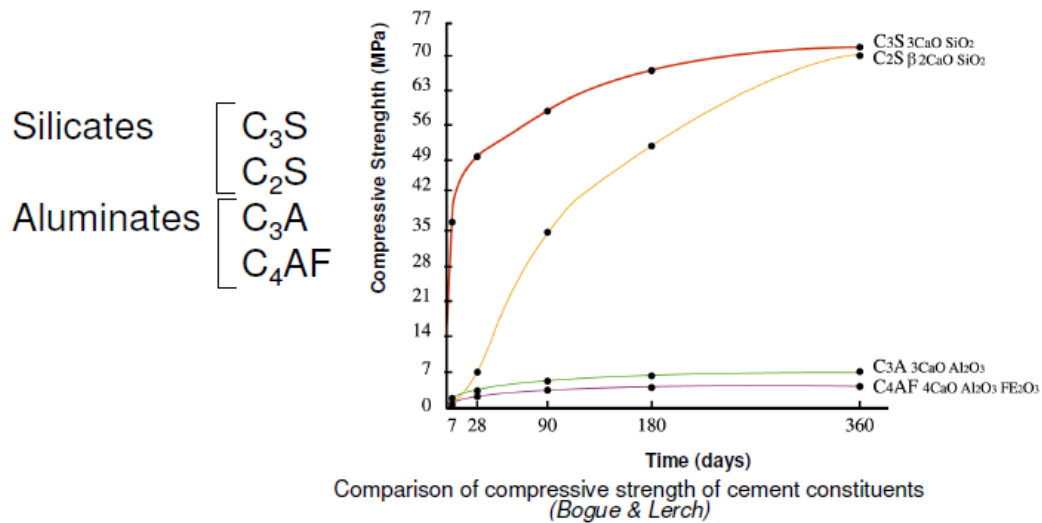
$$C_3S = 4,0710 \text{ CaO} - 7,6024 \text{ SiO}_2 - 6,7187 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,4297 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$C_2S = - 3,0710 \text{ CaO} + 8,6024 \text{ SiO}_2 + 5,0683 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 1,0785 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$C_3A = 2,6504 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,6920 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$C_4AF = 3,0432 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

L'élément chimique le plus important pour le développement de la résistance mécanique du ciment est le C_3S (figure 3).



→ C₃S = the most interesting phase

Figure 3 – Comparaison de la résistance à la compression des constituants du ciment.

5. Les différents ciments

Les ciments peuvent être classés en cinq grandes familles et vingt-sept variantes principales (voir la norme (en)EN-197-1-2000) pour plus de détails :

- **Ciment Portland** (noté CEM I)
- **Ciment Portland composé** (noté CEM II)
- **Ciments de hauts fourneaux** (noté CEM III)
- **Ciments pouzzolaniques** (noté CEM IV)
- **Ciments au laitier et aux cendres** ou **ciment composé** (noté CEM V)
- **Ciment blanc** (*différent des précédents par sa composition chimique et la méthode de fabrication*).