

## Chapitre IV: Le Béton de ciment.

### 1. Généralités

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. Le ciment

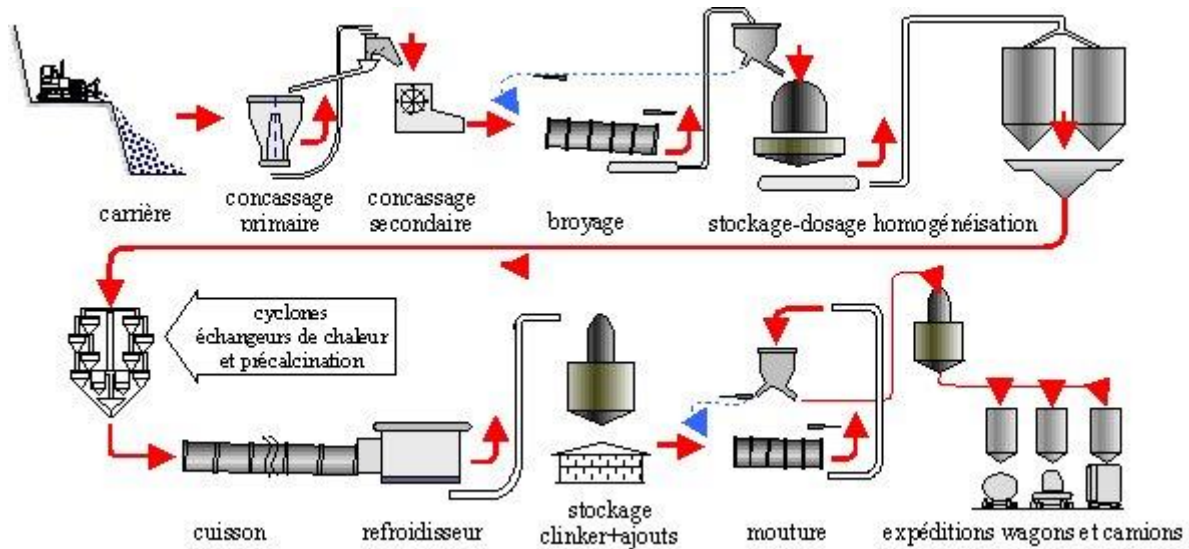
Le ciment est un liant hydraulique c'est-à-dire : il est capable de faire prise, de durcir et de développer des résistances à l'air comme dans l'eau.

#### 2.1. Fabrication du ciment

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

## 2.2. 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 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ). Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

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.

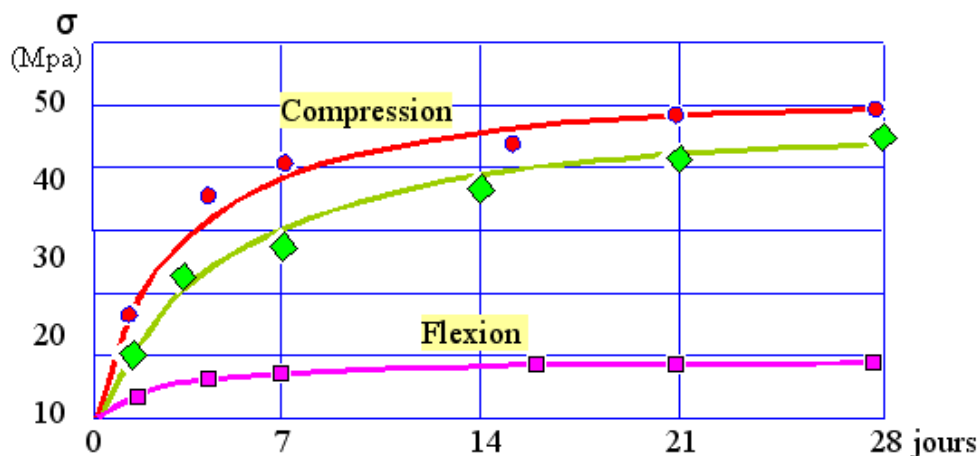


Figure 2- Résistance mécanique du mortier normal.

#### **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.

### **3. Les granulats**

Les granulats jouent un rôle important, d'une part car ils forment le squelette et présentent, dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton et d'autre part car au point de vue économique, ils permettent de diminuer la quantité de liant qui est le plus cher.

Les granulats utilisés pour la fabrication des bétons doivent:

- être stables et durables et donc résister;
- posséder une certaine résistance et dureté;
- être propre;
- donner un mélange compact (forme correcte des grains, bonne granulométrie, teneurs en fines limitée).

### **4. Formulation du béton**

La formulation des bétons fait intervenir de nombreux critères aussi bien techniques qu'économiques. Ces critères, hypothèses de travail, peuvent être regroupés en cinq classes:

- l'environnement de l'ouvrage au cours de son fonctionnement ;
- les caractéristiques géométriques de l'ouvrage ;
- les caractères spécifiques du matériau frais, durcissant et durci ;
- les conditions de fabrication et de mise en œuvre du béton frais ;
- les matériaux à disposition localement.

## 5. Propriétés du béton

### 5.1. Béton frais

#### Ouvrabilité du béton

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité.

- **Essai d'affaissement au cône d'Abrams** (figure 3): effectué sur un moule tronconique rempli de béton frais. Un béton très ferme aura un affaissement inférieur à 3 cm, un béton très plastique a un affaissement supérieur à 16 cm.

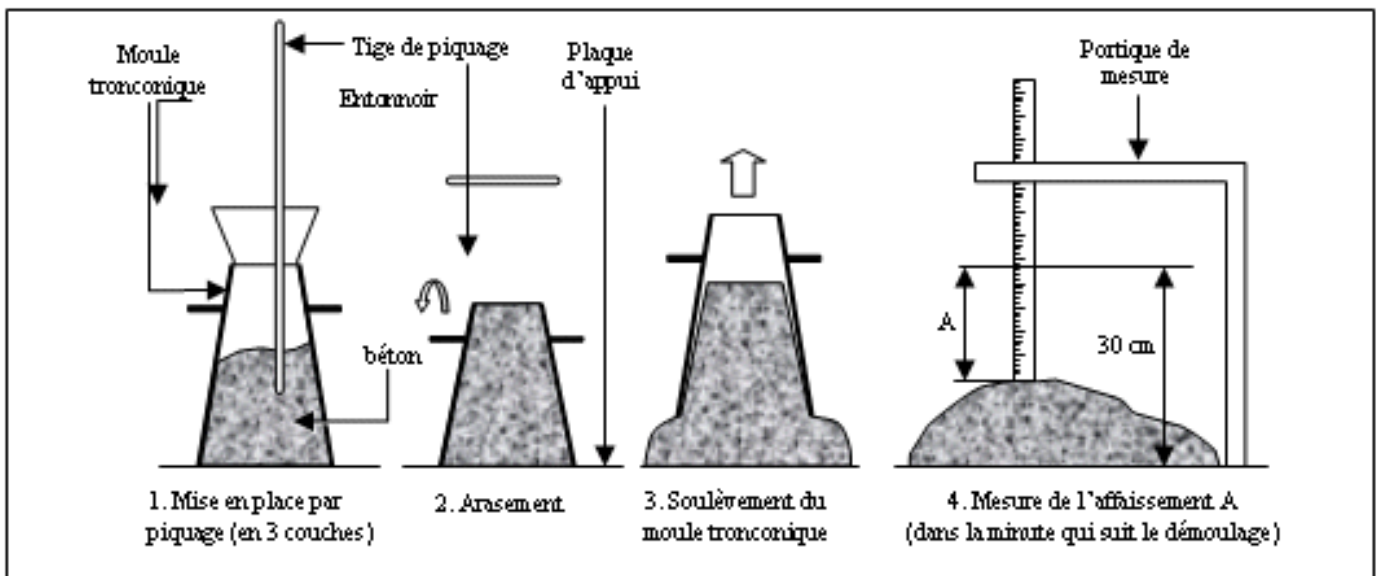


figure 3 – Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.

### 5.2. Béton durci

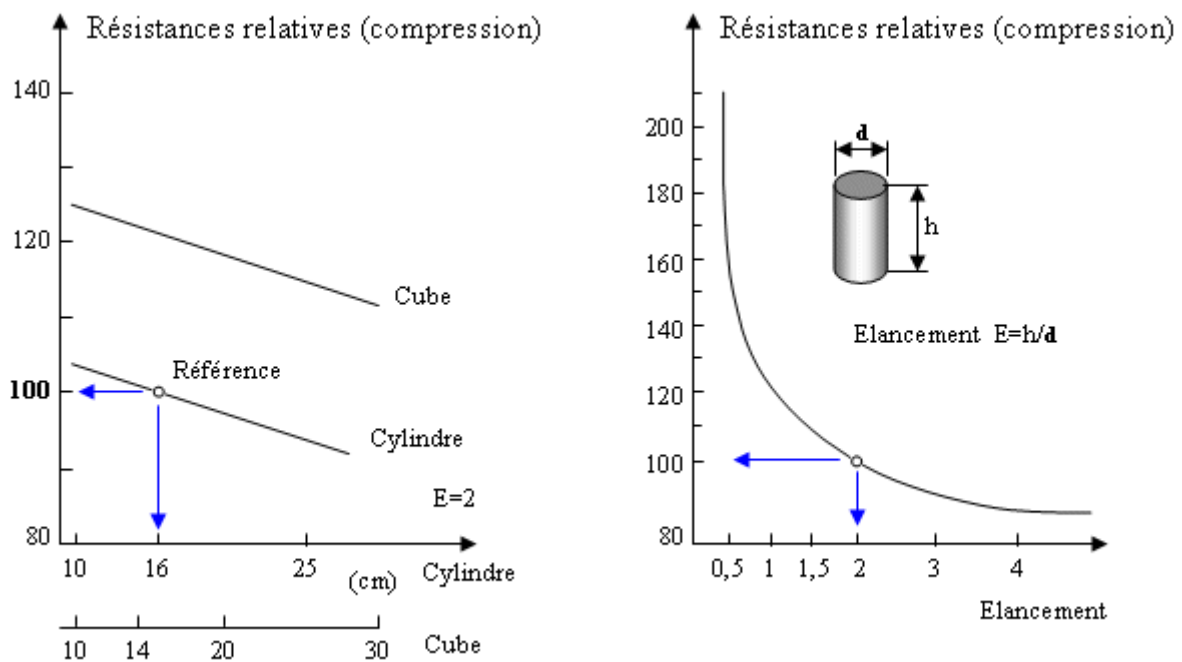
La caractéristique essentielle du béton durci est la résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages.

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, le béton se comporte comme un matériau fragile. D'une part, sa rupture n'est pas précédée de déformations importantes et, d'autre part, sa résistance à la traction est beaucoup plus faible que sa résistance à la compression.

**a- Résistance à la compression**

La résistance à la compression à 28 jours est désignée par  $f_{c28}$ . Elle se mesure par compression axiale de cylindres droits de révolution et d'une hauteur double de leur diamètre. Le cylindre le plus couramment employé est le cylindre de 16 (d = 15,96 cm) dont la section est de 200 cm<sup>2</sup>.

Elle varie suivant la taille des éprouvettes essayées. Plus celles-ci sont petites et plus les résistances sont élevées. La résistance sur cylindre d'élanement 2 (par exemple diamètre de 16 cm, hauteur de 32 cm) est plus faible de l'ordre de 20% que la résistance sur cubes de 20 cm



**Figure 4 - Variations des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes.**

**b- La résistance en traction**

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement. La résistance en traction à 28 jours est désignée par  $f_{t28}$ .

**- La résistance en traction - flexion**

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques d'élanement 4, reposant sur deux appuis:

- soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).

- soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges).

#### - La résistance en traction par fendage

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé "Essai Brésilien". Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera:

$$f_{ij} = \frac{2.P}{\pi.d.L}$$

avec :

j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai;

d et L = diamètre et longueur du cylindre.

#### - La résistance en traction directe

La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques à celle de la résistance en traction par fendage, mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

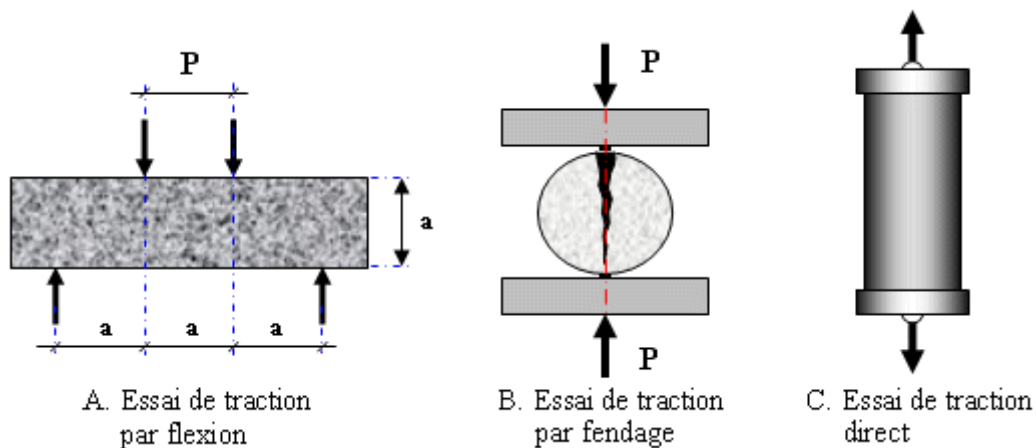


Figure 5- Différents essais de mesure de la résistance à la compression du béton.