

## METHODE DE COMPOSITION DE BETON

### Introduction

Le béton est le résultat d'un mélange de granulats (sable et graviers) , ciment et eau. Sable et graviers constituent le squelette granulaire ( phase dispersée). La pâte ciment + eau est la phase dispersante. L'hydratation du ciment par l'eau conduit à la matrice liante.

Après durcissement, le béton devient un corps dur, compact, peu déformable, mécaniquement résistant. A l'état frais le béton est moulable et devient une véritable roche après durcissement.

**Philosophie** : faire le meilleur béton avec les moyens dont on dispose.

**Les antagonismes** : l'ouvrabilité (maniabilité) et la résistance mécanique (compression et traction) sont les deux qualités recherchées pour un béton mais l'une des deux évolue au détriment de l'autre.

Les adjuvants peuvent réduire cet antagonisme, mais attention, un adjuvant a pour rôle d'améliorer certaines qualités et non pas de rattraper des défauts.

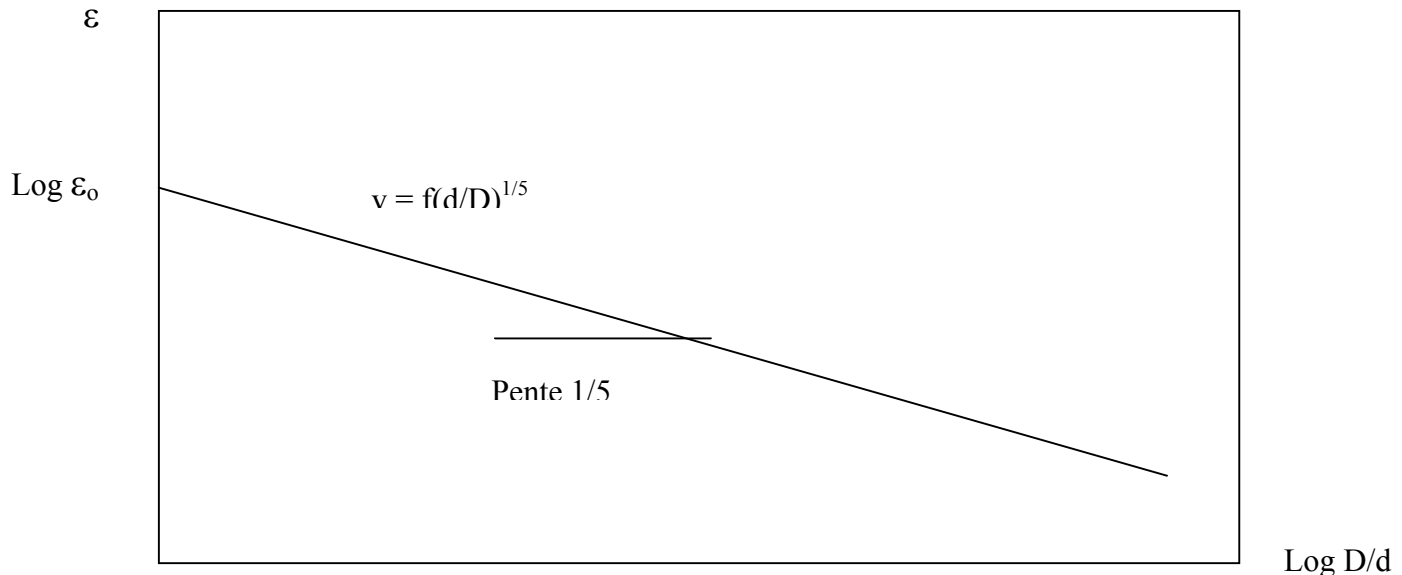
Le béton peut être esthétique si l'homme qui l'utilise a le sens de l'art.

Le troglodyte creusait la roche pour habiter, l'homme moderne moule le béton pour le faire.

### Généralités

La théorie des mélanges granulaires a été développée par CAQUOT, ingénieur français, vers 1936. Elle est pratiquement la base de toutes les méthodes actuelles de formulation des mélanges granulaires.

Son but : obtenir un mélange granulaire à porosité minimale conduisant à une résistance maximale du béton.



CAQUOT a établi que :

- la porosité  $\varepsilon$  est étroitement liée à l'écart entre  $d$  et  $D$  ;
- le caractère de continuité entre  $d$  et  $D$  n'est pas prépondérant ;
- la porosité est une fonction de  $(d/D)^{1/5}$

Les méthodes les plus couramment utilisées sont :

- BOLOMEY :  $P = A (100-A) \cdot (d/D)^{1/2}$
- FAURY :  $Y = A + 17.D^{1/5}$

- DREUX-GORISSE :  $Y = 50 + K - D^{1/5}$

## Vocabulaire

**Ouvrabilité = maniabilité = plasticité** : facilité du béton à se laisser mettre en place.

**Consistance = fermeté** : le contraire de l'ouvrabilité.

**Hydratation du ciment** : réaction chimique entre  $H_2O$  et les constituants du ciment. Le ciment, corps anhydre, devient un corps hydraté dont le terme général est le CSH, silicate de calcium hydraté.

Dosage en eau : quantité d'eau en litre pour faire  $1\text{ m}^3$  de béton frais. Cette eau sert à l'hydratation du ciment et au mouillage des granulats et des matériels. C'est la quantité en excès qui doit assurer une bonne maniabilité qui pose problème.

**Essai d'étude ( NF P 18-404 )** : « essai exécuté entièrement en laboratoire avec les constituants qui seront utilisés sur le chantier, dans le but de déterminer la composition du béton étudié, compte tenu des caractéristiques demandées et des conditions de mise en œuvre ».

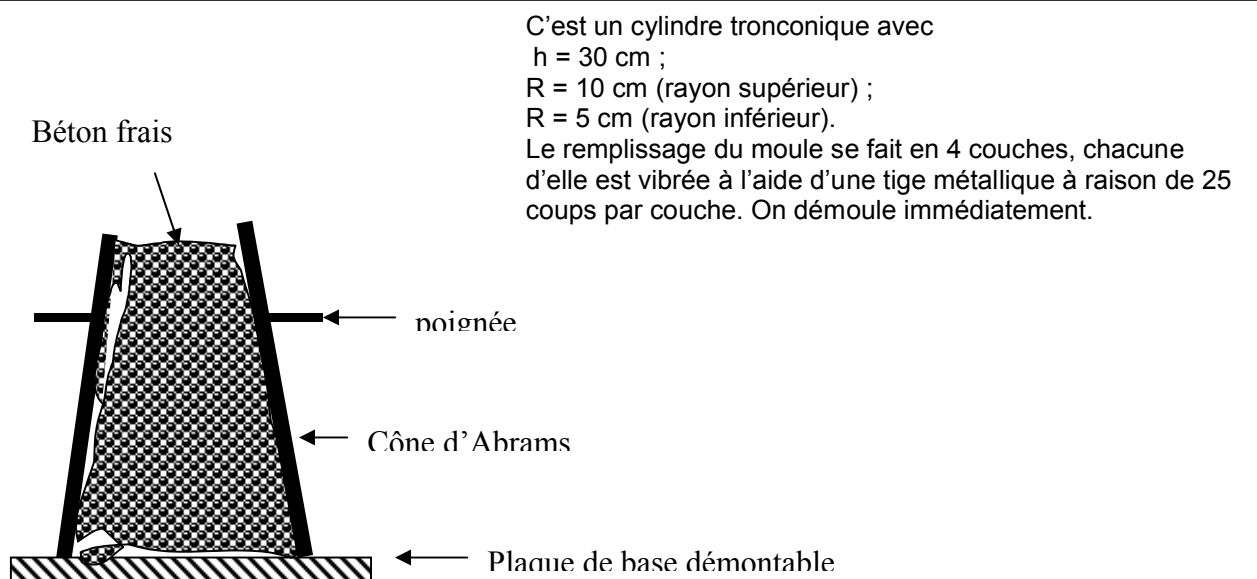
**Essai de convenance ( NF P 18-404 )** : « essai ayant pour but de vérifier qu'avec les moyens de chantier on peut réaliser avec un minima d'aléas, le béton défini par l'essai d'étude ».

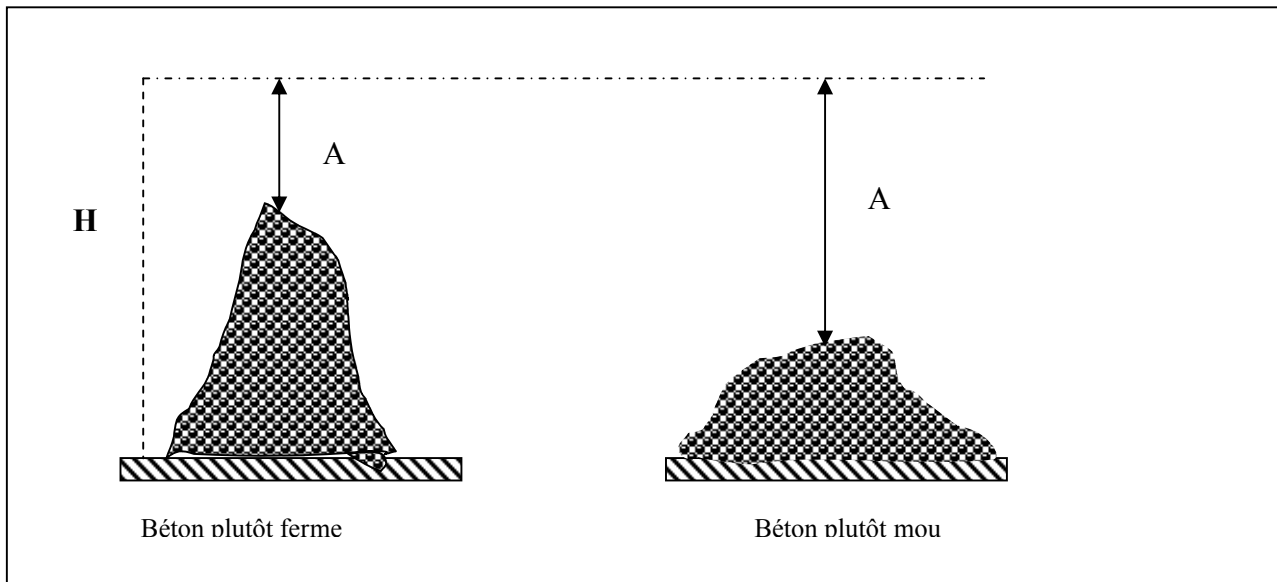
**Essai de contrôle ( NF P 18-404 )** : essai ayant pour but de vérifier la régularité de la fabrication et de contrôler si les caractéristiques prescrites sont bien atteintes.

**Essai d'information** : essai ayant pour but de conserver des éprouvettes de bétons sur le lieu de l'ouvrage et confectionnées selon l'essai de convenance.

## MANIABILITE

Elle est mesurée au cône d'ABRAMS (slump-test) : NF P 18-451



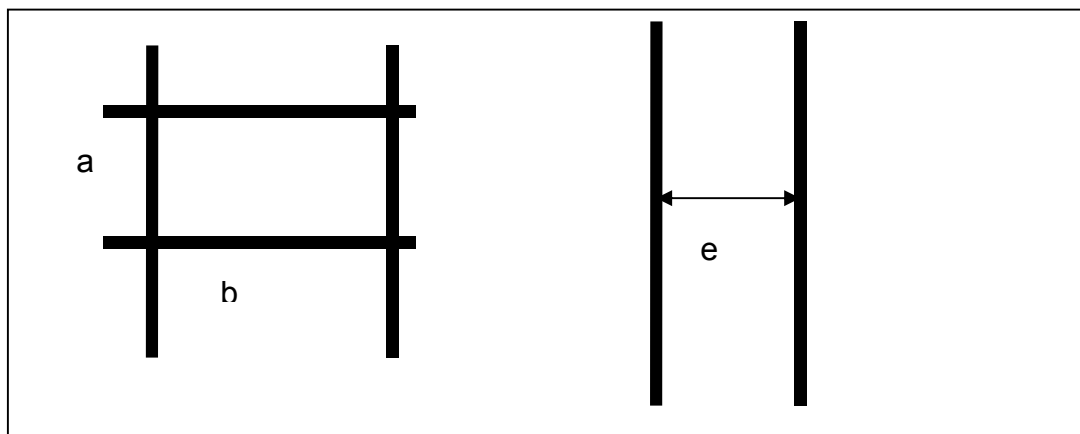


#### Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

Affaissement (cm)	Consistance	Mise en œuvre
0-2	Très ferme	Vibration puissante
3-5	Ferme	Bonne vibration
6-9	Ferme	Vibration courante
10-13	Mou	Piquage
≥ 14	Très mou à liquide	Léger piquage

#### DONNEES NECESSAIRES POUR L'ETUDE

1. environnement : milieu naturel agressif, risques technologiques : données nécessaires pour le choix du ciment ;
2. densité du ferrailage pour le choix de D ;



Rayon moyen des armatures  $r$  :

$$r = a.b/2(a + b) ; \quad r = e/2$$

Granulats roulés  $D/r < 1.4$  ;  $D < 0.7.e$  ;

Granulats concassés  $D/r < 1.2$  ;  $D < 0.6.e$

3. Résistance recherchée  $\sigma'_{28}$

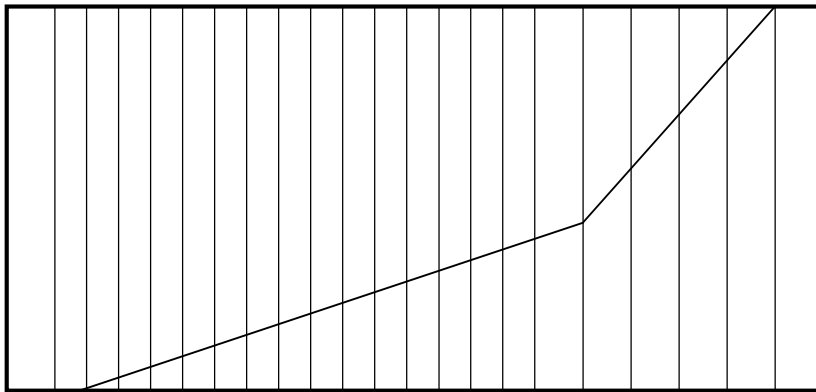
4. Maniabilité souhaitée A (cm) ;

5. Dosage en ciment ( $\text{kg/m}^3$  de béton frais). Si le dosage n'est pas imposé par le cahier de charges ( par le contrat), on peut utiliser la formule suivante :  $C = 700/D^{1/5}$

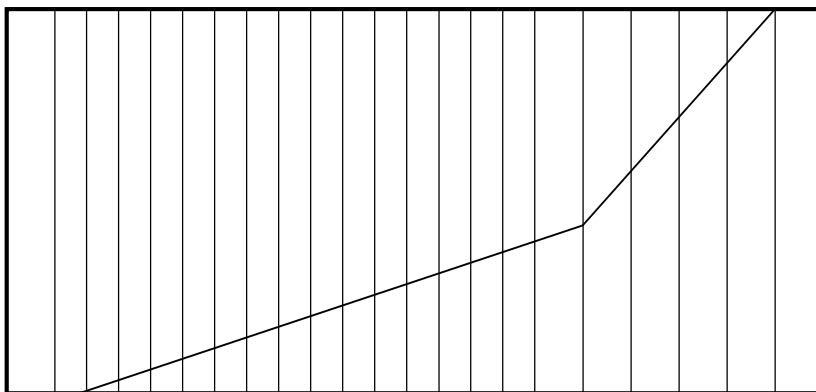
6. Analyse granulométrique des granulats ;

7. Règle des mélanges granulaires de JOISELLE, méthode utilisable quelque soit le type de graduation du graphe, le nombre de granulats et quelque soit le type de courbe optimale (ou de référence).

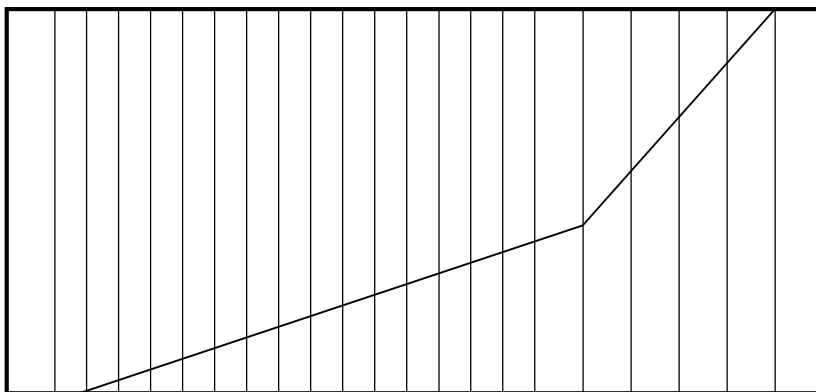
Exemple : cas d'un mélange binaire.



1) cas de juxtaposition



2) cas de chevauchement



3) cas de discontinuité

## METHODE DE DREUX-GORISSE

La formule proposée par les deux auteurs est :

$$\sigma'_{28} = G. \sigma'_c (C/E - 0,5)$$

$\sigma'_{28}$  : résistance moyenne à la compression recherchée ( en bars et à 28 jours) ;  
 $\sigma'_c$  : classe vraie du ciment (en bars à 28 jours);  
C : dosage en ciment (en kg par m<sup>3</sup>) ;  
E : dosage en eau (en litre pour 1 m<sup>3</sup> de béton frais) ;  
G : coefficient granulaire ( tableau 3).

## LES ETAPES DE L'ETUDE

- 1) Tracé des courbes granulométriques des granulats (sable et graviers) ;
- 2) Tracé de la courbe optimale (courbe de référence) :

2.1) origine :  $y = 0$   $x = d$  du granulat le plus fin ( sable)

2.2) point de brisure :

$$y = 50 + K - \sqrt{D} \text{ et}$$

$$x = D/2 \text{ si } D \leq 20 \text{ mm}$$

$$x = (D - d)/2 \text{ si } D > 20 \text{ mm}$$

2.3) extrémité :

$$y = 100$$

$$x = D \text{ du plus gros granulat}$$

3) Détermination des % des granulats secs ( sans le ciment).

4) Vérification : la courbe du mélange théorique suit de près la courbe optimale et la recoupe au voisinage du point de brisure.

5) Dosage en ciment

On évalue approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne désirée  $\sigma'_{28}$  et de l'affaissement désiré au cône A donnés par l'abaque (Fig. 8).

$$C/E = \sigma'_{28} / (G. \sigma'_c ) + 0,5$$

Le dosage en ciment est tiré de l'abaque (fig. 8).

6) Calcul du dosage en eau : on connaît C et C/E.

**7) Détermination de  $\gamma$  coefficient de compacité (tableau 8).**

**8) Calcul du volume absolu total des matériaux secs y compris le ciment :**

$$V_m = 1000. \gamma \text{ avec } V_m = V_g + V_s + V_c$$

**9) Calcul de  $V_c$  :**  $V_c = C/\rho_c$  avec  $\rho_c = 3,1 \text{ t/m}^3$  (valeur forfaitaire)

**10) Calcul de  $V_g$  et  $V_s$  :**  $\Sigma (V_g + V_s) = V_m - V_c$

**11) Calcul des volumes absolus des granulats secs :**

$$V_g = \% G . \Sigma (V_g + V_s)$$

$$V_s = \% S . \Sigma (V_g + V_s)$$

$V_g$  et  $V_s$  ont été déjà déterminés graphiquement par la règle de mélange de JOISELLE

**12) Vérification :**

$$1000. \gamma = V_g + V_s + V_c \quad \text{et} \quad V_g + V_s + V_c + V_e = 1000 \text{ l} = 1 \text{ m}^3$$

**13) Calcul des masses de chacun des constituants  $M = \rho.V$  en kg.**

**14) Calcul de la masse volumique absolu du béton frais :**

$$\rho_{\text{béton}} = (M_g + M_s + M_c + M_e) / (V_g + V_s + V_c + V_e) \text{ en kg/l ou en t/m}^3$$

**15) Calcul des masses volumiques apparentes des constituants :  $V' = M/\rho'$**

**16) Essai d'étude et corrections**

**17) Présentation de la composition de 1 m<sup>3</sup> de béton frais sous forme d'un tableau : composition en masses, en volumes absolus et en volumes apparents.**

	Masse (kg)	V(l)	V' (l)
Eau			
Ciment			
Gravier1			
... *			
sable			

\*) cas où il y plusieurs graviers

## PRISE DES CIMENTS PORTLAND

Le début de prise des ciments Portland correspond au moment où l'on constate une augmentation relativement brusque de la viscosité de la pâte cimentaire accompagnée d'un dégagement de chaleur.

Le temps de début et de fin de prise sont mesurés à l'aide de l'appareil de VICAT (NF P 18-431). La fin de prise correspond à l'instant où la pâte devient un bloc rigide. Pour la plupart des ciments, le temps de début de prise est compris entre 2h et 6h.

## CLASSE VRAIE DES CIMENTS

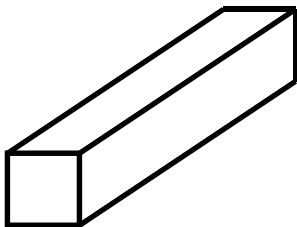
La classe vraie des ciments Portland est déterminée par la mesure de la résistance à la compression uniaxiale sur des cubes 4x4x4 cm de mortier 1/3 à conservés sous l'eau à 20°C à l'échéance de 28 jours. Dans cet essai, tous les paramètres sont invariants sauf la résistance du ciment qu'on veut caractériser.

Un « mortier 1/3 » (1 part de ciment et 3 parts de sable) est un mortier normalisé par la NF P 18-403 composé de :

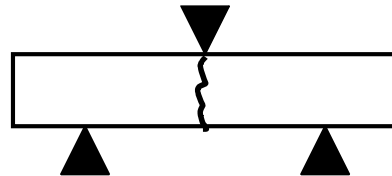
- 1350 g de sable normal ou sable de Leucate ;
- 450 g de ciment (objet du test) ;
- 225 g d'eau.

Le sable de Leucate (gisement de sable dans la région parisienne) est un sable naturel, siliceux, à grains arrondis et à granularité constante.

Les essais mécaniques : compression uniaxiale et traction par flexion.

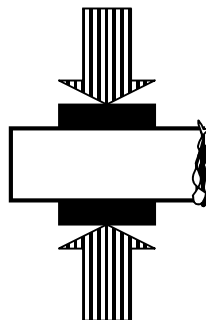


Eprouvette prismatique de 4x4x16 cm



Essai de traction par flexion sur 2 appuis

L'une des deux moitiés obtenues par rupture à la flexion est soumise à la compression entre plateaux de 4x4 cm



Essai à la compression uniaxiale entre 2 plateaux 4x4 cm.

## THEORIE SUR L'HYDRAULICITE DES CEMENTS PORTLAND

Le ciment est qualifié de liant **hydraulique** parce qu'il fait prise et conserve ses propriétés même sous l'eau (ce qui n'est pas le cas du plâtre et des chaux aériennes) .

### **Théorie de MICHAELIS**

On peut la schématiser par les étapes suivantes :

Ciment anhydre instable + eau  $\longrightarrow$  dissolution des grains de ciment  $\longrightarrow$   
solution aqueuse sursaturée  $\longrightarrow$  germination  $\longrightarrow$  croissance des  
cristaux  $\longrightarrow$  produits hydratés stables CSH.

### **Théorie de LE CHATELIER**

Elle explique la formation des hydrates sans le passage par la phase de dissolution-cristallisation.

Au contact avec l'eau, les grains de ciment développent un gel à leur surface. Le milieu devient colloïdal. L'hydratation se poursuit par transfert des molécules  $H_2O$  à travers le gel qui joue le rôle de membrane semi-perméable. Le résultat est l'épaississement de la couche de gel qui durcit avec le temps jusqu'à la prise totale.