

# FICHE GUIDE 1

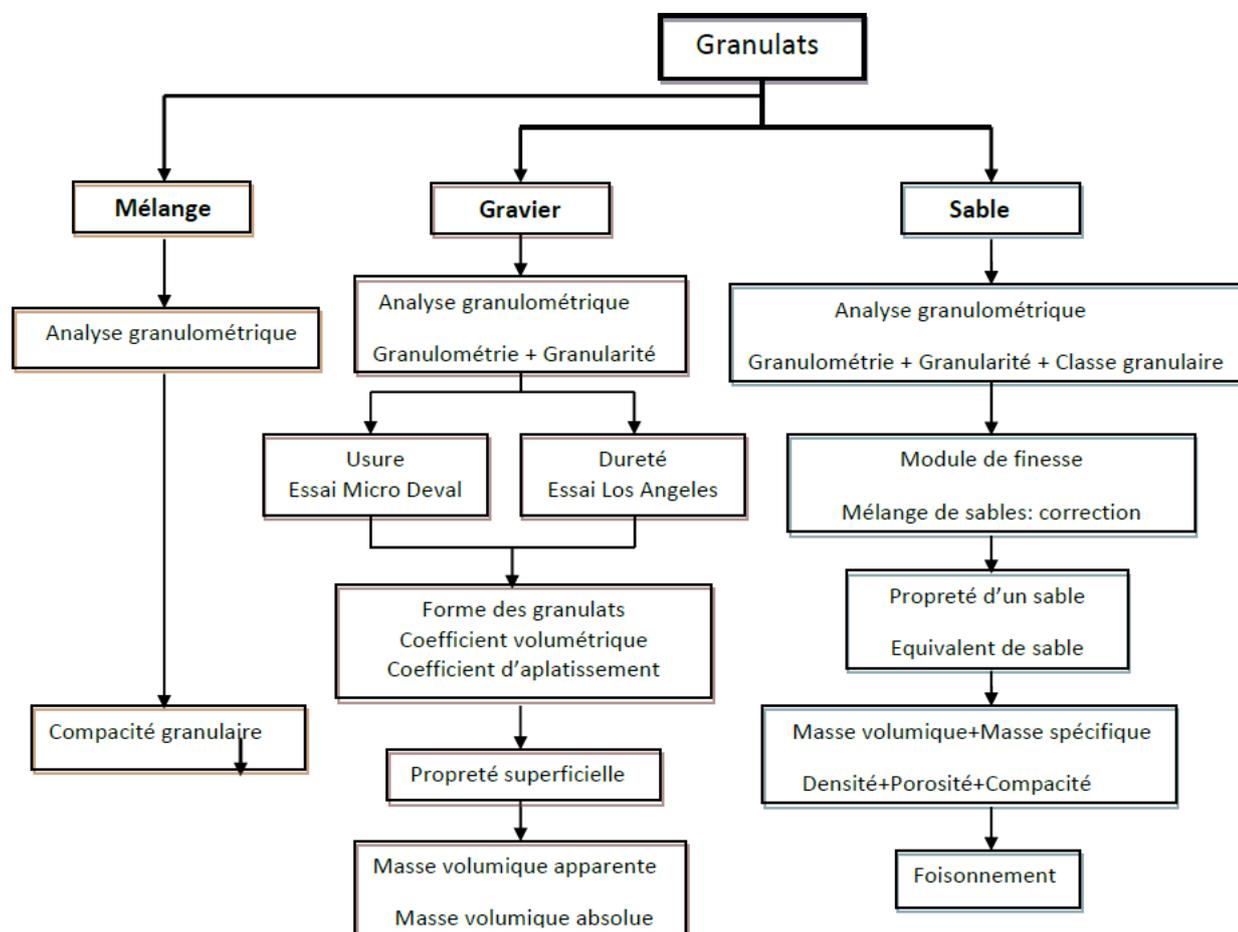
## Caractéristiques des granulats à béton

### Contrôle de qualité des granulats à béton

Ce paragraphe ne constitue qu'un guide et un complément d'information pour les principaux essais à effectuer sur les granulats à béton. Ces essais seront réalisés, en cours d'exécution d'ouvrages en béton armé, conformément aux prescriptions ou règles retenues pour l'ouvrage.

Il ne s'agit pas d'une énumération de tous les essais mais de quelques essais portant essentiellement sur la mesure de la masse volumique, la propreté, la dureté, la forme, la granulométrie, le foisonnement des granulats à béton.

Les principaux essais sur les granulats sont consignés dans l'organigramme ci-dessous :



# 1. CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES

Un béton est un mélange intime de granulats (sable, gravillon, graviers et éventuellement cailloux) liés entre eux par une pâte de ciment (ciment + eau).

Tous les granulats ne conviennent pas pour faire un béton. D'où la nécessité d'employer des granulats de qualité et de dimension maximale, compatible avec une bonne facilité de mise œuvre.

Par ailleurs, le dosage en ciment est d'autant plus élevé que les grains sont plus fins. Autrement dit, la quantité de ciment nécessaire pour *coller* l'ensemble des constituants est proportionnelle à leur surface. En effet, si l'on considère la surface spécifique d'un granulats (surface totale des grains par unité de volume), cette surface décroît en fonction de la grosseur des grains.

Des lors, on comprend pourquoi il faut sélectionner soigneusement la quantité de granulats de chaque dimension pour optimiser le remplissage et minimiser la quantité de ciment : *c'est le but de la granulométrie.*

## 1.1. Courbe granulométrique

Il s'agit d'un graphique qui nous renseigne, pour une dimension  $d$  d'un granulats (portée en abscisse), sur le pourcentage en poids des grains de dimension inférieure (tamisât, passant) ou supérieure (refus) à  $d$ . La courbe est tracée en coordonnées semi-logarithmiques de façon à donner une représentation plus précise des éléments fins.

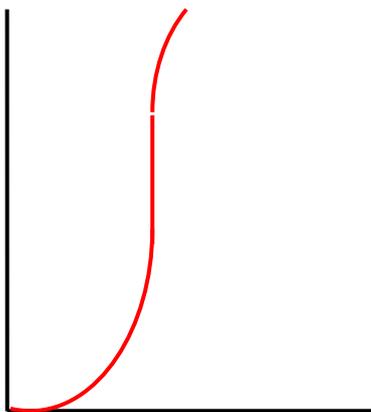
### 1.1.1. Interprétation des courbes

Soit  $d_x$  le diamètre pour lequel le tamisât est de  $x$  %. À titre d'exemple,  $d_{60}$  correspond au tamis pour lequel on obtient 60 % de passant. D'où, les expressions des paramètres définissant les caractéristiques des courbes granulométriques suivantes :

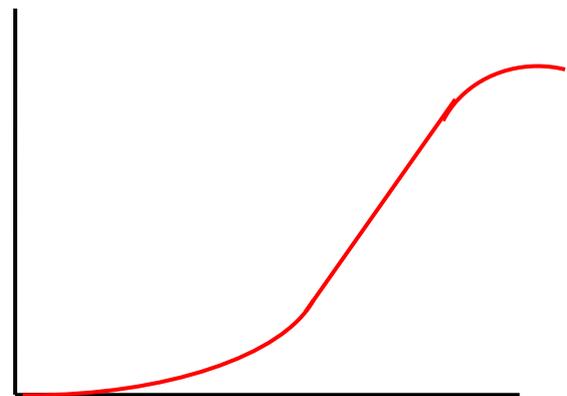
- Coefficient de Hazen ou coefficient d'uniformité :

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Ce coefficient permet de savoir si la granulométrie est étalée ou serrée, notamment en ce qui concerne les sables.



$C_U < 2$  : granulométrie serrée



$C_U > 2$  : granulométrie étalée



Par exemple, la figure ci-dessus fournit les indications suivantes :

- La courbe 1 : Sable à majorité de grains fins
- La courbe 2 : Sable normal
- La courbe 3 : Sable grossier
- La courbe 4 : Granularité discontinue

Les trois premières courbes correspondent à des sables 0/3 mm. Les proportions de grains fins ( $< 0,3$  mm) sont (à peu près) :

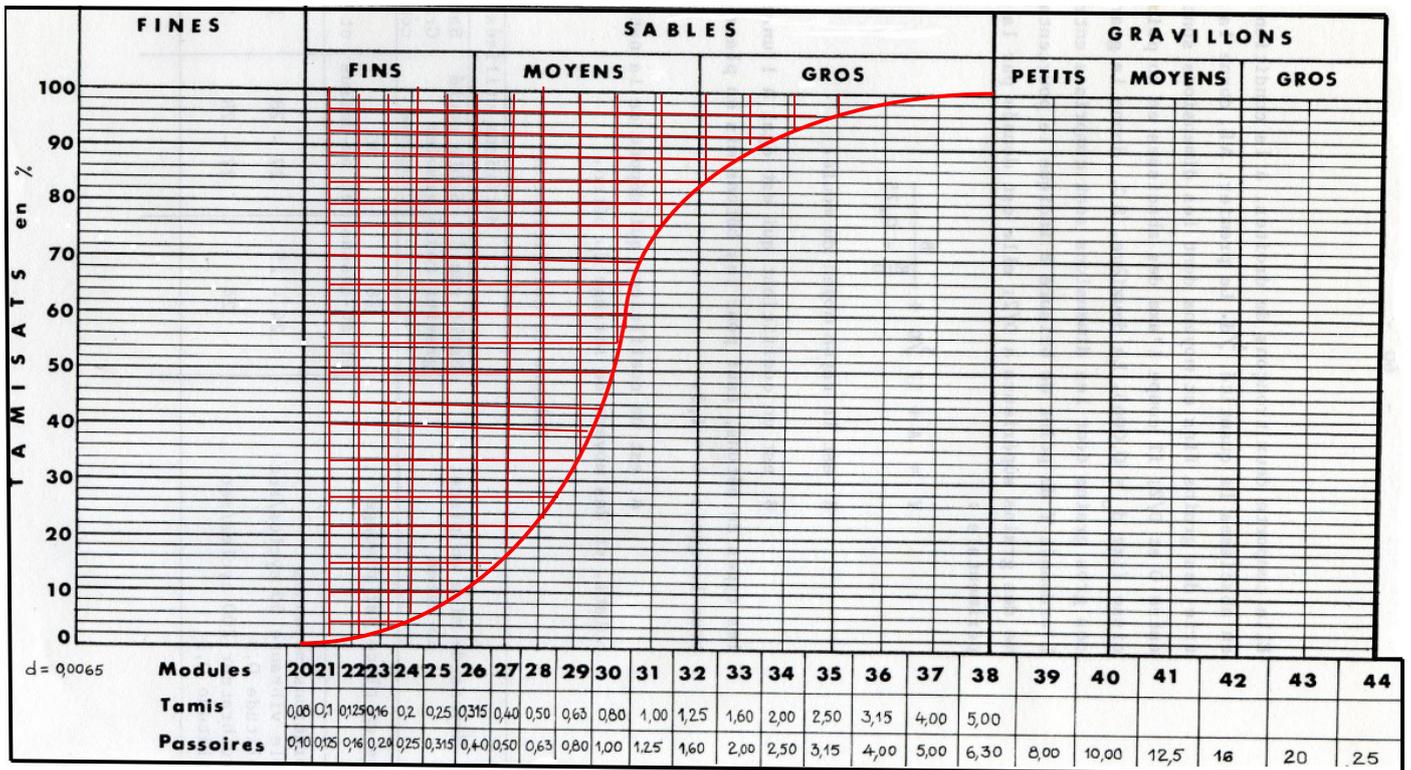
- 66 % → Courbe 1
- 44 % → Courbe 2
- 15 % → Courbe 3

Par ailleurs, ces trois courbes sont continues, alors que la courbe 4 présente un palier qui équivaut à un manque d'éléments intermédiaires (granularité discontinue). En effet, le palier s'étendant de 8 à 16 mm, signifie que le granulat en question ne contient pas de grains compris entre 8 et 16 mm.

## **1.2. Module de finesse d'un granulat**

### **1.2.1. Calcul du module de finesse**

À titre d'exemple, le calcul du module de finesse du sable représenté par la figure ci-après, se fait comme suit :



Refus sur le tamis :

- D = 0,16 mm → 96 %
- D = 0,315 mm → 88 %
- D = 0,63 mm → 66 %
- D = 1,25 mm → 16 %
- D = 2,5 mm → 4 %
- D = 5 mm → 0 %

Total = 270 % →  $M_F = \frac{1}{100} \times 270 = 2,7$  → Bon sable à béton

Le module de finesse correspond donc, à un coefficient près, à la surface hachurée.

### 1.2.2. Correction du module de finesse

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse compris entre 2,2 et 2,8. En-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et au-dessus, il lui manque des fines.

Supposons que l'on dispose d'un sable  $S_1$  de module de finesse  $M_{F1}$  fort et que l'on désire y ajouter un sable fin  $S_2$  de module de finesse  $M_{F2}$  afin d'obtenir un sable  $S$  dont le module de finesse optimal est  $M_F$ .

Pour réaliser ce mélange, on applique la règle d'Abrams qui stipule :

Si  $M_{F2} < M_F < M_{F1}$ , les proportions de  $S_1$  et  $S_2$  sont :

$$x_1 \% = \frac{M_F - M_{F2}}{M_{F1} - M_{F2}}$$

$$x_2 \% = \frac{M_{F1} - M_F}{M_{F1} - M_{F2}}$$

À titre d'exemple, si :

- $M_{F1} = 3,2$  (sable  $S_1$ )
- $M_F = 2$  (sable  $S_2$ )

On veut parvenir à un mélange de sable  $S$  ( $S = S_1 + S_2$ ) avec un module de finesse  $M_F = 2,5$ . En appliquant la règle d'Abrams, on obtient les proportions suivantes :

- Sable  $S_1 = \frac{2,5-2,0}{3,2-2,0} = 42 \%$
- Sable  $S_2 = \frac{3,2-2,5}{3,2-2,0} = 58 \%$

## 2. PROPRIÉTÉ DES GRANULATS

### 2.1. Propreté superficielle des granulats (> 5 mm)

L'essai est simple et rapide : on remplit un récipient avec une certaine quantité de matériau non lavé, on le dessèche, puis on le pèse :  $M_1 = 1200$  g (par exemple).

Le matériau est lavé à grande eau jusqu'à propreté parfaite, puis séché et pesé à nouveau :  $M_2 = 1150$  g

- Masse des impuretés :  $M_1 - M_2 = 50$  g
- Pourcentage d'impuretés :  $100 \times \frac{M_1 - M_2}{M_2} = 0,043 = 4,3 \%$

$M_1$  = masse du granulats sec avant lavage

$M_2$  = masse du granulats sec après lavage

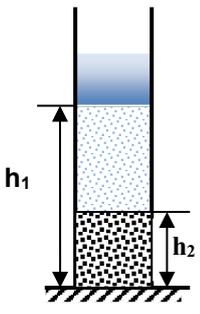
### 2.2. Sable à béton

La propreté peut se contrôler comme pour les graviers mais la mesure la plus pratiquée et la plus représentative reste l'essai d'équivalent de sable (ES).

Après agitation et décantation d'une certaine quantité de sable dans une solution lavante, on laisse décanter puis on mesure la hauteur  $h_2$  du dépôt de sable propre visible et  $h_1$  la hauteur totale y compris le floculat (fines en suspension). L'équivalent de sable est :

$$ES = 100 \times \frac{h_2}{h_1}$$

Le tableau ci-dessous représente la mesure de l'équivalent de sable pour 3 types de granulats et les commentaires qui en découlent des résultats.



	Sable	Fin	Normal	Grossier
Hauteur $h_1$ (mm)		6,9	8,4	16,2
Hauteur $h_2$ (mm)		6,4	63	10,2
ES		92,75	75	62,96
Commentaires		<b>Sable très propre :</b> L'absence de fines engendre un défaut de plasticité. Pour y remédier, il faut des dosages en ciment assez élevés, c'est-à-dire supérieurs à 350 kg/m <sup>3</sup> .	<b>Bon sable à béton</b>	<b>Sable impropre à la fabrication d'un bon béton :</b> Il y a risque de retrait ou de gonflement (sable légèrement argileux).

### 3. MASSE VOLUMIQUE - DENSITE - POROSITE - COMPACTITE

#### 3.1. Exemple 1

Supposons que l'on ait un récipient de volume  $V = 1,0 \text{ m}^3$  rempli de granulats. Soit  $M = 1650 \text{ kg}$  (masse du récipient + granulat). Si les grains constituant ce granulat occupent un volume  $V_S = 0,58 \text{ m}^3$  (volume de matières pleines), le volume des vides serait donc :

$$V_V = V - V_S = 1,0 - 0,58 = 0,42 \text{ m}^3$$

Les principales caractéristiques de ce granulat sont :

- Masse volumique apparente :  $\rho_{app} = \frac{M}{V} = \frac{1650}{1,0} = 1650 \text{ kg/m}^3$
- Masse volumique absolue :  $\rho_{abs} = \frac{M}{V_S} = \frac{1650}{0,58} = 2844,82 \text{ kg/m}^3 \sim 2845 \text{ kg/m}^3$
- Densité apparente :  $\gamma_{app} = \frac{1650}{1000} = 1,65$
- Densité absolue :  $\gamma_{abs} = \frac{2845}{1000} = 2,84$

#### 3.2. Exemple 2

Considérons un mélange granulaire et supposons que la masse nette d'un mètre cube de ce granulat non tassé est de 320 kg. On a :

- Masse volumique apparente :  $\rho_{app} = \frac{M}{V} = \frac{320}{1,0} = 320 \text{ kg/m}^3$
- Densité apparente :  $\gamma_{app} = \frac{320}{1000} = 0,32$

Si le volume occupé par les grains solides  $V_s$  est égal à 420 litres (volume des vides non compris), on a :

- Masse volumique par grain :  $\frac{320}{0,42} = 762 \text{ kg/m}^3$
- Densité des grains :  $\gamma_{\text{abs}} = \frac{762}{1000} = 0,762$

Si dans un grain le volume des pores représente les 59 %, la compacité (rapport du volume de matière pleine au volume total de grains) d'un grain est :

$$C = 1 - \frac{V_p}{V} = 1 - \frac{59}{100} = 0,41$$

La densité absolue de la matière constituant le grain est :

$$\gamma_{\text{abs}} = \frac{0,762}{0,41} = 1,86 \rightarrow \text{C'est approximativement la masse spécifique de la matière pleine, les pores non compris.}$$

### Remarque

Si l'on veut mesurer la masse volumique absolue d'un corps poreux, il faut le réduire en poudre suffisamment fine pour que chaque grain soit constitué de matière pleine.

## 4. FOISONNEMENT DU SABLE

L'humidité très variable des sables perturbe d'une part leur dosage volumétrique, et d'autre part la quantité d'eau contenue dans le béton frais. En effet, le sable approvisionné sur chantier n'est jamais sec : un dosage volumétrique entraîne donc une carence en matières solides et un excès d'eau préjudiciable à la fabrication du béton.

Par exemple, si la formulation d'une composition de béton réclame 400 litres de sable sec en volume apparent et que le prélèvement est réalisé en volume, on a :

- Si le sable est sec :  $0,400 \times 1450 = 580 \text{ kg}$
- Si le sable est humide ( $\omega = 5 \%$ ) :  $0,400 \times 1200 = 480 \text{ kg}$

On sait que :

$$M_s = \frac{M_h}{1 + \omega} = \frac{480}{1 + 0,05} = \frac{480}{1,05} = 457 \text{ kg de sable sec}$$

Dans le cas d'un dosage volumétrique de sable, il manquerait :

$$580 - 457 = 123 \text{ kg de sable sec}$$

Ce manque aurait pour effet la diminution de la compacité du béton, l'augmentation de la consommation en ciment et la chute de la résistance.