

CHAPITRE II: LES GRANULATS

II.1) Introduction:

Les granulats sont le constituant de base de la majorité des travaux de Génie Civil. Il est donc important de maîtriser l'ensemble de leurs propriétés (et influences); tant du point de vue de leurs élaborations, que de leurs utilisations (mise en œuvre); et ce, afin de maîtriser le coût tout en respectant les critères de qualité.

La nature et les gisements conditionnent les propriétés intrinsèques (résistance, porosité, etc..) des granulats. Par contre, les caractéristiques géométriques (granularité, forme, etc ...) et de propreté sont fonction du processus d'élaboration. Pour fabriquer des produits de qualités requises, les producteurs de granulats utilisent souvent des installations de plus en plus complexes, faisant appel à des technologies bien maîtrisées (fragmentation, séparation gravitaire, lavage,... etc.).

On appelle granulats des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ **80%** du poids total du béton. Ils sont constitués de Sables (Gros et Fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. Il y a deux intérêts d'utiliser des granulats dans le béton : le 1^{er} économique : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ; et le 2^{eme} technique : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigide que la pâte de ciment).

Le granulat étant un matériau lourd, le coût de transport est relativement élevé par rapport à sa propre valeur. Les sites de production sont donc naturellement implantés à proximité des lieux de consommation.

En fonction des systèmes de contrôles mis en place par les producteurs, les granulats peuvent désormais même faire l'objet d'une certification (**marque NF-Granulats**) basé sur la norme **XP P 18-545 (février 2004)** au même titre que n'importe quel produit manufacturé.

II.2) Classification des granulats selon la provenance:

II.2.1 Granulats naturels:

Granulats roulés : ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel. Ainsi ils se sont formés des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes.

Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

- *Les granulats de rivière (d'oued).

- *Les granulats de mer.

- *Les granulats de dunes.

N.B: Les granulats roulés se caractérisent par leur aspect de grains arrondis et polis.



Figure II.1 : différents types de granulats selon leurs natures.

II.2.2 Granulats concassés (de carrières):

Ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes, calcaires durs...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arêtes vives.



Figure II.2 : granulats concassés (artificiels).

Les granulats artificiels proviennent également de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut fourneau) ou de démolition d'ouvrages.

II.3) Classification des granulats selon la grosseur:

Selon leurs dimensions on distingue : les sables, les graviers, les cailloux, les galets et les moellons. Les dimensions soulignées sont celles de la série de base préconisée par la norme européenne (**NF EN 933-2**).

On distingue les familles de granulats suivantes:

II.4) Désignation des granulats:

Les granulats sont souvent désignés en fonction de leur plus petite et leur plus grande dimension comme suit:

Ganulat d/D

Ganulat : sable ou gravier

d : dimension minimale des grains

D : dimension maximale des grains

Avec une tolérance de 15% d'élément $< d$ et 15% d'élément $> D$ si

$D > 1.58d$ et une tolérance de 20% si $D < 1.58d$

Exemples : granulats rencontrés en pratique : sable 0/3, gravier 3/8, gravier 8/15, gravier 15/25.

II.5) Analyse granulométrique d'un granulat:

II.5.1 Objectif:

Les propriétés physiques et mécaniques du béton dépendent de beaucoup de facteurs. Ci-dessous une figure qui présente la compacité d'un mélange de grains fins et de grains grossiers.

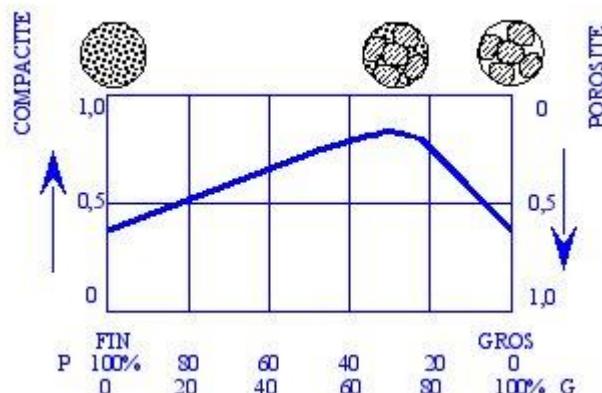


Figure II.3 : Compacité et porosité d'un mélange de grains fins et de grains grossiers.

Généralement on souhaite obtenir un béton résistant, étanche et durable. Pour atteindre cet objectif, il faut:

- que le béton à l'état frais soit facile à mettre en œuvre et à compacter (pour réduire la porosité).
- un maximum de granulats par unité de volume de béton (pour réduire la quantité de pâte liante nécessaire pour remplir les vides).
- un minimum de surface spécifique (pour réduire la quantité d'eau de gâchage et obtenir un rapport C/E plus élevé).

Par ailleurs :

- il faut choisir D_{max} aussi grand, en fonction de l'espacement minimum entre deux barres de ferrailles, que le permet la dimension de la pièce à bétonner et l'encombrement des granulats.
- la proportion de chaque dimension des grains doit être choisie de façon à remplir les vides laissés par les grains de dimensions supérieures.
- il faut réduire la teneur en éléments fins au minimum requis pour obtenir une bonne maniabilité et une bonne compacité.

Les courbes granulométriques apporteront quelques éléments de réponses à ces conditions.

Elle consiste à séparer les grains composant un granulat en classes selon leurs dimensions à l'aide d'une série de tamis, puis déterminer les pourcentages en poids des différentes classes dans le granulat.

II.5.2 Illustration:

On considère un échantillon de poids P d'un granulat. L'échantillon est mis dans le tamis supérieur d'une série de tamis classés par ordre décroissant selon la dimension des mailles (du plus grand en haut au plus petit en bas). Après vibration de la série de tamis, les grains de l'échantillon se trouvent séparés selon leurs dimensions et chaque tamis retient une partie dite Refus partiel du tamis. Le refus cumulé (total) d'un tamis est la somme de tous les refus partiels des tamis qui se trouve au dessus.

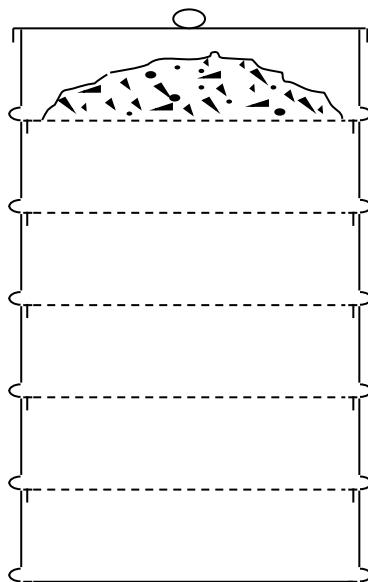


Figure II.4 : série de tamis classés par ordre décroissant.

La proportion (en %) du refus cumulé d'un tamis rapportée au poids total s'exprime :

$$\% \text{Refus} = \frac{\text{Poids_refus_cumulé}}{\text{Poids_echantillon}} \times 100$$

Le complément à 100% du refus cumulé est le Tamisât du tamis en considération.

$$\% \text{Tamisât} = 100\% - \% \text{Refus}$$

La courbe granulométrique est la représentation graphique du %Tamisât en fonction de la dimension de la maille du tamis. Afin de prendre en compte la grande variation des dimensions des grains dans granulat, la dimension de la maille du tamis est représentée sur une échelle logarithmique.

Ainsi la courbe granulométrique est : %Tamisât = f (log(d)), avec d : dimension de la maille du tamis.

Série de tamis utilisée dans l'essai granulométrique normalisé en (mm) :

0.08 ; 0.100 ; 0.125 ; 0.160 ; 0.200 ; 0.250 ; 0.315 ; 0.40 ; 0.50 ; 0.63 ; 0.80 ; 1.00 ; 1.25 ; 1.60 ; 2.00 ; 2.50 ; 3.15 ; 4.00 ; 5.00 ; 6.30 ; 8.00 ; 10.00 ; 12.50 ; 16.00 ; 20.00 ; 25.00 ; 31.50 ; 40.00 ; 50.00 ; 63.00 ; 80.00.

Le choix des tamis à utiliser dépend des dimensions du granulat à essayer.

Pour un sable par exemple, on peut prendre la série : 0.08 ;..... ; 5.00.

II.5.3 Exemple de tracé d'une courbe granulométrique:

Soit à effectuer l'essai granulométrique sur un sable. Prenons un échantillon du sable pesant **1000 grs**. Au regard des dimensions du sable on utilisera la série de tamis :

0.08 ; 0.125 ; 0.200 ; 0.315 ; 0.50 ; 0.80 ; 1.25 ; 2.00 ; 3.15 et 5.00mm.

Les refus partiels dans les différents tamis sont donnés sur le tableau suivant. Tracer la courbe granulométrique du granulat.

Tableau II.1 : résultats d'un essai granulométrique.

Tamis maille (mm)	Refus partiel (grs)	Refus cumulé (grs)	% Refus cumulé	% Tamisat
5.00	0			
3.15	10			
2.00	90			
1.25	100			
0.80	150			
0.50	150			
0.315	180			
0.200	120			
0.125	120			
0.08	80			

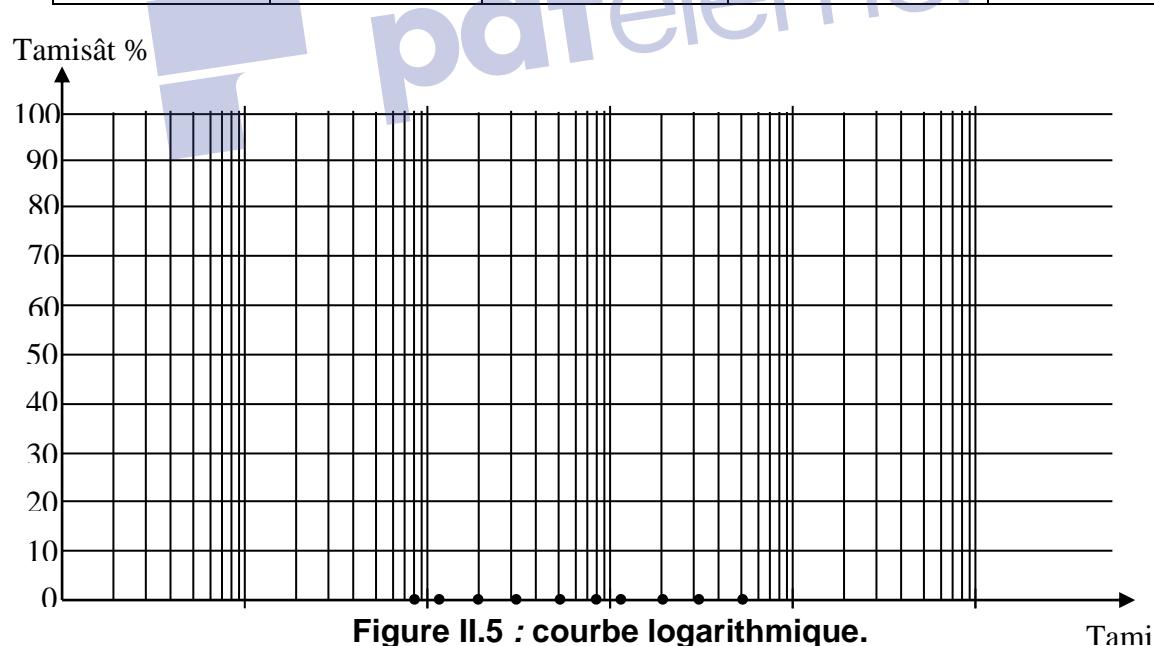


Figure II.5 : courbe logarithmique.

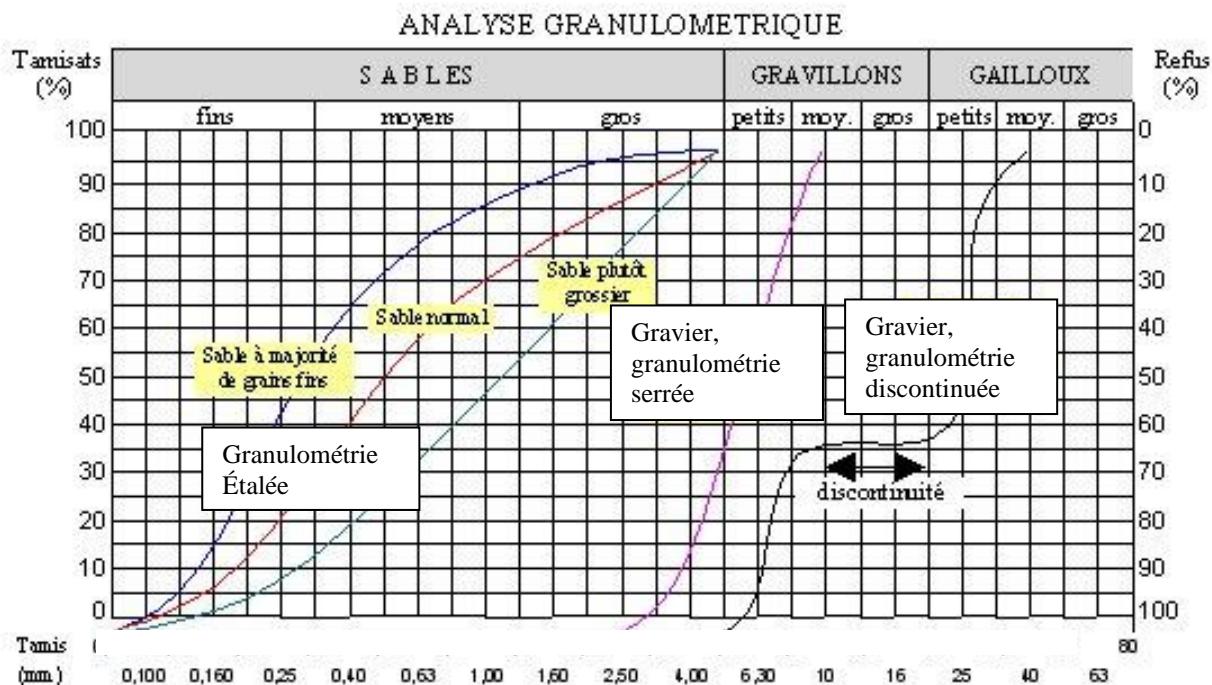


Figure II.6 : Quelques propriétés de la granulométrie tirées de courbes granulométriques.

II.6) Propriétés importantes des granulats intervenants dans la composition des bétons:

La composition d'un béton est décrite par une formule montrant les quantités relatives des différents composants qui en interviennent.

Exemple : pour 1 m³ de béton on prend :

- **350 kg** de ciment
- **1100 kg** de gravier
- **550 kg** de sable
- **190 Litre** d'eau

Dans la recherche d'une formule pour béton, on doit tenir compte que :

- Les granulats sont moins chers que les ciments (les liants en général).
- Les granulats sont souvent plus résistants que la pâte de ciment.
- Les granulats (matériau inerte) augmentent la stabilité dimensionnelle du béton (retrait, fluage).

Par conséquent, dans le composé béton, Il faut augmenter au maximum la quantité de granulats relativement à la quantité de ciment, en respectant toutefois les conditions suivantes :

Les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité (résistance mécanique).

La quantité de pâte liante doit être suffisante pour lier tous les grains et remplir les vides.

Les granulats doivent contenir différentes dimensions afin de minimiser les vides intergranulaires.

Toutefois il faut essayer d'augmenter la proportion des gros granulats pour minimiser la surface spécifique du mélange granulats et par conséquent utiliser le minimum de la quantité de ciment.

II.6.1 Courbe granulométrie:

C'est l'outil de base qui permet le choix de la composition d'un béton performant ayant les caractéristiques citées en haut.

II.6.2 Masse volumique apparente:

Les quantités des granulats intervenant dans une composition de béton, sont données en terme de masses (masses de granulats secs).

En pratique dans la fabrication, on compose le béton très souvent en mesurant des volumes au lieu de masses (exemple : 1 brouette, 2 brouettes...etc). Il est ainsi important de connaître la masse volumique apparente des granulats :

$$\rho_{apparente} = \frac{M}{V_{apparent}}$$

M : masse d'un échantillon de granulat de volume apparent

Remarque : Cette méthode de composition en volume présente des erreurs certaines à cause du foisonnement. En effet, La masse volumique apparente peut changer beaucoup pour un même granulat en fonction de sa compacité (foisonnement).

II.6.3 Teneur en eau:

La teneur en eau d'un granulat est le rapport du poids d'eau contenu au poids des grains composant le granulat

$$W = \frac{E}{P_s} = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

E = Poids d'eau dans le matériau.

P_s = Poids du matériau sec.

P_h = Poids matériau humide

Si W est exprimé en % :

$$W\% = 100 \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

Les granulats utilisés pour la confection du béton contiennent généralement une certaine quantité d'eau variable selon les conditions météorologiques. L'eau de gâchage réellement utilisée est par conséquent égale à la quantité d'eau théorique moins l'eau contenue dans les granulats. Il faut par conséquent disposer de moyens pour mesurer combien il y a d'eau dans les granulats.

II.6.4 Propreté des granulats:

Les granulats employés pour le béton peuvent contenir des impuretés (argile, matières organiques...etc) qui perturbent l'hydratation du ciment et entraînent une mauvaise adhérence entre les granulats et la pâte. Ceci se vérifie sur le chantier par les traces qu'elles laissent lorsqu'on les frotte entre les mains. Le degré de propreté est déterminé à l'aide de l'essai d'équivalent de sable. Les granulats qui ne sont pas propres doivent être lavés avant l'utilisation.

II.6.5 Le coefficient d'aplatissement:

Le coefficient d'aplatissement d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation suivante :

$$\frac{G}{E} > 1,58$$

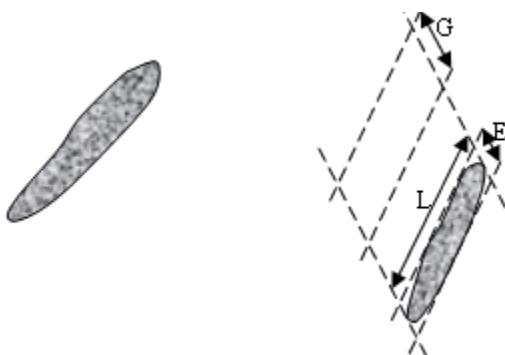


Figure II.6 : forme et dimensions d'un granulat.

Dans les mêmes conditions $L \leq G \leq E$, on peut déterminer aussi :

- l'indice d'allongement $\beta = \frac{G}{L} \leq 1$
- l'indice d'aplatissement $\alpha = \frac{E}{G} \leq 1$

II.6.6 La forme des granulats influence:

La facilité de mise en œuvre et le compactage du béton et La compacité du mélange, donc le volume des vides à remplir par la pâte de ciment.

II.6.7 L'état de surface des grains influence:

La compacité du mélange et l'adhérence du granulat à la pâte de ciment et La forme est d'autant meilleure qu'elle est proche d'une sphère ou d'un cube.

II.6.8 Caractéristiques mécaniques:

Les caractéristiques mécaniques des granulats sont déterminées par des essais tentant de reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats, par exemple le degré d'usure pour les granulats utilisés pour les bétons routiers. C'est un essai dont le principe est de reproduire, dans un cylindre en rotation, des phénomènes d'usure. Les modalités de cet essai font l'objet de la norme **NF P 18-572**.

L'essai **Micro Deval** : Le principe de cet essai est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. Il fait l'objet de la norme **NF P 18-573**.

Le coefficient **Los Angeles** calculé à partir du passage au tamis de **1,6 mm**, mesuré en fin d'essai, caractérise le granulat. Pour les granulats susceptibles d'être soumis aux effets du gel, on peut mesurer le coefficient Los Angeles après une série de **25 cycles gel/dégel (-25 °C, +25 °C)** et le comparer au coefficient de référence.