CHAPITRE 01: TECHNOLOGIE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

1.1- LES GRANULATS

A- Définition

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 1er économique** : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ;
- **la 2eme technique :** Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment)

B- Classification des granulats selon la provenance

B.1- Granulats naturels

B.1.1-Granulats roulés

Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel.
Ainsi ils se sont formé 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.





B.1.2GRANULATS CONCASSES (DE CARRIERES)

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



B.2- Granulats artificiels

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

C- LES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS

On peut partager les caractéristiques des granulats en deux catégories suivantes :

- ✓ les caractéristiques géométriques.
- ✓ les caractéristiques physiques.
- ✓ les caractéristiques chimiques.
- ✓ les caractéristiques mécaniques.

C.1- LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GRANULATS

C.1.1- CLASSE GRANULAIRE

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

Granulat d/D : sable ou gravier.

d : dimension minimale des grains.

D : dimension maximale des grains.

Les dimension D/d sont déterminées à partir d'une série des tamis normalisé Ces dimensions nominales (d ou D, en mm) sont normalisées comme ensuite :

0,080 ; 0,100 ; 0,125 ; 0,160 ; 0,200 ; 0,250 ; 0,315 ; 0,400 ; 0,500 ; 0,630 ; 0,800 ;
1,000 ; 1,250 ; 1,600 ; 2,000 ; 2,500 ; 3,150 ; 4,000 ; 5,000 ; 6,300 ; 8,000 ; 10,00 ;
12,50 ; 16,00 ; 20,00 ; 25,00 ; 31,50 ; 40,00 ; 50,00 ; 63,00 ; 80,00

La terminologie usuelle des granulats, selon leurs dimensions nominales est indiquée dans la norme NFP 18.101 comme suite :

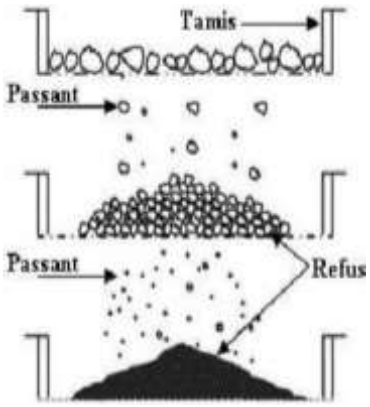
APPELATION		MAILLE DES TAMIS
Fillers, farines ou fines		< 0,08 mm
Sables	- Fins	0,08 à 0,31
	- Moyens	0,31 à 1,25
	- Gros	1,25 à 5,00
Gravillons	- Fins	5,00 à 8,00
	- Moyens	8,00 à 12,50
	- Gros	12,50 à 20,00
Cailloux	- Fins	20,00 à 31,50
	- Moyens	31,50 à 50,00
	- Gros	50,00 à 80,00
Moellons et galets		> 80 mm



C.1.2- Granulométrie : (Essai de l'Analyse granulométrique d'un granulat)

But de l'essai :

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat.



Objectif :

L'analyse de granulométrie consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à maille carrée, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées de 0,08 à 80 mm.

On appelle :

- ✓ **REFUS** sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- ✓ **TAMISAT** (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

Illustration :

On considère un échantillon de poids P d'un granulat.

L'échantillon est mis dans une série de tamis classés par ordre décroissant selon la dimension des mailles 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.

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

$$Refus\ (\%) = \frac{Poids\ refus\ cumulé}{Poids\ echantillon} \times 100\%$$

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

$$\text{Tamisât}\ (\%) = \frac{Poids\ \text{tamisât}\ cumulé}{Poids\ echantillon} \times 100\%$$

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.

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.

Exemple de tracé d'une courbe granulométrique :

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

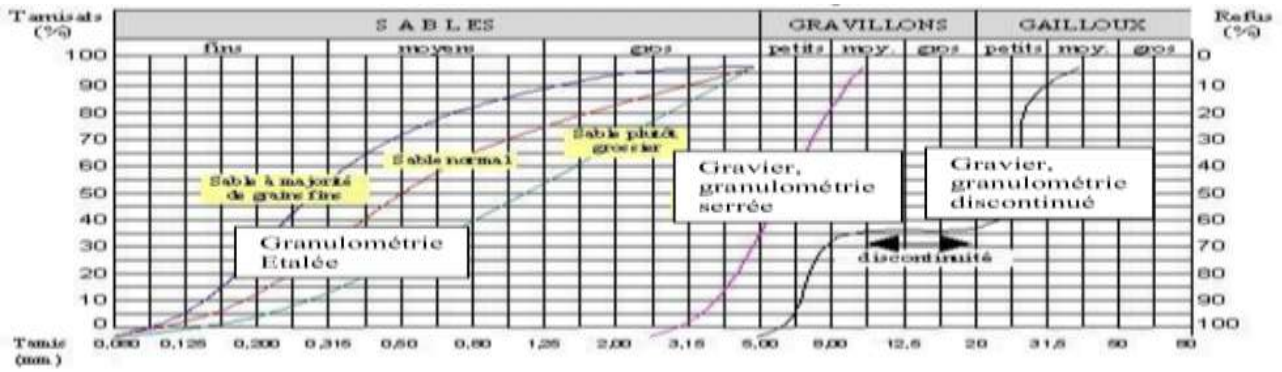
0.08 ; 0.125 ; 0.200 ; 0.315 ; 0.50 ; 0.80 ; 1.25 ; 2.00 ; 3.15 et 5.00mm.

Les refus partiels dans les différents tamis sont donnés sur le tableau suivant.

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			
0,20	120			
0,125	120			
0,08	80			

- Tracer la courbe granulométrique du granulat.

Quelques propriétés de la granulométrie tirées des courbes granulométriques :



Module de finesse : (pour le Sable)

Définition :

Le module de finesse d'un granulat est égale au 1/100 ème de la somme des refus, exprimés en pourcentages de poids sur les différents tamis de la série

La relation de calcul est : $M_f = \sum \frac{Refus\ cumulés(0{,}16-0{,}315-0{,}63-1{,}25-2{,}5-5)}{100}$

On peut constater que le module de finesse sera d'autant plus petit que le granulat sera plus riche en éléments fins.

Les essais ont montré que les sables ayant un module de finesse voisin de 2,5 ($2{,}2 \leq M_f \leq 2{,}8$); donne les meilleurs résultats pour la fabrication du béton.

La correction du sable :

Si le sable possède un M_f plus ou moins que l'intervalle de (2,2/2,8) il y a une possibilité de corrigé notre sable comme suite :

$$G_1(\%) = \frac{M_f - M_{f2}}{M_{f1} - M_{f2}} \times 100$$

$$G_2(\%) = \frac{M_{f1} - M_f}{M_{f1} - M_{f2}} \times 100$$

M_{f1}, M_{f2} module de finesse du sable G_1 ; G_2 ; M_f module de finesse souhaitable.

Exemple :

Soit un sable(1) d'un module de finesse M_f =1,7 et un sable(2) d'un module de finesse M_f =3,1

- Pour obtenir un sable référence d'un module de finesse M_f =2,5 ; Quelle est les proportions du chaque sable ?

C.1.3- Coefficient d'aplatissement

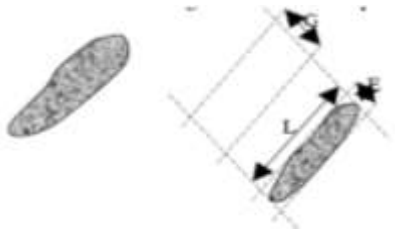
La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

La longueur L,

L'épaisseur E,

La grosseur G, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

Le coefficient d'aplatissement A d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation: $\frac{G}{E} > 1{,}58$



NB :

Un granulat de forme anguleuse est préjudiciable à une bonne maniabilité du béton, à la compacité et à la résistance mécanique des mortiers et bétons.

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.

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.

C.2- Caractéristiques physiques.

C.2.1- Masse volumique

On appelle masse volumique d'un matériau: la masse de l'unité de volume.

On définit, suivant l'état du matériau:



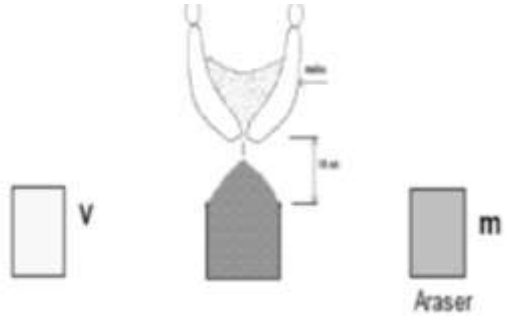
Représentation schématique des différents paramètres caractéristiques des granulats, liés aux trois phases.

Suite à la représentation à dessus on devise la masse volumique à 02 types :

C.2.2- MASSES VOLUMIQUES APPARENTES :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

Elle est comprise entre 1400 et 1600 kg /m³.



ESSAI:(voir le schéma)

• La masse volumique apparente est donnée par: $\rho_{ap} = \frac{m}{V}$

- *m:masse du matériau seul ; V : volume de tas*

• L'essai est répété 5 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.

La masse volumique se devise à trois classes :

1- la masse volumique naturelle (humide) à la réception du matériau :

$$\rho_h = \frac{M_h}{Vt}$$

2- la masse volumique sèche :

$$\rho_s = \frac{M_S}{Vt}$$

3- la masse volumique saturée (après saturation des granulats) :

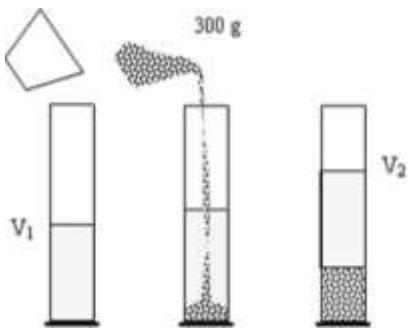
$$\rho_{sat} = \frac{M_{Sat}}{Vt}$$

C.2.2- MASSES VOLUMIQUES ABSOLUE :

La masse volumique absolue ρ_{ab} est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

Elle est comprise entre 2500 et 2600 kg /m³.

$$\rho_{ab} = \frac{M_S}{Vs}$$



- **Comment déterminés la masse volumique**

Méthode de l'éprouvette graduée

Cette méthode est très simple et très rapide. Toutefois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats (300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Lire le nouveau volume V2.

La masse volumique absolue est :

$$\rho_{ab} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

C.2.4- Teneur en eau(w) :

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec.

On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

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

E = Poids d'eau dans le matériau.

P_s = Poids du matériau sec.

P_h = Poids matériau humide

Si W est exprimé en % :

$$W\% = 100\,\frac{Ph - P_s}{P_s}$$

C.3- LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES-CHIMIQUES DES GRANULATS (LA PROPRETE DES GRANULATS)

Les granulats employés pour le béton doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment, dans ce cas les agrégats utilisés pour le béton doivent être respectés quelques indices de propretés

C.3.1- Propreté de sable (équivalent de sable)

Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par un essai appelé "équivalent de sable " qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage.

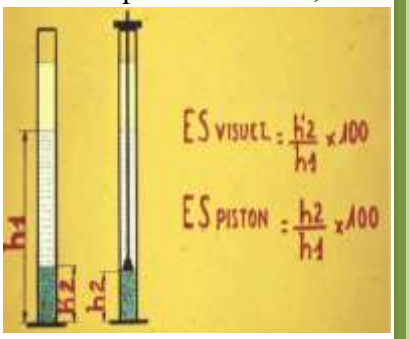
Définition et But de l'essai.

Permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins.

Pour un béton, ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gênent l'adhérence avec les agrégats.

Principe.

L'essai est effectué sur 120g du matériau, on lave l'échantillon et on laisse reposer le tour pendant 20 mn, et on mesure les éléments suivant :



On déduit l'équivalant de sable : **ES = h2/h1*100**

ES : Equivalent de sable

h1 : Hauteur sable propre + éléments fines.

h2 : Hauteur sable propre seulement.

la hauteur **h2** est mesurée visuellement ou à l'aide du piston en détermine: ESV_{visuel} ; / ESP_{piston}

Le lavage à l'eau ne donnerait pas des résultats précis et fidèles lors de l'essai.

On utilise une solution spéciale qui permet la floculation des éléments fins et en régularise la sédimentation.

Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX :

PS	Nature et qualité du sable
< 60	"Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60≤PS<70	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
70≤PS<80	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
PS>80	"Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Exemple :
Soit le tableau qui donne les résultats de $\mathbf{h_1}$; $\mathbf{h_2}$ des déférentes essais d'équivalent de sable suivant :

N° : essais	ES visuel			ES piston		
	h_1(cm)	**h_2(cm)**	**Valeur ESV (%)**	**h_1 (cm)**	**h_2 (cm)**	**Valeur ESP (%)**
01	13,3	10,8	81,20	14.1	10.2	72,34
02	12,1	9,9	81.81	15.2	9.6	63,15
03	13,4	11,1	82,83	14.1	8.8	62,41
04	11,8	10,2	86,44	12.3	10	81,30

1- Compléter le tableau.

C.3.2- Propreté de gravier

Comme les sables, les graviers doivent être propres avant leur utilisation dans la fabrication des bétons.

Essai de propreté de gravier

Principe :

Contrairement aux sables, les graviers présentant des classes granulaires relativement grossières.
Ainsi, le principe de séparation des agrégats des éléments fins ne se fera pas par sédimentation mais par lavage.

Matériel utilisé :

Tamis de maille 0.5 mm et un sceau d'eau.

Mode opératoire.

- Peser une quantité de gravier sec soit M0 et le placer dans le tamis,
- Laver l'échantillon jusqu'à ce que l'eau qui traverse le tamis soit claire,
- Essuyer l'excès en eau à l'aide d'un chiffon et peser la nouvelle masse, soit M_1

Calculer la propreté : $P(\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\%$

Le gravier est propre si P (quantité d'éléments fins) ≤ 5%.

Exemple :

Soit un gravier de classe granulaire G : 8/15 de masse sec M_0=3kg, nous lavons cette échantillon dans un tamis de 0,5mm et séchons le gravier lavé dans un étuve, le poids sec lavé est M_1=2,93kg

- commenter a la propreté du gravier ?

C.4- LES CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES GRANULATS

Les caractéristiques mécaniques des granulats ne sont pas déterminées par des essais habituels de traction ou de compression, mais par des essais tenant de reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats, par exemple de degré d'usure pour les granulats utilisés pour les bétons routiers.

C.4.1- LA RESISTANCES A LA FRAGMENTATION : (essai de los Angeles)

Principe et but de l'essai :

- L'essai **LOS ANGELES** est destiné à évaluer la résistance des granulats à la fragmentation.

- L'essai LOS ANGELES sert à déterminer la résistance à l'abrasion des gros granulats c'est-à-dire leur résistance à la fragmentation par choc et à l'usure par frottement réciproque.

MATÉRIEL UTILISE :

- ✓ **Un tambour :** c'est un tube cylindrique dans lequel est effectué le mélange
- ✓ **Les boulets :** ils administrent au matériau des chocs durant la rotation du tambour
- ✓ **La balance :** sert à effectuer les différents pesés

- ✓ **Un tamis :** sert à déterminer le diamètre du matériau voulu
- ✓ **Un chronomètre :** sert à déterminer la durée de l'essai
- ✓ **Un récipient**



Le tambour



Les boulets



Tamis de 1,6 mm



Un récipient

MODE OPÉRATOIRE :

- ✓ Un échantillon (lave sur un tamis de 1.6mm) de masse sèche à 5000 g ± 5 g (M0) est placé dans un tambour contenant 11 boulets d'acier normalisés.
- ✓ le tambour effectue 500 tours à une vitesse de 31 à 33 tours/min.
- ✓ La friction des granulats entre eux et des granulats contre les boulets et les parois du tambour provoque leur dégradation plus ou moins accrue.
- ✓ L'échantillon est ensuite retiré est lavé au-dessus d'un tamis avec des mailles de 1.6 mm .
- ✓ On pèse le refus après séchage (M1).
- ✓ Le Coefficient Los Angeles (LA) : **LA = 100*(Mo – M1)/Mo**

Mo : masse initiale de l'échantillon ; **LA** : correspond au pourcentage de fines produit par l'essai.

Interprétation des résultats :

VALEURS REPERES	
COEFFICIENT LOS ANGELES	*APPRECIATION*
< 15	Très bon à bon
15 à 25	Bon à Moyen
25 à 40	Moyen à Faible
> 40	Médiocre

Exemple

Soit l'échantillon de poids M**o=**8000 gr

Si on suppose que le poids de cette échantillon après la passation au l'appareil de los Angeles et le tamis 1.6mm (lavage par l'eau) est : 6000 gr

- Quel est le coefficient LA ?

C.4.2- LA RESISTANCES A L'usure (Essai Micro-Deval):

Principe de l'essai :

L'essai Micro-Deval (MDE) permet de déterminer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat. Sont soumis à un cycle d'usure, en présence d'eau, par contact avec des billes d'acier à l'intérieur d'un cylindre en rotation.

Le coefficient Micro-Deval obtenu est le pourcentage de l'échantillon initial passant au tamis de 1.6 mm après usure.

Plus le pourcentage d'usure est bas, plus l'échantillon est résistant à l'usure.

45% est la limite entre les sols durs et les sols friables.


Appareil MDE


Tambour avec billes en acier

Mode opératoire :

1- Prise d'essai un poids **M** (lavée sur un tamis de 1.6mm) et séchée

2- Mise en place dans un tambour avec 5kg de billes métalliques calibrées et 2.5 litres d'eau.

3- Appliquer une rotation de 12 000 tours au tambour à la vitesse de 100 tours/minute.

4- Retirer alors la prise de l'essai, pour lavage au-dessus d'un tamis de 1.6mm.

5- Peser le refus (m) à ce tamis après séchage

Calcul du MDE :

Calculer alors le coefficient MDE pour chaque cylindre de cette façon :

MDE = (M - m) / M

Avec m masses du refus à tamis1.6 mm

VALEURS REPERES	
MICRO-DEVAL EN PRESENCE D'EAU	APPRECIATION
< 10	Très bon à bon
10 à 20	Bon à moyen
20 à 35	Moyen à faible
> 35	Médiocre