

Le Contenu de chapitre 2:

Ce chapitre traite du granulat qui est un composant important intervenant dans la fabrication du béton.

Après avoir défini les granulats, nous parlerons de l'analyse granulométrique qui apportera des renseignements essentiels sur les composants pour obtenir un béton résistant, étanche et durable.

nous présenterons une classification des granulats en fonction du diamètre des grains.

Ensuite les différents types de granulats seront présentés parmi les granulats naturels et artificiels.

Enfin, abordera les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats, et les Expériences décriront comment effectuer une analyse granulométrique en laboratoire ainsi que différents essais pour mesurer les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats.

2.1. Introduction :

Définition : On appelle granulat un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, de provenance naturelle ou artificielle, destinés à la confection :

- des mortiers, des bétons.
- des couches de fondation, des couches de base et de roulement des chaussées, et des assises et des ballasts de voies ferrées.
- Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D . Le premier désigne le diamètre minimum des grains d et le deuxième le diamètre maximum D .
- Lorsque d est inférieur à 0.5 mm, le granulat est désigné $0/D$.
- Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm.

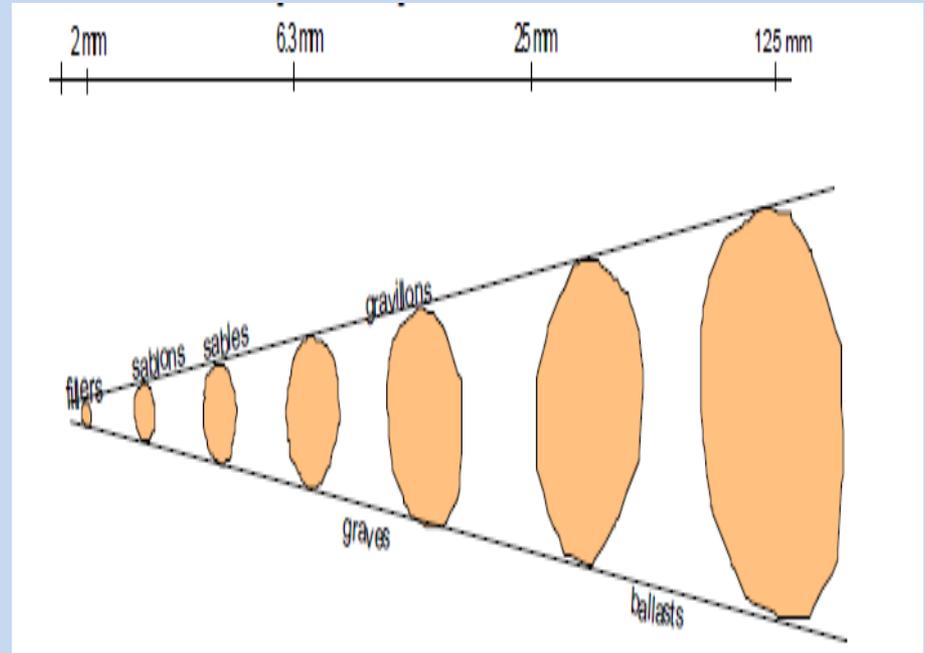
Les granulats utilisés dans les travaux de construction doivent répondre à des impératifs de qualité et des caractéristiques propres à chaque usage. Les granulats constituent le squelette du béton et ils représentent, dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton.

Les granulats sont nécessaires pour la fabrication des bétons; du point de vue économique, car ils permettent de diminuer la quantité de liant qui est plus cher; et du point de vue technique, car ils augmentent la stabilité dimensionnelle (retrait, fluage) et ils sont plus résistants que la pâte de ciment. Il faut par conséquent, augmenter au maximum la quantité de granulats, en respectant toutefois les deux conditions suivantes:

- Les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité.
- La qualité de pâte liante doit être suffisante pour lier tous les grains et remplir les vides.

2.2. classification des granulats selon leurs dimensions :

Les granulats sont appelés: fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballast suivant leurs dimensions.



- filler 0/D** $D < 0.08\text{mm}$ et les passants à un tamis de $0.063\text{ mm} > 70\%$
- sablons 0 / D** $D < 1\text{mm}$ et passant à $0.063\text{ mm} > 70\%$
- sables 0 / D** $1 < D < 6.3\text{ mm}$
- graves 0 / D** $D > 6.3\text{ mm}$
- gravillons d / D** $d \geq 1\text{mm}$ et $D \leq 31.5\text{ mm}$
- ballasts d / D** $d \geq 25\text{ mm}$ et $D \leq 50\text{ mm}$

2.3. types de granulats

2.3.1 Les granulats naturels

Granulats roulés et granulats de carrières

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories:

1. Les granulats alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension.

Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires.

2. Les granulats de carrière sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donnent des formes angulaires. Une phase de précriblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées.

Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres: origine de la roche, degré de concassage ...etc . La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon.

Les granulats alluvionnaires





Les Sables Alluvionnaires Roulés



Les Gravier Alluvionnaires Roulés



Les Galets

Les granulats de carrière



Video



Sable de carrière



Gravier de carrière

2.3.2. Les granulats artificiels

a. Sous-produits industriels, concassés ou non

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau. La masse volumique apparente est supérieure à 1 250 kg/m³ pour le laitier cristallisé concassé, 800 kg/m³ pour le granulé. Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers.

b. Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux).

c. Granulats allégés par expansion ou frittage

Ces granulats, très utilisés dans de nombreux pays comme les Etats- Unis,, bien qu'ils aient des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressantes. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé et le laitier expansé). D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m³ selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Les grains de poids intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³.



le laitier cristallisé concassé



Granulats ferreux



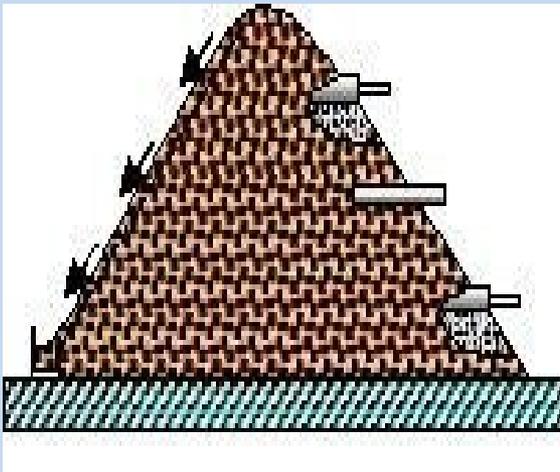
Schiste expansé

2.4. les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats :

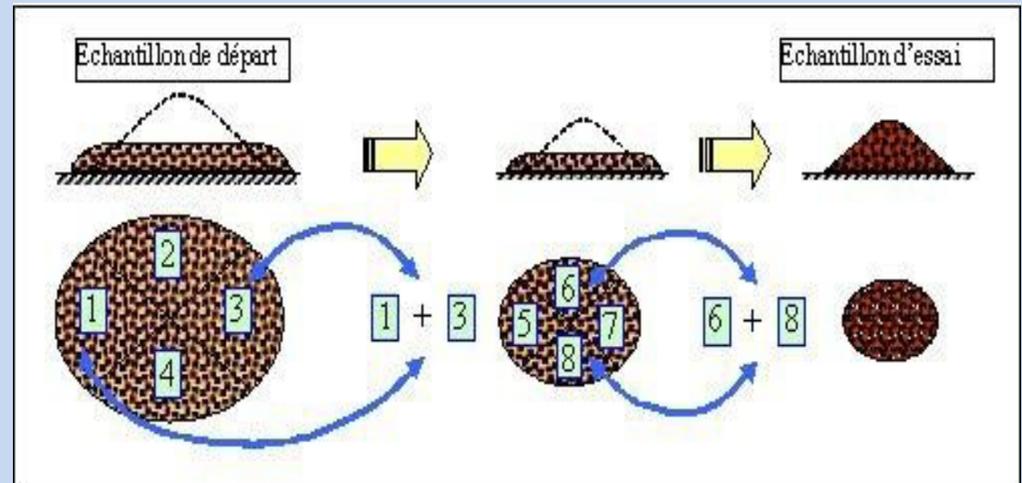
La qualité des granulats peut être appréciée à travers divers essais de laboratoire :

- analyse granulométrique
- coefficient d'aplatissement : A
- Module de finesse : MF
- Propreté : P , Valeur au Bleu : VB
- Los Angeles : LA
- Micro Deval : MDE

. Il faut que l'échantillon utilisé au laboratoire soit représentatif de l'ensemble. Cette opération est généralement difficile, prend du temps et, parfois est coûteuse, mais elle est essentielle.



Matériaux en stock



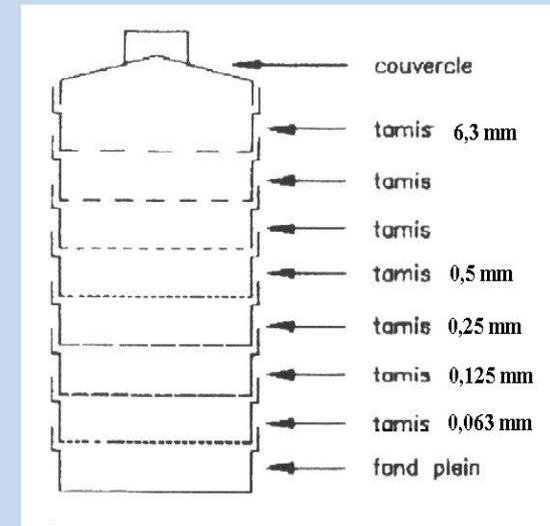
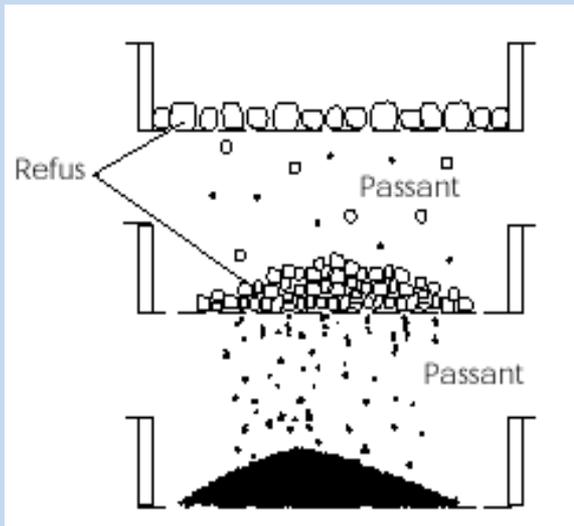
2.4.1. *les caractéristiques physiques*

A. Courbes granulométriques:

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 125 mm. On appelle :

REFUS sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.

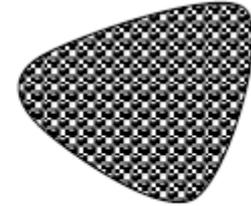
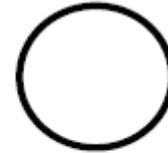
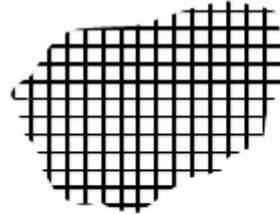
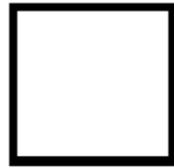
TAMISAT (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.



Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. La série principale :

0.063 -0.125 -0.25 -0.5 -1 -2 -4 -8 16 -31.5 ...



Maille du tamis

Maille du passoire



Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis et après lavage des grains pour éliminer la poussière .

On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas de plus de 1 % entre deux séquences de vibration de la tamiseuse. On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisats sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

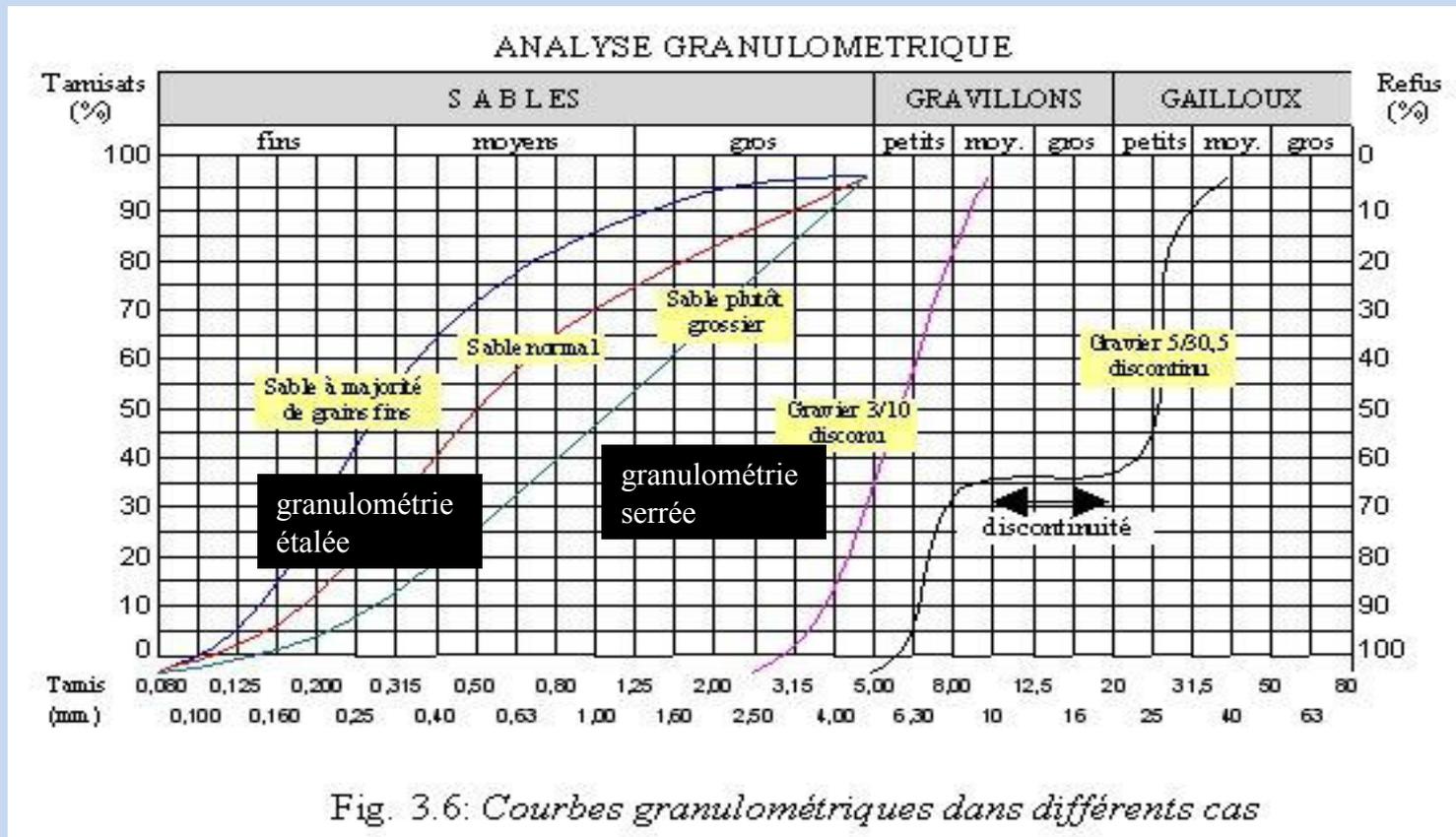


Fig. 3.6: Courbes granulométriques dans différents cas

La forme des courbes granulométriques apporte les renseignements suivants:

La plus ou moins grande proportion d'éléments fins, par exemple la courbe située au-dessus de celle du sable normal correspond à un sable à majorité de grains fins et c'est l'inverse pour celle située en dessous. En effet, ces trois sables sont des sables 0/5 mm mais les proportions de grains fins (<0,5 mm par exemple) sont pour chacun d'eux: 25%, 45% et 60%.

□ La continuité ou la discontinuité de la granularité; par exemple, les courbes de sables sont continues mais la courbe du gravier 5/31,5 présente une discontinuité; en effet le palier s'étendant de 10 à 20 mm signifie que le granulat en question ne contient pas de grains compris entre 10 et 20 mm.

□ Coefficients de Hazen (d'uniformité) et courbure

• Coefficient d'uniformité ou de Hazen :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

• Coefficient de Courbure :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

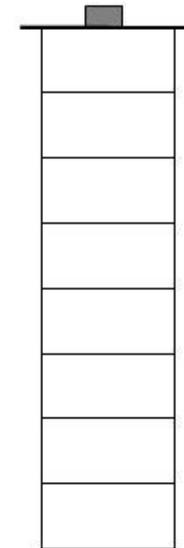
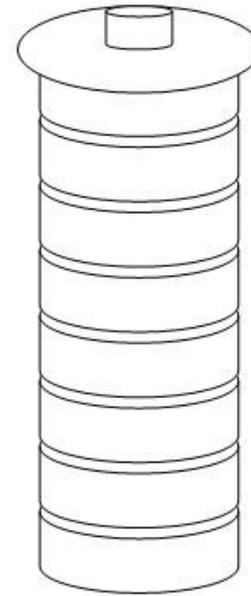
D10, D30, D60 représentent respectivement les diamètres des éléments correspondant à 10%, 30%, 60% de tamisat cumulé.

D'après Caquot et Kérisel :

- pour $C_u < 2$ la granulométrie est dite uniforme *ou serrée*
- pour $C_u > 2$ la granulométrie est dite étalée
- Pour : $1 < C_c < 3$ la granulométrie est dite bien graduée (continuité bien répartie)
- Pour : $1 > C_c > 3$ la granulométrie est dite mal graduée (continuité mal répartie)

Video 





- 5mm
- 2mm
- 1mm
- 0.5mm
- 0.315mm
- 0.1mm
- 0.08mm
- fond étanche

figure.1

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisé cumulés (%)
5	000.0	000.0	00.00	100
2.5	161.0	161.0	16.10	83.90
1.25	136.0	297.0	29.70	70.30
0.63	177.0	474.0	47.40	52.60
0.315	304.0	778.0	77.80	22.20
0.16	152.0	930.0	93.00	07.00
0.08	054.0	984.0	98.40	01.60
fond	007.5	991.5	99.15	00.85

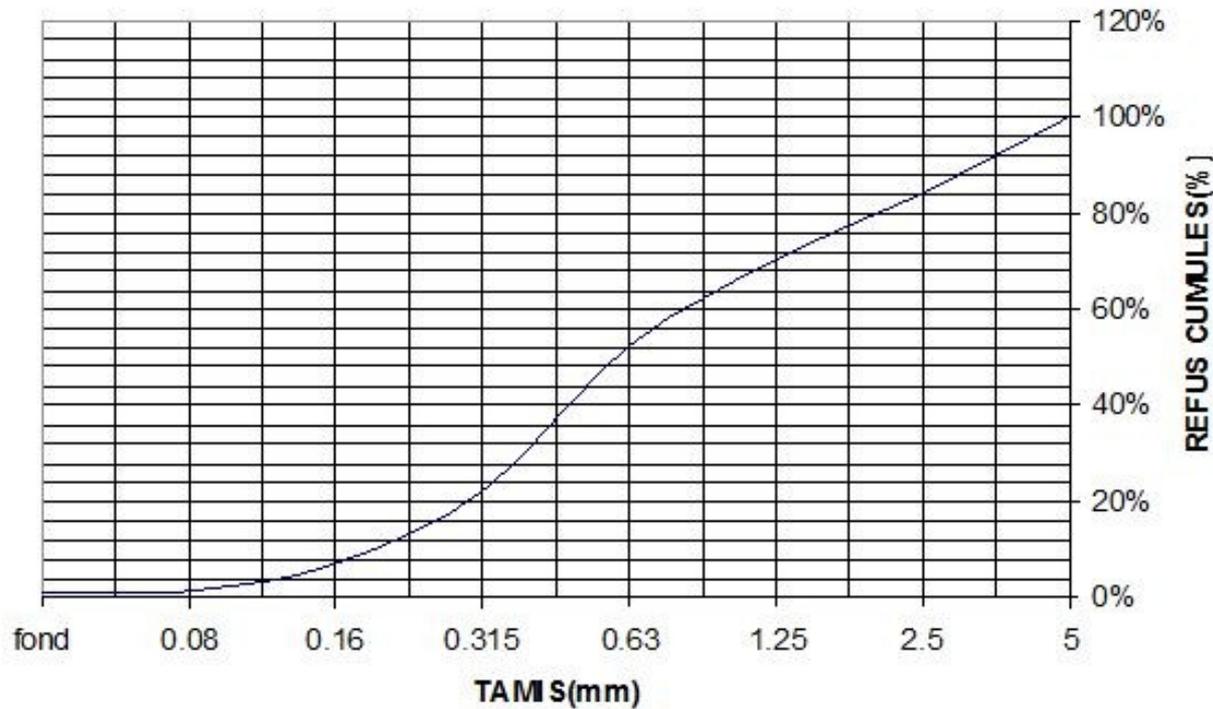
On a :

$$S = R_n + P = 991.5 + 7,5 = 999g$$

$$\text{La perte} = ((M - S) / M) \cdot 100 = ((1000 - 999) / 1000) \cdot 100 = 0.1\% < 2\%$$

Alors le résultat de tamisage est acceptable.

COURBE GRANULOMETRIQUE



De la courbe on a : $D_{10} = 0.18$ $D_{30} = 0.35$ $D_{60} = 0.8$

On à :

Le tamisa sur le tamis $80\mu = 0.85\% < 2\%$ seul symbole

$C_u = d_{60} / d_{10} = 4.44 \rightarrow C_u < 6$, alors la granulométrie est étalée

$C_c = d_{30}^2 / d_{10} \cdot d_{60}$

$= C_u (d_{60} / d_{10})^2 = 0.85$

$\rightarrow C_c < 1$, alors on trouve que la granulométrie est mal graduée

B. Module de finesse

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. Si il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35, 38. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons. Dans le cas de la courbe granulométrique du sable plutôt grossière, son module de finesse est égal à:

$$MF = (98 + 90 + 75 + 53 + 28 + 10)/100 = 3,54$$

Les dimensions nominales normalisées des tamis, seuls appareils utilisés actuellement, sont les suivantes:

Modules	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Tamis	0,08	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,40	0,50	0,63	0,80
Modules	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Tamis	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,30	8,00	10,00
Modules	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Tamis	12,50	16,00	20,00	25,00	31,50	40,00	50,00	63,00	80,00		

C. Influence du rapport G/S:

(G : % de gravillon > 5mm

S: = % de sable < 5mm)

Le G/S influe sur :

- Compacité** : légèrement plus élevée pour $G/S > 1.2$.
- Résistance à la compression**: meilleur pour $G/S > 1.2$.
- Ouvrabilité**: un peu moins bonne pour $G/S > 1.2$.

Pour les bétons courants il convient de ne pas dépasser un G/S supérieur à 1.2

La condition essentielle pour obtenir le moins de vides possibles (meilleure compacité) dans un mélange de sable et gravillon est de: 35 % de sable de 0/5 et 65 % de gravillons 5/20.

Forme des granulats:

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

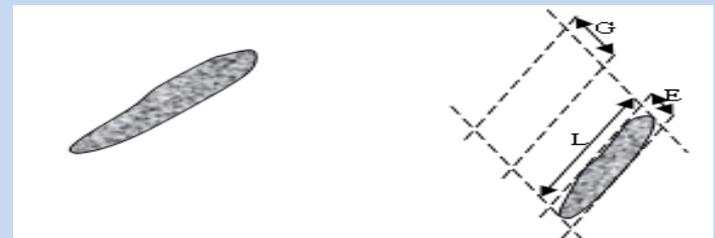
- La longueur L, distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.
- L'épaisseur E, distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat,
- La grosseur G, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

- l'indice d'allongement

$$\beta = \frac{G}{L} \leq 1$$

- l'indice d'aplatissement

$$\alpha = \frac{E}{G} \leq 1$$



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

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

.La forme des granulats influence:

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

L'état de surface des grains influence:

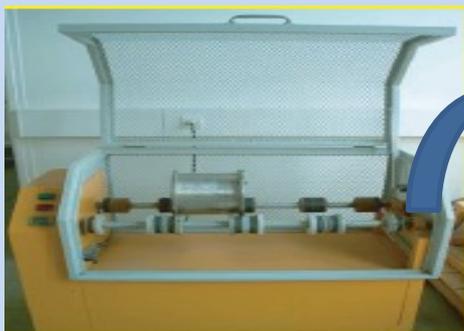
- La compacité du mélange.
- L'adhérence du granulat à la pâte de ciment.

La forme est d'autant meilleure qu'elle est proche d'une sphère ou d'un cube:

cubes, sphères	trois dimensions à peu près égales <i>(bonne compacité)</i>
plaquettes	une dimension beaucoup plus petite que les deux autres <i>(mauvaise compacité)</i>
aiguilles	une dimension beaucoup plus grande que les deux autres <i>(très mauvais compacité)</i>

2.4.2 Caractéristiques mécaniques

A. Essai Micro Deval : Les caractéristiques mécaniques des granulats ne sont pas déterminées par des essais habituels de traction ou de compression. Par contre, il existe 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. L'essai Micro Deval est un essai dont le principe est de reproduire, dans un cylindre en rotation, des phénomènes d'usure. Le principe de cet essai est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques .



Le coefficient Micro deval calculé à partir du passage au tamis de 1,6 mm, mesuré en fin d'essai, caractérise le granulat.

Méthode d'essais:

- 1- Prise d'essai de 500 g lavée et séchée.
- 2- Mise en place dans un tambour avec 5 kg 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 d'essai, pour lavage au-dessus d'un tamis de 1.6 mm.
- 5- Peser le refus à ce tamis après séchage (M, exprimé en g).

Les granulats sont classés en 6 catégories allant de A à F, chacune d'elle devant les conditions suivantes: $MDE = (500-M) / 5$

CATEGORIES	$L_A + M_{DE}$	L_A	M_{DE}
A	≤ 25	≤ 20	≤ 15
B	≤ 35	≤ 25	≤ 20
C	≤ 45	≤ 30	≤ 25
D	≤ 55	≤ 35	≤ 30
E	≤ 80	≤ 45	≤ 45
F	> 80	> 45	> 45

L_A – Coefficient Los Angeles.

M_{DE} – Coefficient Micro Duval.

Catégories des granulats selon la résistance au chocs et à l'usure

B. Résistance au choc (Essai Los Angeles) : L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations.

Formulation : Si M est la masse du matériau soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs est exprimé par le coefficient Los Angeles LA :

$$L_A = \frac{m}{M} 100$$

Mise en place
du granulat....

.... et des boulets

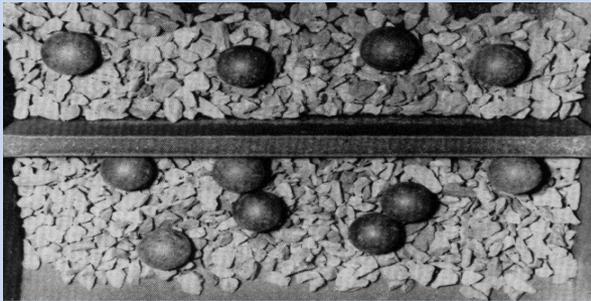
état du granulat en fin
d'essai (500 tours)



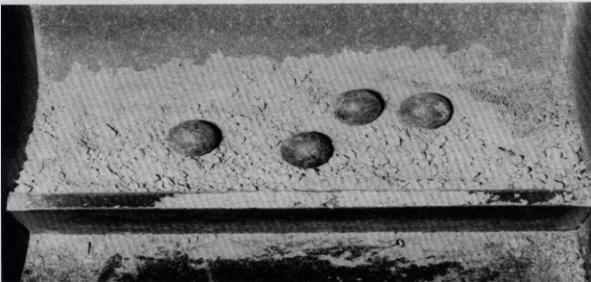
$$La\% = \frac{m}{5000} \times 100$$

Si M :est la masse du matériau soumis a l'essai = 5Kg
 m :la masse des éléments inferieurs a 1,6 mm produits au cours de l'essai.

Avant



Après



Coefficient LA	Nature de la roche
< 20	Très dure
20 à 25	dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	tendre
> 50	Très tendre

Remarque : Plus le coefficient Los Angeles est petit plus la roche est bonne, ce qui se traduit .en résistance du béton composé avec, car la dureté est synonyme de très grande résistance.

C. Mesure la propreté des graviers (l'essai d'équivalent de sable)

La propreté des granulats peut s'apprécier de différentes façons telles que l'essai au bleu de méthylène, d'équivalent de sable à 10 % de fines etc., mais dans ce cours, on va présenter seulement l'essai d'équivalent de sable.

But de l'essai

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h_1 : sable propre + éléments fins,
- hauteur h_2 : sable propre seulement.

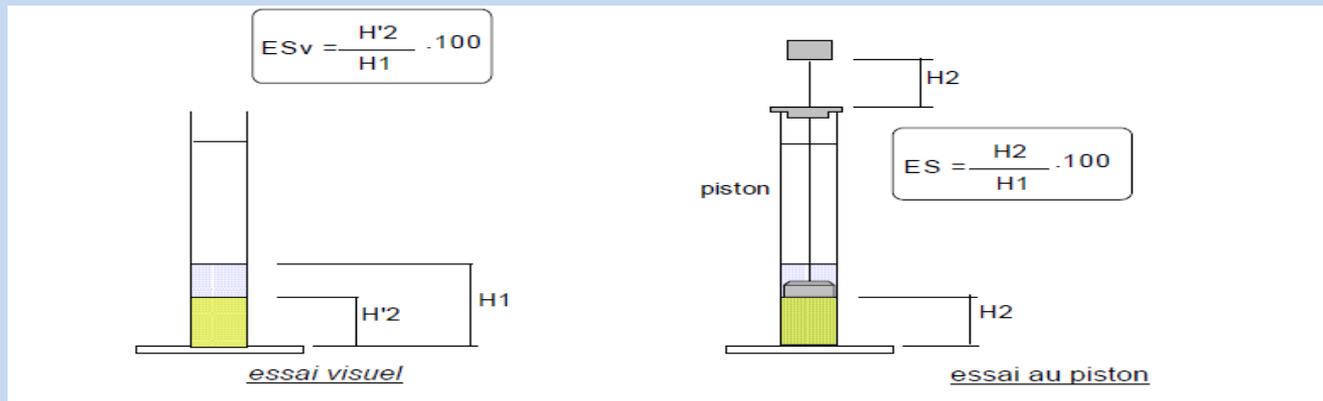
L'essai dit d'équivalent de sable - permet de déterminer le degré de propreté du sable :

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

$$PS = 100 \frac{h_1}{h_2}$$

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.

Il existe 2 types de mesures en fonction du degré d'argilosité du matériau. En effet pour les sols par exemple, la mesure de la hauteur H'2 peut être délicate, on substitue à l'essai visuel, l'essai au piston.



Plus l'équivalent de sable est élevé, moins le matériau contient d'éléments fins nuisibles. Il s'applique assez bien aux sols faiblement plastiques et peut s'appliquer à tous les matériaux grenus. Il s'effectue sur les fractions inférieures à 5 mm.

Mesure la propreté des graviers (l'essai d'équivalent de sable)

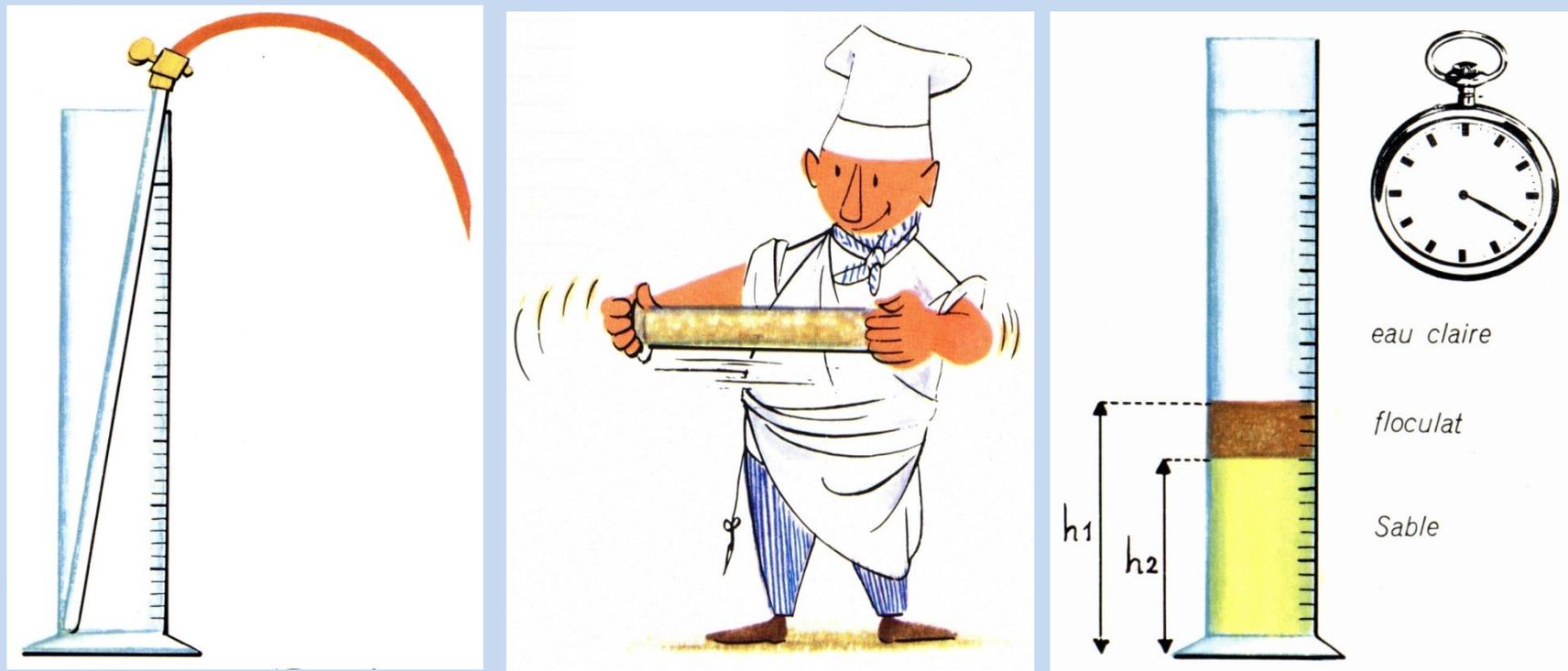


Fig. Définition de l'équivalent de sable