

LES GRANULATS (AGGREGATES)

Désignation des granulats: Les granulats sont souvent désignés en fonction de leur plus petite et leur plus grande dimension comme suit: Granulat d/D

Granulat : sable ou gravier

d : dimension minimale des grains

D : dimension maximale des grains Avec une tolérance de 15% d'élément

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

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Caractéristiques des granulats**

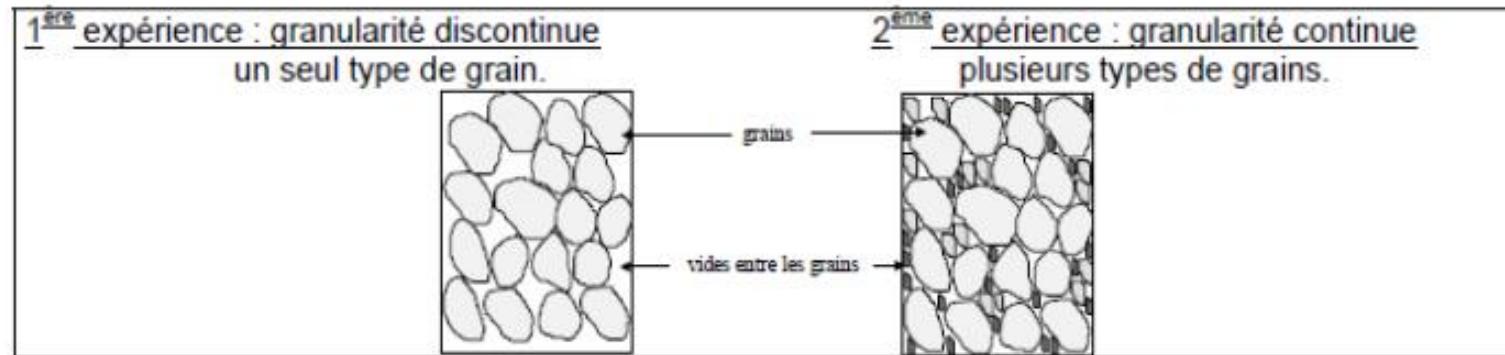
Le choix des granulats est un facteur important de la composition du béton puisqu'ils représentent les deux tiers du volume de béton. Afin d'obtenir le granulat recherché, il est impératif de connaître quelques unes de ses caractéristiques

1-Caractéristiques physiques

- **La granulométrie**

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

LES GRANULATS (AGGREGATES)



Le ciment devra combler les vides entre les grains pour obtenir un béton de compacité maximale. Or le ciment est le constituant le plus cher dans la composition de béton. Il donc est souhaitable de laisser le moins de vides entre les grains. Pour cela on recherchera un dosage optimum de gravier, sable, ciment. Il faudra donc déterminer la dimension des grains constituant un sable ou un gravier à l'aide d'un essai en laboratoire appelé **analyse granulométrique**

LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

DEFINITIONS ET REPRESENTATIONS

- On appelle **analyse granulométrique** l'opération permettant de déterminer :

la granulométrie : c'est à dire la détermination de la grandeur des grains,

la granularité : c'est à dire la répartition dimensionnelle des grains dans un granulat.

L'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en différentes coupure au moyen de tamis. Les masses des différents refus sont rapportés à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de graphique (courbe d'analyse granulométrique).

LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- Les tamis sont définis par la norme [EN 933-2]. Les ouvertures de mailles carrées permettent un classement granulaire. Les dimensions successives des mailles (carrées) suivent des progressions géométriques :
de $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$ pour l'ancienne série française

de $10^{1/20} \approx 1.12$ pour la nouvelle série européenne

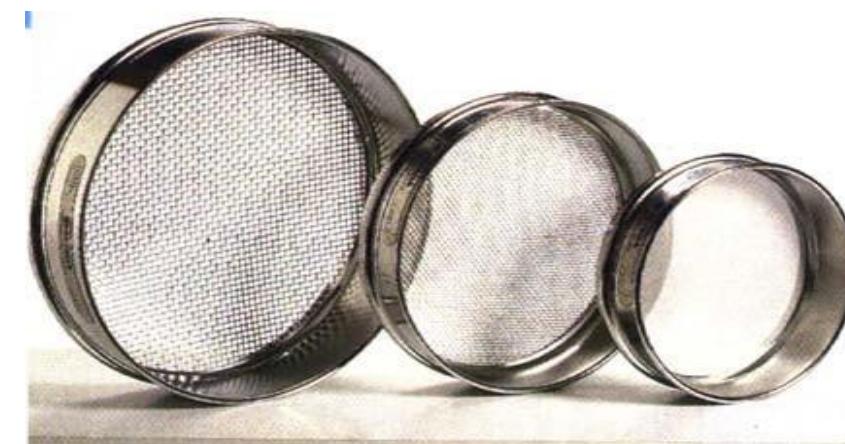
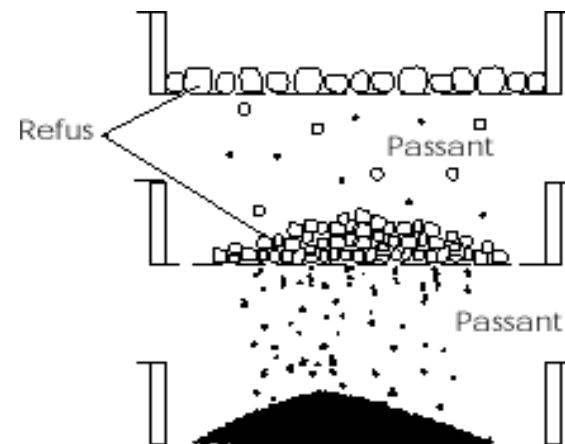
Le module d'un tamis, est le produit par 10 du logarithme décimal de l'ouverture exprimée en micron augmentée d'une unité (ex. : le tamis de 5 mm a pour module $10 \cdot \log(5000) + 1 = 38$).

- On désigne par **classe granulaire** la fourchette de calibres comprenant '*e plus petit*' et '*e plus gros*' grain d'un même granulat **d/D**.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- ***Le tamisage*** est l'opération qui consiste à séparer un matériau en différentes fractions au moyen d'une série de tamis de caractéristiques connues.
- On appelle ***tamisat*** (ou passant) la partie de matériau qui passe au travers du tamis et ***refus*** celle qui y est retenue.



LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

On désigne par *coupure* la fraction d_i/D_i d'un granulat de classe granulaire d/D . Ce terme est essentiellement employé par les carriers et en technique routière. Il permet de caractériser les opérations de criblage, mais est également souvent substituer au terme d'appellation d/D .

LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

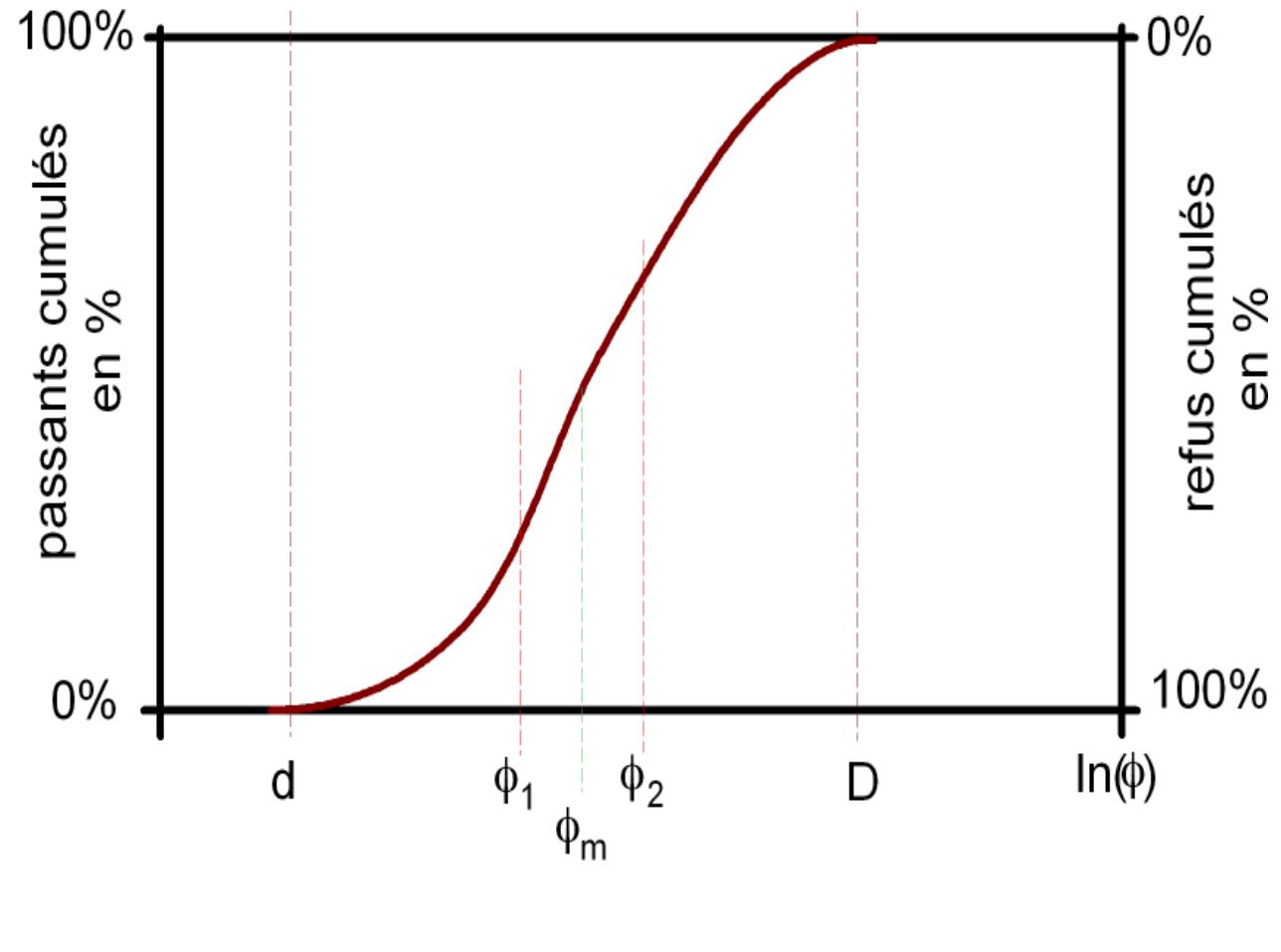
- **Représentations**

Pour une coupure donnée on peut définir le diamètre moyen :

$$\phi_m = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}$$

ou

$$\phi_m = \sqrt[3]{\frac{(\phi_1 + \phi_2)^2}{4}} \quad \text{formule de Mellor}$$



LES GRANULATS (AGGREGATES)

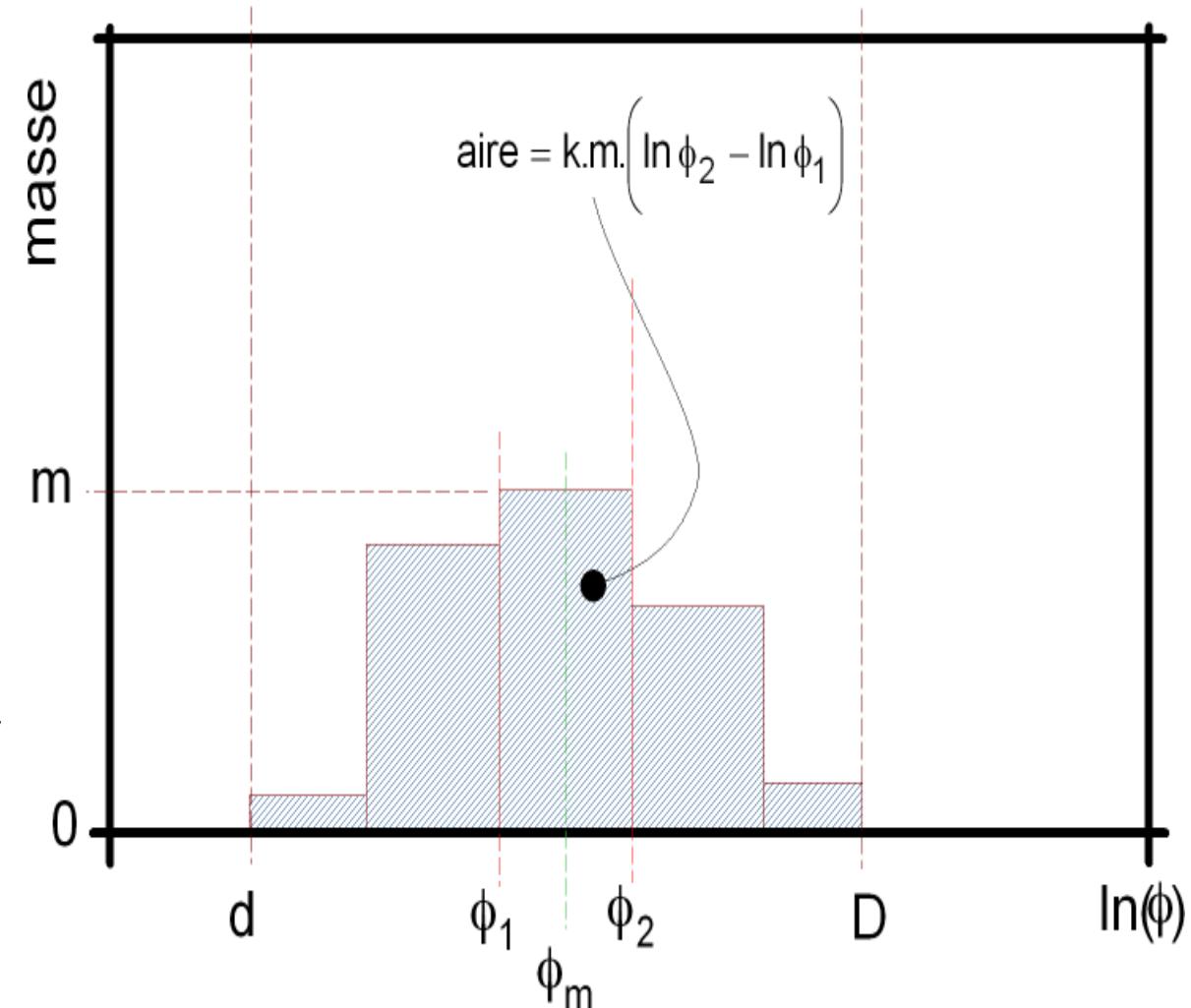
ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- Représentations

Une surface de criblage d'ouverture d_o laissera passer le produit appelé 'passant' et retiendra le produit appelé 'refus'. Il est important de remarquer que :

le passant ne contient aucun élément supérieur à d_o

le refus contient des éléments inférieurs à d_o appelés 'déclassés' qui n'ont pas 'eu le temps de passer'. Or, il n'y a pas de raison que seul le refus contienne des déclassés.

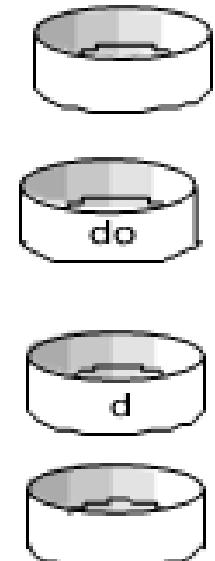
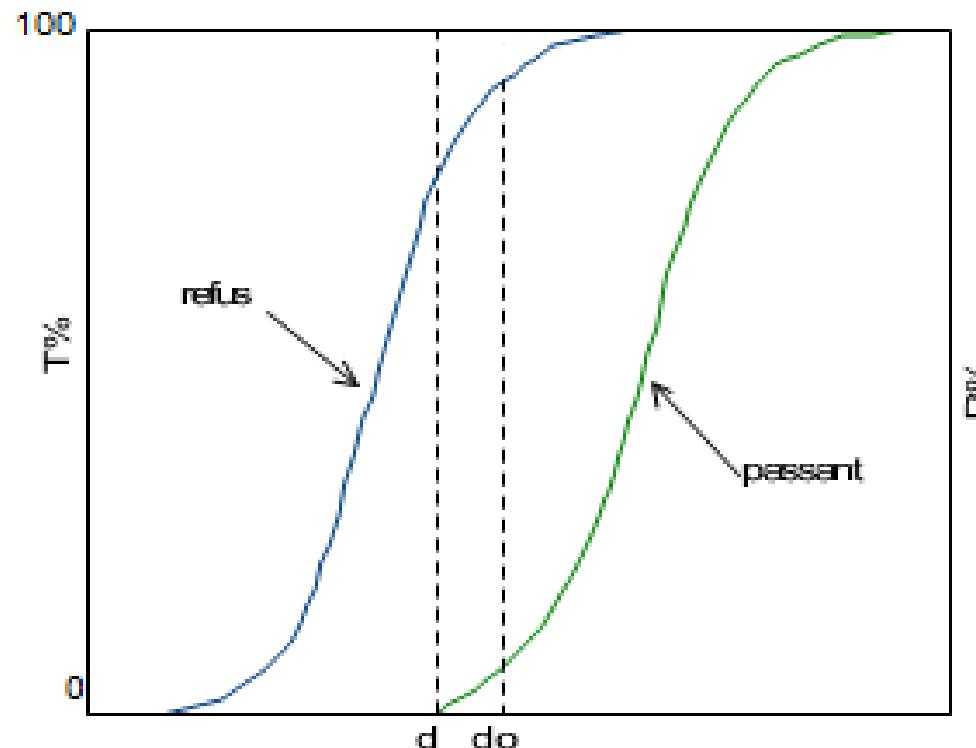


LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- Représentations

Aussi on considère que **la coupure effective** s'est faite à une maille d inférieure à d_o et telle qu'il y ait autant de déclassés dans le passant que dans le refus. Ceci explique pourquoi la maille à disposer sur un crible est toujours supérieure à la coupure que l'on désire faire; par exemple : pour faire du 0/4, du 4/10 et du 10/20, on équipera le crible en grilles de 5, 12 et 22 mm d'ouverture.



LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- MODE OPERATOIRE

- **Préparation de l'échantillon et tamisage selon le mode opératoire**

Effectuer une prise d'échantillon de masse humide (M_{th}) supérieure à 400ϕ (avec ϕ le diamètre du plus gros grain exprimé en mm et la masse obtenue en grammes).

- Diviser en 2 l'échantillon (M_{th}) de façon à obtenir :

M_{1h} : échantillon permettant de déterminer la masse sèche de l'échantillon soumis à l'analyse granulométrique,

M_h : échantillon soumis au tamisage.

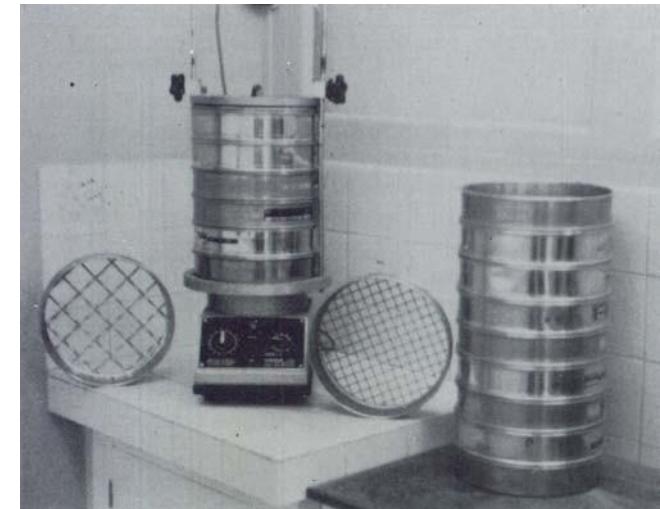
Sécher M_{1h} à l'étuve et déterminer sa masse sèche M_{1s} . La masse sèche (M_s) de l'échantillon soumis à l'analyse granulométrique est calculé par :

$$M_s = \frac{M_{1s}}{M_{1h}} \cdot M_h$$

LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- MODE OPERATOIRE
 - Préparation de l'échantillon et tamisage selon le mode opératoire
 - Vérifier le bon état et la propreté des mailles des tamis.
 - Verser ensuite l'échantillon de matériau propre et sec (M_{s1}) dans la colonne de tamisage
 - Pour chaque tamis, peser à 1 g près les refus cumulés, en versant leur contenu dans le récipient placer sur la balance. Le refus maximum admissible sur chaque tamis doit être inférieur à :
 - 100 g si $d < 1 \text{ mm}$,
 - 200 g si $1 \leq d \leq 4 \text{ mm}$,
 - 700 g si $d > 4 \text{ mm}$.



LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- MODE OPERATOIRE
 - Tracé
 - *Calculer pour chaque tamis les pourcentages de refus cumulés de matériau par rapport à la masse M_s :*
 - *Tracer la courbe granulométrique.*

$$R_{ci\%} = \frac{M_{rci}}{M_s} \cdot 100$$

LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- MODE OPERATOIRE
 - **Module de finesse**

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat.

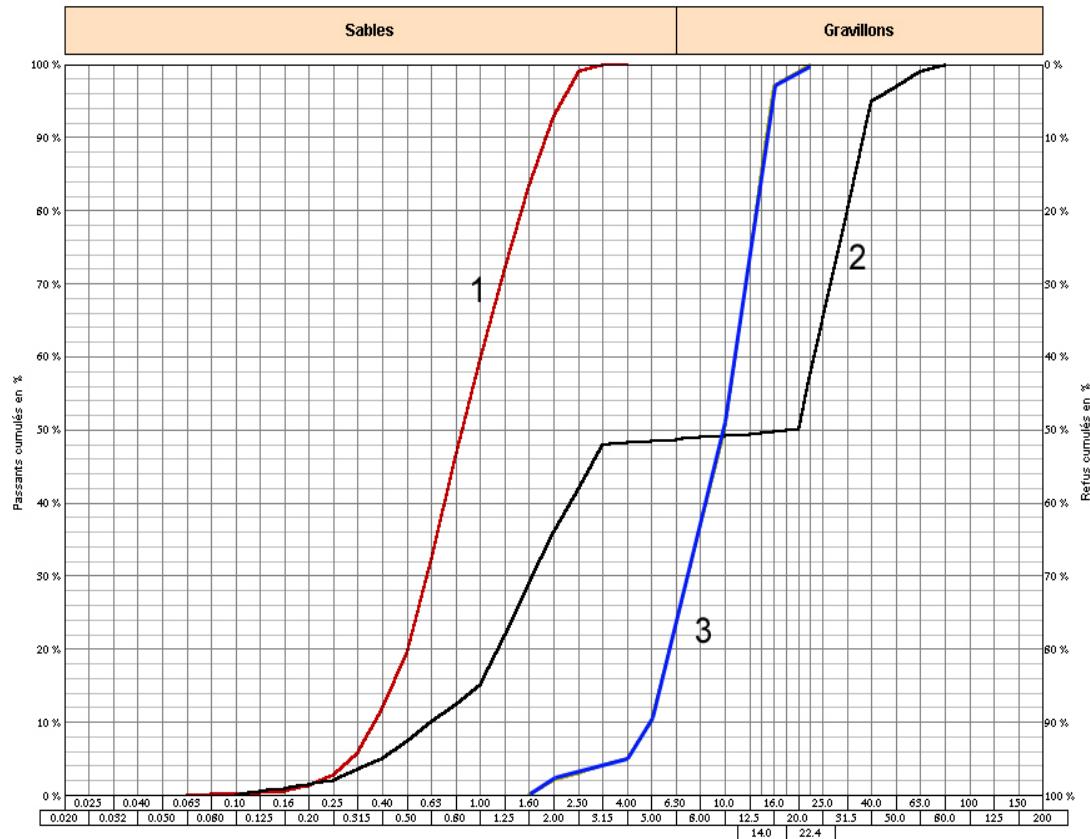
Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm.

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis de module } \{ 23, 26, 29, 32, 35, 38 \}$$

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.50 - 5 \}$$

LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE



- Discussion des courbes granulométriques:
- - La courbe n°1 reflète une distribution dimensionnelle continue, en revanche la courbe n°2 fait apparaître une absence de grains de 3.15 à 25 mm : on dit que la granularité est discontinue. - Contrairement à la courbe n°1 où un grand nombre de dimension granulaire est représenté (granularité étalée), la courbe n°3 indique que la majorité des grains sont compris entre 4 et 16 mm (granularité serrée).
Voir figure

LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- **Forme des gravillons (Coefficient d'aplatissement)**

La forme des gravillons est déterminée par l'essai d'aplatissement (**A**).

Le coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur.

Plus **A** est élevé, plus le gravillon contient d'éléments plats. Une mauvaise forme à une incidence sur la maniabilité et favorise la ségrégation.

La forme d'un granulat est définie 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.

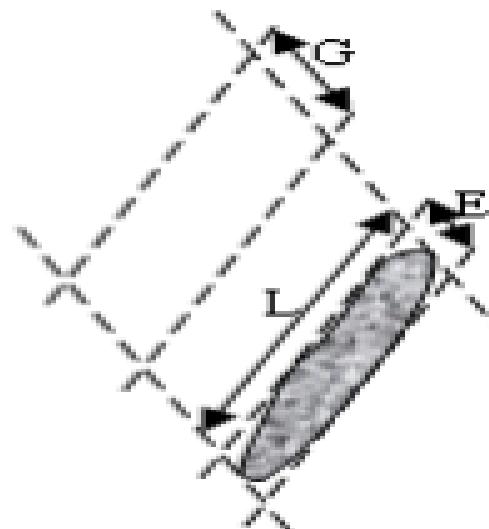
LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- **Forme des gravillons (Coefficient d'aplatissement)**

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

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



LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- **Forme des gravillons (Coefficient d'aplatissement)**

➤ La forme des granulats influence:

La facilité de mise en œuvre 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.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

- Les masses volumiques

On distingue 2 types de masses volumiques :

1. La masse volumique absolue : La masse volumique absolue du granulat (vides entre grains exclus) est nettement plus élevée: de 2500 à 2600 kg/m³ .

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V_s}$$

1. La masse volumique apparente : Elle dépend du tassemement des grains. Elle est comprise entre 1400 kg/m³ et 1600 kg/m³ pour les granulats roulés silico-calcaires.

$$\gamma_{app} = \frac{M_t}{V_t}$$

LES GRANULATS (AGGREGAT)

- Teneur en eau, indice des vides, porosité et compacité**

Dans les sols ainsi que dans les granulats, nous retrouvons les 3 phases de la matière. Ces 3 phases se modélisent comme suit :

Avec :

V : volume total du matériau

V_a : volume d'air contenu dans le matériau

V_w : volume d'eau contenu dans le matériau;

V_v : volume des vides contenu dans le matériau

($V_v = V_a + V_w$);

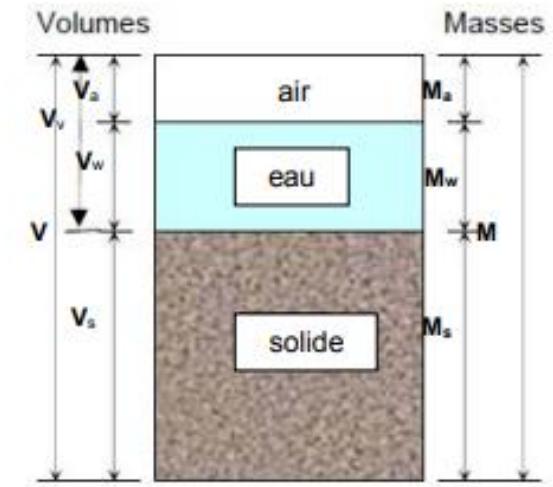
V_s : volume des grains solides contenus dans le matériau;

M_a : masse de l'air contenu dans le matériau; elle est en général négligeable ;

M_w : masse d'eau contenu dans le matériau;

M_s : masse des grains solides contenus dans le matériau;

M : masse totale du matériau (sèche ou humide).



Teneur en eau	$W = \frac{M_w}{M_s} \times 100$
indice des vides	$e = \frac{V_v}{V_s}$
porosité	$n = \frac{V_v}{V} \times 100$
compacité	$C = \frac{V_s}{V} \times 100$

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Caractéristiques physico-chimiques**

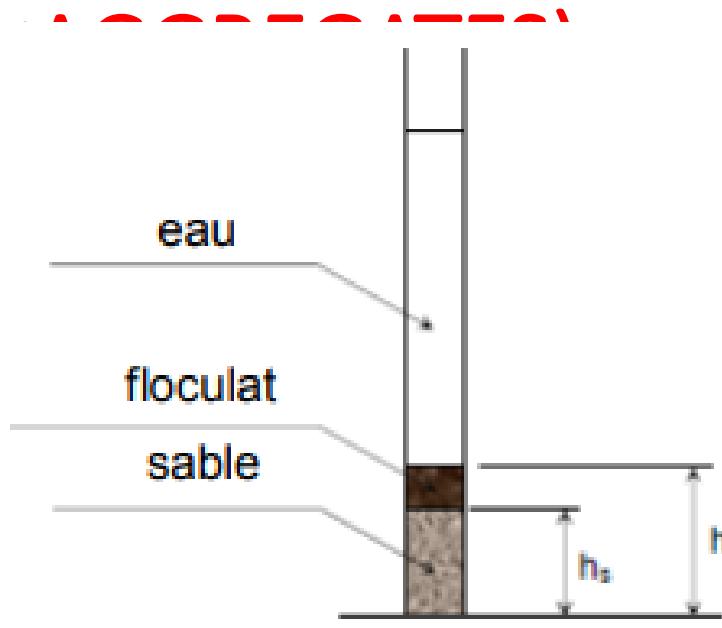
Les impuretés peuvent perturber l'hydratation du ciment ou entraîner des défauts d'adhérence granulats- pâte, ce qui peut avoir une incidence sur la résistance du béton.

La propreté traduit l'absence d'éléments fins indésirables dans les granulats. Elle désigne essentiellement la teneur en fines argileuses, dont la valeur doit être limitée.

- **Dans le cas des gravillons**, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm (tamisage effectué sous eau).
- **Dans le cas des sables**, la propreté (SE) est fournie par l'essai appelé « équivalent de sable » qui permet de mesurer la fraction argileuse du matériau.

LES GRANULATS

- **Caractéristiques physico-chimiques**
 - L'essai consiste à séparer le sable des matières argileuses ou fines, qui remontent par flocculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage (plus la valeur de ES est grande, plus le sable est propre). Elle peut également être évaluée par « l'essai au bleu de méthylène (V_B) », plus la valeur de V_B est petite, plus les sables sont propres.



$$\text{Equivalent de sable : } ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Il faut souligner l'importance de la propreté des granulats sur la qualité du béton. La présence de particules argileuses est en effet défavorable, autant à la mise en œuvre du béton qu'à ses performances finales, en abaissant l'adhérence de la pâte de ciment sur les granulats.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Caractéristiques chimiques**

- **Teneur en ions chlorures**

Les chlorures modifient la cinétique d'hydratation du ciment et provoquent la corrosion des armatures. La teneur en chlorure issu de l'ensemble des constituants du béton est donc limitée.

- **Réactivités aux alcalis**

Dans des conditions défavorables (granulats contenant une fraction significative de silice soluble réactive dans un environnement riche en alcalin) et en présence d'humidité, les phénomènes d'alcaliréaction peuvent provoquer un gonflement du béton.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Caractéristiques chimiques**
- **Teneur en soufre et en sulfates**

Les granulats peuvent contenir de petites quantités de sulfates et de sulfures pour autant que la teneur totale en soufre S ne dépasse pas 0,4 % en masse. La teneur en sulfate (SO_3) doit être inférieure **à 0,2 %**. On détermine si S est supérieur à 0,08 %. Les sulfures présents dans la collection peuvent, en s'oxydant, se transformer en sulfates qui risquent de provoquer des phénomènes de gonflement. Il est donc important de limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène. Les sulfates peuvent endommager les fondations et le comportement des adjuvants, il est donc important de limiter leur teneur dans le Béton,

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Caractéristiques mécaniques**
 - **Résistance à l'usure des gravillons**

La résistance à l'usure des granulats est déterminée par " l'essai Micro-Deval " en présence d'eau.

Cet essai consiste à reproduire dans un cylindre en rotation des phénomènes d'usure par frottements. Cette résistance est caractérisée par le coefficient Micro-Deval MDE qui représente la proportion d'éléments fins produits pendant l'essai. Plus le coefficient MDE est faible, plus la résistance à l'usure des gravillons est élevée.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Caractéristiques mécaniques**

- **Résistance au polissage des gravillons**

Cette caractéristique concerne les granulats utilisés pour la réalisation de couches de roulement. Plus le coefficient de polissage accéléré (CPA) est élevé, plus la résistance au polissage est importante.

- **Résistance des gravillons au gel-dégel**

La vulnérabilité du granulat dans le béton à l'action du gel-dégel est fonction de sa nature, de son utilisation, des conditions climatiques et de la formulation du béton (utilisation par exemple d'air entraîné).

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Caractéristiques esthétiques**

Les granulats contribuent à la teinte des parements des bétons. Ils sont mis en valeur en fonction du traitement de surface appliqué. On utilise indifféremment en fonction des disponibilités et de l'aspect recherché des granulats roulés, concassés ou semi-concassés.

Les sables et les gravillons sont disponibles dans une large variété de teintes naturelles. La teinte des bétons ayant subi un traitement de surface (béton lavé, béton désactivé, béton bouchardé, béton poli) est liée à la couleur des gravillons et des gros grains de sable.

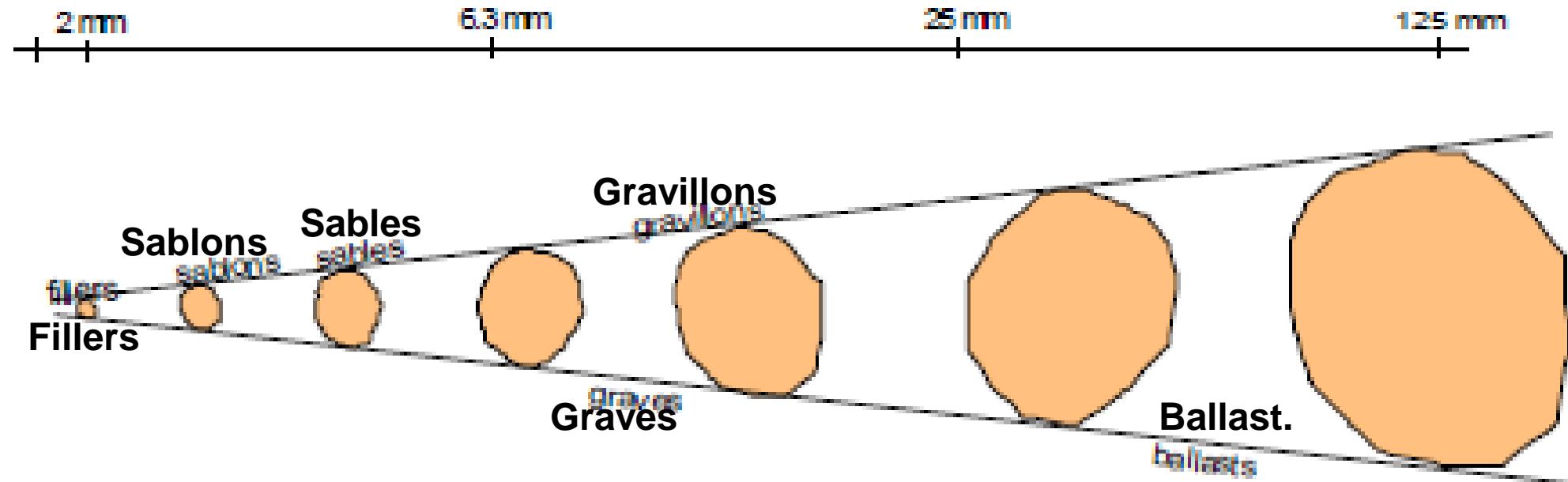
LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**

Les granulats sont composé d'une combinaison de grains minéraux qui, en fonction de leur taille, sont classés dans l'une des six catégories (Fillers ,Sablons, Sables, Graves ,Gravillons , Ballast.). Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient selon les gisements et les techniques de production.



LES GRANULATS (AGGREGATES)



LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**

est une matière solide granulaire constituée de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique (**coquilles**, squelettes de **coraux**, etc.) dont la dimension est comprise entre 0,063 mm (**limon**) et 2 mm (**gravier**),

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**

selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa

composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents

(quartz, micas, feldspaths, etc.) ainsi que des débris calcaires.

Le sable a de nombreuses applications en tant que matériau

granulaire, dont la principale est la fabrication du béton. C'est

une ressource non renouvelable.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**

La taille ou grosseur des grains ou de particules (ou granulométrie) est le diamètre des grains individuels de sédiment ou des particules lithifiées dans les roches clastiques. Le terme peut également être appliqué à d'autres matériaux granulaires. Un seul grain peut être composé de plusieurs cristaux. Le matériau granulaire peut aller des très petites particules colloïdales, aux plus grosses en passant par l'argile, le limon, le sable, les graves, les cailloux ou les blocs.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**
- **Échelle de Krumbein Phi**
calculée par l'équation: où

$$\varphi = -\log_2 \frac{D}{D_0},$$

φ est l'échelle de Krumbein phi,

D est le diamètre de la particule ou du grain en millimètres (équation de Krumbein et Monk) ² et

D_0 est un diamètre de référence, égal à 1 mm (pour rendre l'équation cohérente dimensionnellement).

Cette équation peut être réorganisée pour trouver le diamètre en utilisant φ :

$$D = D_0 \cdot 2^{-\varphi}$$

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- Le sable
- Échelle de dénomination granulométrique

Échelle de dénomination granulométrique

ϕ scale	Taille	Nom de l'agrégat (Wentworth class)	Autre nom	Correspondance norme française ³ (Afnor)
<-8	>256 mm	Boulder		Bloc
-6 to -8	64–256 mm	Cobble		Gros caillou
-5 to -6	32–64 mm	Very coarse gravel	Pebble	Petits cailloux
-4 to -5	16–32 mm	Coarse gravel	Pebble	
-3 to -4	8–16 mm	Medium gravel	Pebble	
-2 to -3	4–8 mm	Fine gravel	Pebble	
-1 to -2	2–4 mm	Very fine gravel	Granule	Granules
0 to -1	1–2 mm	Very coarse sand		Sable très grossier
1 to 0	0,5–1 mm	Coarse sand		Sable grossier
2 to 1	0,25–0,5 mm	Medium sand		Sable moyen
3 to 2	125–250 μm	Fine sand		Sable fin
4 to 3	62,5–125 μm	Very fine sand		Sable très fin
8 to 4	3,9–62,5 μm	Silt	Mud	Silt
10 to 8	0,98–3,9 μm	Clay	Mud	Argile
20 to 10	0,95–977 nm	Colloid	Mud	Colloïde

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- Le sable
 - Échelle de dénomination granulométrique

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**

- **Caractéristiques physicochimiques**

Une particule individuelle est appelée grain de sable. Les sables sont identifiés grâce à la **granulométrie** (**la grosseur des grains**). Le sable se caractérise par sa capacité à s'écouler. Plus les grains sont ronds, plus le sable s'écoule facilement. Le sable artificiel, obtenu par découpage ou broyage mécanique de roches, est principalement composé de grains aux aspérités marquées.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**

- **Caractéristiques physicochimiques**

On peut également différencier un sable qui a été transporté par le vent d'un sable transporté par l'eau. Le premier est de forme plus ronde, sphérique, alors que le deuxième est plus ovoïde.



LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**
- **Caractéristiques physicochimiques**

Le sable est souvent le produit de la décomposition des roches du fait de l'érosion. Les plus fréquents de ses composants sont le **quartz**, constituant le moins altérable du granite, ainsi que des micas et feldspaths.

Il peut avoir plusieurs couleurs :

en fonction de la nature des particules sableuses (minéraux) issues de la **roche-mère** :

- noir (exemple : sable issu d'une **roche volcanique**) ;
- blanc (exemple : **White Sands**, dunes de gypse pur ; **sable coquillier** enrichi de certains débris de coquillages ; sables riches en quartz usés et micas blancs) ;
- grenat (exemple : Les plages constituée de **grenats**, minéraux riches et abondants dans la roche-mère) ;
- rose (plages de la **côte de granit rose**).

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**

- **Caractéristiques physicochimiques**

en fonction du type et de la quantité de pigments qui recouvrent les particules sableuses (**oxyde de fer...**), il prend une couleur jaunâtre, rouille.

Le sable peut aussi prendre d'autres formes : **arène, grès.**

Les grains de sable sont assez légers pour être transportés par le **vent et l'eau**.

- **Propriétés physiques**

Le sable forme naturellement des pentes stables jusqu'à environ 30° , au-delà de cet angle, il s'écoule par avalanches successives pour retrouver cette pente stable.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**
- **Utilisation**

La taille, la nature et la forme plus ou moins arrondie de ses grains en font un matériau de qualité recherché pour la construction.

- En **maçonnerie**, le sable est utilisé comme **agrégat** mélangé à un liant comme la chaux ou le ciment.
- En **électronique**, le sable, et plus précisément le silicium contenu dans la silice, est utilisé pour fabriquer des micro-processeurs.
- En **fonderie** de métaux ferreux ou alliages légers, les moules peuvent être réalisés en sable aggloméré par des résines ou des argiles, pour couler les pièces.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**
- **Utilisation**
- En **cuisine**, il a été utilisé au XIX^e siècle pour la **conservation de la viande**.
- Il est utilisé comme matière première du **verre**.
- Il peut être utilisé pour **filtrer** les liquides (dont l'eau de piscine, des eaux usées...), des gaz ou de l'air (filtre à sable filtrant les vapeurs d'un four à plomb,)

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**
- **Mobilités des sables**

Dans l'eau comme dans l'air, les sables fins et leur **poussière** sont facilement transportés, parfois sur des milliers de kilomètres de distance. Ils modifient la chimie des **eaux météoritiques**, et les **géosciences** ont récemment montré qu'ils jouent parfois un rôle majeur en termes de bilan des nutriments pour de vastes **écosystèmes**

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**
- **Le sable du désert**



LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**
- **Le sable du désert**
- **Le problème, c'est que tout ce sable n'est pas du tout adapté à la construction :**

sculpté par le vent, ses grains sont trop fins et trop lisses. Or, pour fabriquer du béton, les industriels ont besoin de **granulats** avec des angles et des tailles différentes, de façon à ce qu'ils s'imbriquent les uns dans les autres et s'agglomèrent facilement

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**
- **Différents granulats selon l'usage du béton**

Le type de sable employé dépend étroitement de l'usage souhaité du béton. Les granulats issus des **carrières** de roche massive, qui sont concassés, permettent d'obtenir des grains de forme et de taille différentes, idéaux pour le terrassement, la fabrication d'enrobés, de blocs ou de parpaings. Les granulats alluvionnaires (dits « roulés ») sont plutôt utilisés pour le **béton** prêt à l'emploi.

LES GRANULATS (AGGREGATES)

- **Le sable**
- **Différents granulats selon l'usage du béton**
- **D'autre part, chaque sable possède des caractéristiques physico-chimiques propres en fonction de la nature de la roche et de la forme et la granularité des grains.** Les granulats légers issus de **roches volcaniques**, comme la pouzzolane, donnent par exemple des bétons ayant une faible **masse volumique** et une bonne isolation thermique.