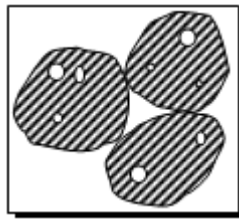


Les caractéristiques principales des granulats

I. Caractéristiques physiques

A. La masse volumique absolue

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains.

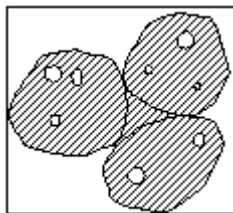


Volume hachuré = Volume absolu (sans pores)

La densité absolue est le rapport de la masse absolue d'une unité de volume du matériau à température donnée à la masse du même volume d'eau distillée à la même température.

B. La masse volumique réelle

La masse volumique réelle d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau déduction faite des vides entre particules. La déduction ne concerne pas les vides compris dans le matériau mais seulement ceux entre les particules.



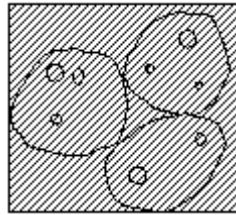
Volume hachuré = Volume réelle (apparent)

La densité réelle est le rapport de la masse réelle d'une unité de volume du matériau sec dans l'air à température donnée à la masse d'un égal volume d'eau distillée à la même température.

C. La masse volumique apparente

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. La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau

compacté ou non compacté. Il faut donc préciser: masse volumique apparente à l'état compacté ou masse volumique apparente à l'état non compacté.



Volume hachuré = Volume du récipient

La densité apparente à l'état compacté ou non compacté sera obtenue en établissant le rapport de la masse apparente d'une unité de volume du matériau à température donnée à la masse d'une même quantité d'eau distillée à même température.

La masse volumique apparente d'un granulat dépend de la forme et de la granulométrie des grains ainsi que le degré de compactage et d'humidité. La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton. Cette méthode toutefois présente des risques certains à cause du foisonnement. Le graphique ci-dessous donne le foisonnement du sable en fonction de la teneur en eau.

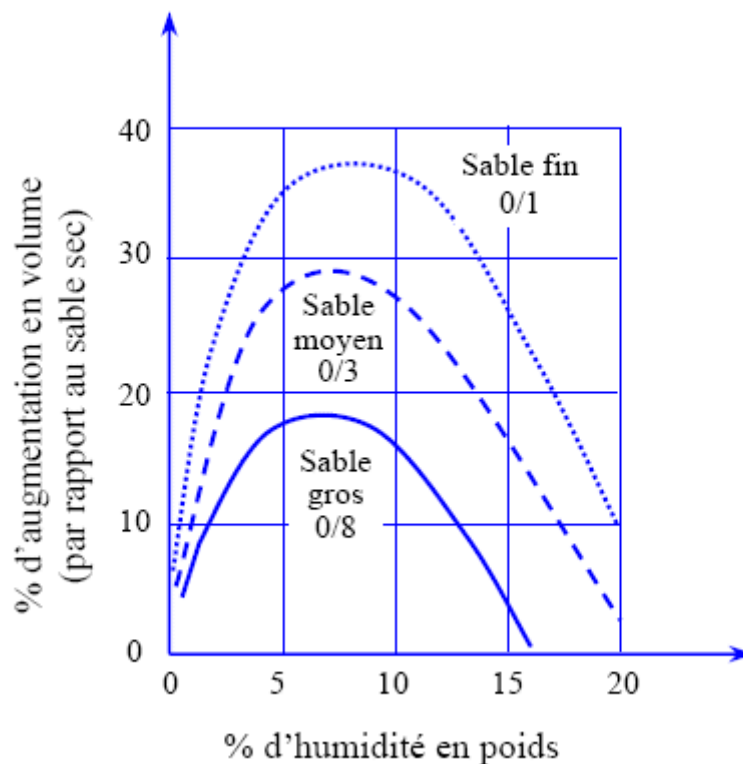


fig. 3.7: foisonnement du sable en fonction de la teneur en eau

D. Absorption

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte sont appelés absorption.










L'absorption peut varier dans de très larges mesures suivant la nature du granulat. Elle peut varier de 0 à plus de 30 % du poids sec pour granulat léger.

En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels le LECA (Light expanded clay aggregate = agrégats légers expansés d'argile), sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton.

La figure suivante montre les divers cas qui peuvent se présenter lorsqu'un granulat est poreux et qu'il est ou a été en contact avec de l'eau.

Lorsque les granulats sont légèrement poreux, il faut travailler, lors de l'étude de la composition d'un béton, avec des matériaux saturés à surface sèche. On obtient cet état en conservant les granulats dans l'eau pendant plusieurs heures et en les laissant sécher juste avant emploi jusqu'à ce que leur surface devienne roulant dans un linge sec.

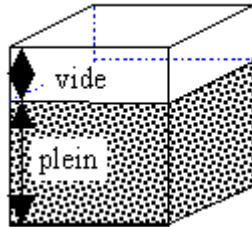
Tableau 3.3: La teneur en eau des granulats stocké à l'atmosphère

 TENEUR EN EAU			
 SEC (dessiccation jusqu'à poids constant)	 NATURELLEMENT SEC (séchage naturel à l'air)	 SATURE SURFACE SECHE	 SATURE SURFACE HUMIDE
 PORE GRANULAT PAS D'EAU DANS DES PORES	 UN PEU D'EAU DANS DES PORES	 PORES REMPLIS D'EAU SURFACE SECHE	 PORES REMPLIS D'EAU SURFACE HUMIDE
SI LES GRANULATS SONT POREUX, UNE PARTIE DE L'EAU DE GACHAGE EST ABSORBEE PAR LES GRANULATS		PAS D'ECHAGE D'EAU ENTRE GRANULAT ET PATE DE CIMENT	L'EAU A LA SURFACE DES GRANULATS DILUE LA PATE DE CIMENT ET DOIT ETRE COMPACTEE COMME EAU DE GACHAGE

E. Porosité et compacité

1. Porosité

En général la porosité est le rapport du volume des vides au volume.



$$p = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume total}}$$

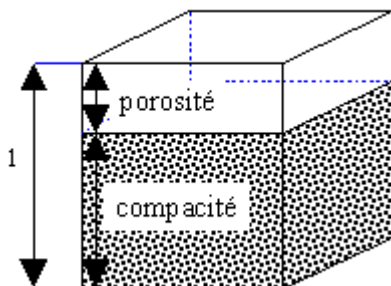
Volume quelconque

On peut aussi définir la porosité comme le volume de vide par unité de volume apparent.

2. Compacité

La compacité est le rapport du volume des pleins au volume total.

Ou volume des pleins par unité de volume apparent.



Volume unitaire

$$c = \frac{\text{plein}}{\text{vide} + \text{plein}}$$

$$p = \frac{\text{vide}}{\text{vide} + \text{plein}}$$

La porosité et la compacité sont liées par la relation:

$$p+c=1$$

La porosité et la compacité sont souvent exprimées en %. La somme des deux est alors égale à 100%. En effet:

$$p + c = \frac{\text{volume des pleins}}{\text{volume total}} + \frac{\text{volume des pleins}}{\text{volume total}} = \frac{\text{volume total}}{\text{volume total}} = 1$$

Si l'on connaît la masse volumique D et la masse spécifique g d'un matériau, il est aisé de calculer sa compacité et porosité.

$$c = \frac{\text{volume des pleins}}{\text{volume total}} = \frac{V_{\text{absolu}}}{V_{\text{apparent}}} = \frac{V_{\text{absolu}}}{V_{\text{apparent}}} \cdot \frac{M}{M} = \frac{M/V_{\text{apparent}}}{M/V_{\text{absolu}}}$$

d'où $c = \frac{\Delta}{\gamma}$ ou, exprimée en %,

$$c\% = 100 \frac{\Delta}{\gamma}$$

$$p\% = 100 \left(1 - \frac{\Delta}{\gamma}\right)$$

F. Teneur en eau

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.

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

E = Poids d'eau dans le matériau.

P_s = Poids du matériau sec.

P_h = Poids matériau humide

Si W est exprimé en % :

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

A partir des définitions données plus haut, on peut écrire les relations :

$$E = \frac{W\%}{100} P_s \qquad P_h = P_s + E = \left(1 + \frac{W\%}{100}\right) P_s \qquad P_s = \frac{P_h}{1 + \frac{W\%}{100}}$$

$$E = \frac{W\%}{100 + W\%} P_h$$

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.

G. Actions possibles de l'eau sur les matériaux

Lorsque tous les vides d'un corps sont remplis d'eau, on dit qu'il est saturé. Le degré de saturation est le rapport du volume des vides rempli d'eau au volume total des vides. Il joue un grand rôle dans les phénomènes de destruction des matériaux poreux par le gel. En se transformant en gel, l'eau augmente de 9% en volume environ.

La plupart des matériaux gonflent lorsque leur teneur en eau augmente et, inversement lorsqu'elle diminue (bois, roches sédimentaires, bétons, par exemple).

H. Propreté et forme des granulats

1. Propreté des granulats

Les granulats employés pour le béton doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des adhérences entre les granulats et la pâte.

La propreté désigne:

- d'une part, la teneur en fines argileuses ou autres particules adhérentes à la surface des grains, ce qui se vérifie sur le chantier par les traces qu'elles laissent lorsqu'on frotte les granulats entre les mains.
- d'autre part, les impuretés susceptibles de nuire à la qualité du béton, parmi lesquelles on peut citer les scories, le charbon, les particules de bois, les feuilles mortes, les fragments de racine.

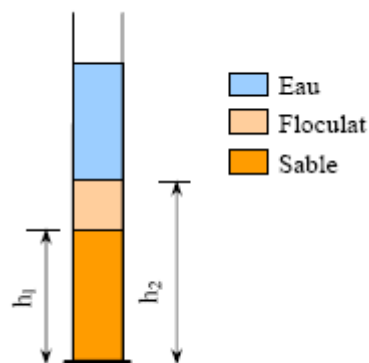


fig. 3.8: Détermination de l'équivalent de sable piston

Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par essai appelé "équivalent de sable piston PS" (norme P 18-597) 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. L'essai est fait uniquement sur la fraction de sable 0/2 mm. La valeur de PS doit selon les cas être supérieure à 60 ou 65. L'essai dit "équivalent de sable piston" permet de mesurer le degré de propreté du sable

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

Tableau 3.4: 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
$60 \leq PS < 70$	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
$70 \leq PS < 80$	"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.

2. Forme des granulats

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.

Le coefficient d'aplatissement A d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des

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

éléments qui vérifient la relation:

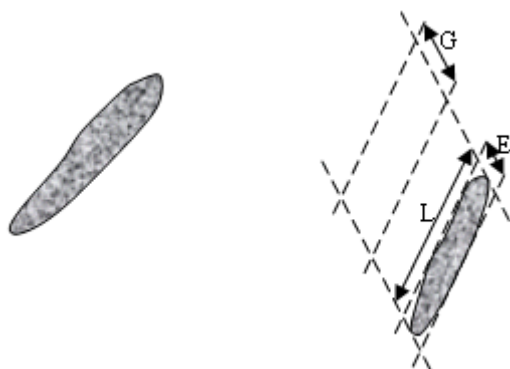


fig 3.9: Forme d'un granulat

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

3. 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.

4. 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:

Tableau 3.5: Forme des granulats

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>

Caractéristiques mécaniques

Méthodes de mesures

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.

Essai Micro Deval

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

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.

Les granulats sont classés en 6 catégories allant de A à F, chacune d'elle devant les conditions suivantes:

Tableau 3.6: Catégories des granulats selon la résistance au chocs et à l'usure

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.