

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
LABORATOIRE DE MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET DE BETON**



TP 5 : CARACTERISTIQUES DES GRANULATS À BETON



**Test de propreté
Analyse granulométrique par tamisage
Mesure du coefficient d'aplatissement d'un gravier
Module de finesse
Masse volumique apparente
Masse volumique absolue
Foisonnement**

MANIPULATIONS

1. Test de propreté

1.1. Propreté superficielle du gravier ($D > 5 \text{ mm}$)

1.1.1. Matériel nécessaire

- Un tamis de 0,5 mm.
- Une étuve réglée à une température de $(105 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$.
- Une balance de 5 kg.

1.1.2. Matériaux utilisés

Il faut :

- Gravillon (4/8)
- Gravier (8/15)

1.1.3. Mode opératoire

- Placer dans un récipient une quantité de granulat non lavé.
- Sécher à l'étuve et en déduire la masse sèche M_1 .
- Laver l'échantillon sur le tamis 0,5 mm jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule à travers le tamis soit claire.
- Sécher l'échantillon à l'étuve et déterminer la masse M_2 .

1.1.4. Résultat

La masse des impuretés m est égale à : $m = M_1 - M_2$

Le pourcentage d'impuretés est : $100 \times \frac{M_1 - M_2}{M_2}$

Où :

M_1 : masse du granulat avant lavage

M_2 : masse du granulat après lavage

1.2. Propreté d'un sable ou essais d'équivalent de sable

Une première vérification de la propreté d'un sable peut être faite visuellement en prenant le sable dans la main, ainsi on se rend compte rapidement si l'on est en présence d'un sable sale ou non.

Un lavage à l'eau puis une décantation en éprouvette transparente donnent aussi de bonnes indications. Cependant, la mesure la plus pratiquée et la plus représentative reste l'essai d'équivalent de sable (ES).

1.2.1. Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du matériau à analyser. Il consiste à faire flocculer les éléments fins d'un sable mis en suspension dans une solution lavante, puis après décantation, on mesure la hauteur des éléments fins flocculés et la hauteur du sable propre décanté.

1.2.2. Matériel nécessaire

Il faut :

- Un tamis de maille 2 mm avec fond et couvercle.
- Deux éprouvettes cylindriques transparentes en matière plastique de diamètre intérieur 32 mm, de hauteur 420 mm, munies de deux repères à 100 et à 380 mm de la base.
- Un bouchon en caoutchouc s'adaptant aux éprouvettes + un entonnoir pour transvaser le sable.
- Un piston de 1 kg + une règle métallique graduée (500 mm de longueur).
- Un flacon contenant la solution lavante (chlorure de calcium + glycérine + formaldéhyde).
- Un tube laveur relié au flacon avec robinet d'arrêt.
- Un chronomètre + une balance de portée 5 kg.
- Bacs en plastique pour effectuer les essais + une main écope pour le remplissage.

1.2.3. Mode opératoire

- Remplir l'éprouvette jusqu'au trait inférieur en utilisant le tube laveur relié au flacon contenant la solution lavante.
- Verser progressivement à l'aide de l'entonnoir l'échantillon de sable dans l'éprouvette, puis frapper fortement la base de l'éprouvette sur la paume de la main pour éliminer les bulles d'air et favoriser ainsi le mouillage du sable.
- Laisser imbiber le sable pendant 10 mn dans la solution lavante.
- Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et secouer horizontalement (manuellement ou mécaniquement) pour bien laver le sable avec la solution lavante (90 cycles de 20 cm en 30 secs).
- Remplir l'éprouvette avec la solution jusqu'au deuxième trait.

- Laisser reposer 20 minutes.
- Mesurer à l'aide de la règle la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette.
- Descendre doucement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sable (le manchon coulissant prend appui sur l'éprouvette) et mesurer la hauteur du sable h_2 au piston.
- Remplir le document réponse préparé pour cet essai.

1.2.4. Résultat

La valeur de l'équivalent de sable est : $SE = \frac{h_2}{h_1} \times 100$

2. Analyse granulométrique par tamisage

2.1. Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les masses des différents refus et tamisat sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les résultats obtenus sont exploités graphiquement.

2.2. Matériel nécessaire

Pour cet essai, on a besoin de :

- Une machine à tamiser + 1 série de tamis normalisés à mailles carrées.
- Un couvercle pour éviter la perte de matériau lors du tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamisat.
- Une main écope pour le remplissage + récipient pour la pesée + 1 balance de portée 5 kg.

2.3. Matériaux utilisés

Les matériaux à caractériser sont :

- Un échantillon de sable S (0/3)
- Un échantillon de gravillon g (4/8)
- Un échantillon de gravier G (8/15)

Les échantillons sont lavés au tamis (0,063 mm pour le sable et 0,5 mm pour le gravier et gravillon) et séchés par étuvage jusqu'à masse constante.

2.4. Mode opératoire

- Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond plein. Pour un sable, on peut prendre tous les tamis compris entre 0,063 et 6,3 mm. Généralement, on se contente des tamis suivants : 0,063 - 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4 - 5 - 6,3 mm. Pour un gravier, on prend les tamis compris entre 4 et 80 mm. Habituellement, on utilise les tamis suivants pour les granulats à béton courants : 4 - 5 - 6,3 - 8 - 10 - 12,5 - 16 - 20 - 25 mm.
- Verser le matériau lavé et séché dans la colonne de tamis.
- Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne, puis reprendre un à un les tamis.
- Agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1 % en masse par minute de tamisage.
- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.
- Déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis.
- Poursuivre l'opération jusqu'à peser la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis.

2.5. Pesée des refus - Résultat

- Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille, soit R_1 la masse de ce refus.
- Ajouter le refus obtenu sur le tamis immédiatement inférieur, soit R_2 la masse du refus cumulé.
- Poursuivre l'opération avec tous les autres tamis de la colonne, et calculer à chaque fois la masse du refus cumulé.
- Peser le tamisât recueilli sur le fond, soit P sa masse.
- Rapporter les masses des différents refus cumulés R_i à la masse totale M_1 de l'échantillon sec de l'essai.
- Noter les pourcentages de refus cumulés obtenus sur la feuille d'essai.
- Vérifier la validité de l'analyse granulométrique : *la somme des masses R_i et P ne doit pas différer de plus de 1 % de la masse initiale M_1 de l'échantillon.*
- Remplir le document réponse correspondant à cette analyse.
- Tracer la courbe granulométrique des granulats analysés. Pour ce faire, il suffit de porter les divers pourcentages des tamisats ou des différents refus cumulés sur une feuille d'analyse granulométrique :

- a) En abscisse : les dimensions des mailles (échelle logarithmique).
- b) En ordonnée : les pourcentages (échelle arithmétique)

La courbe doit être tracée de manière continue et peut ne pas passer par tous les points.

2.5. Interprétation des résultats

2.5.1. Désignation commerciale des granulats analysés

À partir des résultats de l'analyse granulométrique des granulats étudiés (sable S, gravillon g et gravier G), donner la désignation commerciale correspondante (sable 0/D, gravier d/D).

2.5.2. Correction du module de finesse

À partir du tracé des courbes granulométriques, calculer le module de finesse M_F du sable S.

Rappel

Le module de finesse permet de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal à :

- Selon la norme française NFP 18-540

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

$$M_F = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulés en \% des tamis de module (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,50 - 5)}$$

- Selon la norme européenne EN 12620

$$M_F = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulés en \% des tamis de module (22, 25, 28, 31, 34, 37)}$$

$$M_F = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulés en \% des tamis de module (0,125 - 0,25 - 0,50 - 1 - 2 - 4)}$$

Plus le module de finesse est faible, plus le granulat est riche en éléments fins.

Pour un sable à béton, les limites du module de finesse sont comprises entre 1,8 et 3,2. L'optimum, pour un meilleur compromis *résistance - maniabilité - maintien de l'homogénéité*, se situe à environ $2,5 \pm 0,35$.

3. Mesure du coefficient d'aplatissement d'un gravier

3.1. Principe

L'essai consiste à réaliser un double tamisage :

1) Un tamisage classique sur une colonne de tamis de mailles carrées pour séparer les différentes classes granulaires d_i/D_i .

2) Un tamisage au moyen de grilles à fentes parallèles d'écartement E ($E = D_i/2$) de chacune des classes granulaires élémentaires d_i/D_i (Tab.1g).

À chaque classe granulaire d_i/D_i , on associe un tamis à fentes de largeur E ($E = D_i/2$). À titre d'exemple, pour une classe granulaire 15/25 correspond une grille 12,5. Cela va permettre de déterminer le coefficient d'aplatissement partiel A_i de chaque granulat élémentaire d_i/D_i . En d'autres termes, le coefficient d'aplatissement A_i partiel de chaque granulat élémentaire d_i/D_i correspond au passant du tamisage sur la grille à fentes correspondante, exprimé en pourcentage de la masse de ce granulat élémentaire.

Le coefficient d'aplatissement global est calculé en tant que masse totale des particules passant au travers des grilles à fentes, exprimé en pourcentage du total de la masse sèche des particules faisant l'objet de l'essai.

Tableau 1g : Etude de la forme de granulats (coefficient d'aplatissement)

Dimensions en mm	
Granulat élémentaire d_i/D_i	Largeur de la fente de la grille
63/80	$40 \pm 0,3$
50/63	$31,5 \pm 0,3$
40/50	$25 \pm 0,2$
31,5/40	$20 \pm 0,2$
25/31,5	$16 \pm 0,2$
20/25	$12,5 \pm 0,2$
16/20	$10 \pm 0,1$
12,5/16	$8 \pm 0,1$
10/10,2	$6,3 \pm 0,1$
8/10	$5 \pm 0,1$
6,3/8	$4 \pm 0,1$
5/6,3	$3,15 \pm 0,1$
4/5	$2,5 \pm 0,1$

3.2. Mode opératoire

- Peser la masse du gravier G préalablement séchée à l'étuve, soit M_0 .
- Sélectionner les différentes classes granulaires d_i/D_i par tamisage sur une colonne de mailles carrées (refus à d_i et passant à D_i).
- Peser et éliminer tous les grains passants au tamis de 4 mm et retenus sur celui de 80 mm et noter les valeurs obtenues sur le document réponse préparé à cet effet.
- Peser et garder séparément tous les grains de fraction d_i/D_i comprise entre 4 et 80 mm.
- Prendre le premier tamis et peser son refus R_i , soit d_i/D_i la classe granulaire de ce refus.
- Tamiser manuellement le granulat élémentaire d_i/D_i obtenu sur la grille à fentes correspondante.
- Peser le matériau passant à travers la grille à fentes correspondante de ce granulat élémentaire et noter sa valeur sur le document réponse.

- Recommencer les opérations décrites ci-dessus pour les tamis suivants.
- Remplir le document réponse.
- Calculer le coefficient d'aplatissement partiel pour chaque classe granulaire et en déduire le coefficient d'aplatissement global de l'échantillon analysé.

3.3. Résultats

Soit,

R_i : masse de chaque classe granulaire d_i/D_i en grammes.

$$M_i = \sum R_i.$$

La valeur obtenue peut être légèrement inférieure à M_0 (masses éliminées correspondant au refus sur un tamis de 80 mm et passant sur un tamis de 4 mm) mais ne doit pas s'en écarter de plus de 2%.

m_i : masse des éléments de chaque classe granulaire passant à travers la grille à fentes correspondante

$$M_2 = \sum m_i$$

Pour chaque classe granulaire d_i/D_i donnée, le coefficient d'aplatissement partiel est défini comme étant

$$\text{égal à : } A_i = \frac{m_i}{R_i} \times 100$$

Le coefficient d'aplatissement global A s'exprime en intégrant les valeurs partielles déterminées pour

$$\text{chaque classe granulaire, soit : } A = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

4. Masse volumique apparente

4.1. Principe

La masse volumique apparente (nécessaire lors de la formulation d'une composition de béton pour connaître le dosage volumétrique des granulats) ρ_{app} est la masse de granulats secs M_S occupant un volume apparent V_{app} ($V_{app} = V_{solide} + V_{air}$) :

$$\rho_{app} = \frac{M_S}{V_{app}}$$

La détermination de la masse volumique apparente se fait donc simplement en mesurant la masse et le volume correspondant de matériau. Par ailleurs, pour diminuer l'effet de paroi, il est nécessaire d'utiliser un récipient suffisamment grand.

4.2. Matériel nécessaire

- Un récipient de volume connu :

D'un litre pour des granulats de dimension $D \leq 20$ mm
Plus d'un litre pour des granulats de dimension $D > 20$ mm.

- Une règle à araser métallique.
- Une balance de portée 5 kg.
- Des bacs en plastique pour effectuer les essais + 1 main écope pour le remplissage

4.3. Matériaux

Il faut :

- Un échantillon de graviers secs (4/8 et 8/15)
- Un échantillon de sable sec (0/3)

Ces échantillons sont préalablement séchés à l'étuve.

4.4. Mode opératoire

- Mesurer le volume V et la masse M_1 d'un récipient propre et vide.
- Verser les granulats secs par couches successives sans tassement et en se servant des deux mains comme entonnoir naturel.
- Araser à l'aide de la règle métallique
- Peser l'ensemble et noter la masse du récipient rempli M_2 .
- Renouveler l'opération deux fois.
- Remplir le document réponse.

4.5. Résultats

La masse volumique apparente ρ_{app} est donné par :

$$\rho_{app} = \frac{\text{Masse des granulats secs}}{\text{Volume du recipient}} = \frac{M_2 - M_1}{V}$$

5. Masse volumique absolue

5.1. Principe

La masse volumique absolue (ou masse spécifique) est la masse de granulats secs M_s rapportée au volume absolu V_s (volume du solide sans les vides) :

$$\rho_{abs} = \frac{M_s}{V_s}$$

La mesure du volume des solides ne tient pas compte des pores fermés contenus par les granulats. Aussi, un matériau tassé ou comprimé voit sa masse volumique apparente ρ_{app} tendre vers sa masse volumique spécifique ρ_{abs} . Si l'on veut réellement mesurer la masse spécifique ρ_{abs} d'un corps poreux, il faut le réduire en poudre suffisamment fine pour que chaque grain soit constitué de matière solide.

La détermination de ρ_{abs} est nécessaire pour le dosage pondéral. Le plus souvent, elle est mesurée à l'aide du pycnomètre ou d'une éprouvette graduée (à bord rodé) quand les granulats ne sont pas trop poreux.

5.2. Matériel nécessaire

- Deux éprouvettes graduées en plastique.
- Un pycnomètre.
- Une pissette.
- Une tige agitatrice.
- Un entonnoir pour le remplissage.
- Une balance de portée 5 kg.
- Des bacs en plastique pour effectuer les essais.
- Une main écope.

5.3. Matériaux

On a besoin :

- Un échantillon de gravier sec.
- Un échantillon de sable sec.

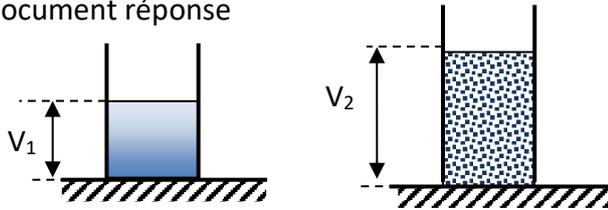
5.4. Mode opératoire

5.4.1. Mesure à l'aide d'une éprouvette graduée

L'essai se fait comme ce qui suit :

- Placer l'éprouvette dans le bac en plastique.
- Verser de l'eau dans l'éprouvette (demi - hauteur) et noter le volume V_1
- Préparer un échantillon de granulats secs de masse M_1 (environ 200 à 300 g) et verser le à l'aide de l'entonnoir dans l'éprouvette.
- Remuer le mélange à l'aide de la tige agitatrice pour faire disparaître les vides (air).
- Noter le nouveau volume d'eau dans l'éprouvette V_2
- Renouveler l'opération 2 fois.

- Remplir le document réponse



5.4.2. Mesure à l'aide du pycnomètre (dite du ballon)

- Verser de l'eau dans le pycnomètre jusqu'au trait repère et déterminer avec précision la masse M_1 du ballon rempli d'eau.
- Vider une partie du pycnomètre et déterminer M'_2 .
- Verser un échantillon de granulats secs (environ 50 g) dans le pycnomètre à l'aide de la main écope. Remuer avec la tige agitatrice pour faire disparaître les vides. Noter la masse M''_2 .
- Compléter le niveau d'eau dans le pycnomètre jusqu'au trait repère et noter la nouvelle masse M_3 .
- Répéter la manipulation 3 fois et calculer la moyenne.
- Remplir le document réponse.

5.5. Résultats

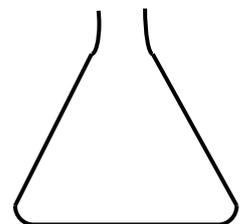
Pour la mesure au moyen d'une éprouvette graduée, la masse volumique absolue est :

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M_1}{V_2 - V_1} \quad (\text{g/cm}^3 \text{ ou kg/dm}^3 \text{ ou t/m}^3)$$

À l'aide du pycnomètre, on a :

$M_2 = M''_2 - M'_2$ = masse de granulat sec introduit dans le ballon (pycnomètre)

$M_e = M_1 + M_2 - M_3$ = masse de l'eau chassée par l'intermédiaire du granulat



La masse volumique de l'eau étant sensiblement égale à 1 g/cm^3 à température ambiante, on a donc :

$$V_e \approx M_e$$

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M_2}{(M_1 + M_2) - M_3} = \frac{M_2}{V_e}$$

Démonstration

$M_3 = (M_1 + M_2) - M_e \rightarrow M_e =$ masse d'eau chassée

$$\rho_w = \frac{M_e}{V_e} \rightarrow M_e = V_e \times \rho_w$$

$$\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3 \rightarrow M_e = V_e$$

Il vient donc : $M_3 = (M_1 + M_2) - V_e$

$$\text{Le volume d'eau chassée est : } V_e = \frac{M_2}{\rho_{\text{abs}}} \rightarrow M_3 = (M_1 + M_2) - \frac{M_2}{\rho_{\text{abs}}}$$

Ce qui donne :

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M_2}{(M_1 + M_2) - M_3}$$

En Algérie, la masse volumique absolue des granulats naturels est comprise entre 2,6 et 2,8 g/cm³.

6. Mesure du foisonnement d'un sable

6.1. Principe

Lorsque le sable contient un peu d'humidité, son volume augmente, *il foisonne*. Le phénomène s'estompe lorsque l'humidité devient importante. Pour mettre en évidence ce phénomène, le principe de mesure consiste à travailler sur un volume constant et d'observer les variations de la masse volumique apparente au fur et à mesure que la teneur en eau augmente.

6.2. Matériel nécessaire

- Un récipient de volume égal à un litre.
- Un bac en plastique pour effectuer les essais.
- Un entonnoir.
- Une balance de portée 5 kg.
- Une règle à araser.
- Une pipette.
- Une main écope pour le remplissage.

6.3. Matériau

Un échantillon de sable sec (échantillon préalablement séché à l'étuve) de masse $M_S = 2000$ g.

6.4. Mode opératoire

- Préparer dans le bac en plastique la masse initiale de sable sec ($M_S = 2000$ g pour $\omega = 0\%$).
- Placer le récipient d'un litre dans le bac et remplir sans tasser le récipient de cet échantillon de sable en se servant des mains comme entonnoir. Araser à l'aide de la règle et peser le récipient rempli de sable. Le surplus de sable reste dans le bac. Cela indique la masse représentant un litre de sable sec, soit M_0 .
- Déterminer la masse volumique apparente du sable sec : $\rho_0 = \frac{M_0}{V}$
- Reconstituer la totalité de l'échantillon de sable en vidant le récipient d'un litre dans le bac.
- Humidifier le sable en ajoutant 1 % d'eau, soit 20 g d'eau pour 2000 g de sable sec. Bien mélanger avec la spatule pour homogénéiser l'humidité du sable.

- Remplir comme précédemment le récipient et peser, soit M_1 la masse du sable contenu dans le récipient. Le phénomène apparait avec l'observation d'une diminution de la masse : *il y a moins de sable qui occupe le même volume.*
- Déterminer la masse volumique $\rho_1 = \frac{M_1}{V}$ pour $\omega = 1 \%$.
- Renouveler l'expérience en augmentant l'humidité du sable par ajout d'eau afin d'observer l'évolution du phénomène. Conduire les essais pour les teneurs en eau suivantes : 2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %, 7 %, 8 %, 9 %, 10 %, 12 %, 14 % et 16 %.
- Remplir le document réponse.

Remarques

- L'eau est introduite directement dans le sable à l'aide d'une pipette.
- Le temps d'absorption doit être supérieur à deux minutes.

6.5. Analyse

- Tracer une courbe [$\rho_{app} = f(\omega)$] pour visualiser l'ensemble des mesures en fonction de la teneur en eau.
- Analyser la courbe et déterminer la teneur en eau pour laquelle le phénomène est maximum.
- Vers quelle valeur tend ρ_{app} si l'on augmente indéfiniment la teneur en eau ?

*

MESURE DES MASSES VOLUMIQUES

DOCUMENT REPONSE 1g

Masse volumique d'un gravier

Masse volumique apparente

Mesure	1	2	3
Volume du récipient : V (cm ³)			
Masse du récipient vide : M_1 (g)			
Masse du récipient plein : M_2 (g)			
Masse de l'échantillon : M (g)			
Masse volumique apparente : ρ_{app} (g/cm ³)			
ρ_{app} (g/cm ³)			

Masse volumique absolue (masse spécifique) par la méthode de l'éprouvette

Mesure	1	2	3
Volume d'eau : V_1 (cm ³)			
Masse de l'échantillon : M (g)			
Volume d'eau + échantillon : V_2 (cm ³)			
Volume absolu : V_s (cm ³)			
Masse volumique absolue : ρ_{absi} (g/cm ³)			
ρ_{app} (g/cm ³)			

Masse volumique absolue par la méthode du ballon (ou méthode du pycnomètre)

Mesure	1	2	3
Masse du ballon plein d'eau : M_1 (g)			
Masse de l'échantillon : M_2 (g)			
Masse du ballon plein d'eau contenant l'échantillon : M_3 (g)			
Masse d'eau chassée (g) : M (g)			
Volume absolu : V_s (cm ³)			
Masse volumique absolue : ρ_{absi} (g/cm ³)			
ρ_{app} (g/cm ³)			

PROPRETE DES GRANULATS

DOCUMENT REPONSE 2g

Equivalent de sable

Sable	S ₁		S ₂		S ₃	
	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 1	Eprouvette 2
Masse de l'éprouvette						
Hauteur h ₁ (mm)						
Hauteur h ₂ (mm)						
$100 \times \frac{h_2}{h_1}$						
ES (moyenne)						
Commentaires						

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

DOCUMENT REPONSE 3g

Analyse granulométrique d'un sable + Module de finesse

Destimé =				M _{min} =			
Masse sèche totale M ₁		Masse sèche après lavage M ₂				Masse des fines retirées après lavage M ₁ - M ₂	
Sable S ₁ =	Sable S ₂ =	Sable S ₁ =	Sable S ₂ =		Sable S ₁ =	Sable S ₂ =	
Module *	Ouvertures des tamis (mm)	Masse de refus cumulés (R _i)		Pourcentage de refus cumulés (R _i /M ₁) x100		Pourcentage de tamisats cumulés 100 - (R _i /M _i) x100	
		Sable S ₁	Sable S ₂	Sable S ₁	Sable S ₂	Sable S ₁	Sable S ₂
39	6,3						
38	5						
37	4						
36	3,15						
35	2,5						
34	2						
33	1,6						
32	1,25						
31	1						
30	0,8						
29	0,63						
28	0,5						
27	0,4						
26	0,315						
25	0,25						
24	0,20						
23	0,16						
22	0,125						
21	0,10						
20	0,08						
19	0,063						
Matériau resté au fond : P							
Pourcentage de tamisât de fines (f) sur le tamis de 63 μm : $\frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ Sable S ₁ = _____ Sable S ₂ = _____							
Validité de l'essai				Sable S ₁		Sables ₂	Observations
ΣR _i + P							
{ [M ₂ - (ΣR _i + P)] / M ₂ } x 100 = ? < 1 %							
Module de finesse M _f							
(*) Les tamis sont définis par la norme [EN 933-2]. Les dimensions successives des mailles (carrées) suivent une progression géométrique de raison : <ul style="list-style-type: none"> - $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$ pour l'ancienne série française - $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$ pour la nouvelle série européenne Dans le cas de l'ancienne série française, le module d'un tamis est le produit par 10 du logarithme décimal de l'ouverture exprimée en micron plus une unité. Par exemple, le tamis de 8 mm a pour module : 10 log (8000) + 1 = 40							

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

DOCUMENT REPONSE 4g

Correction du module de finesse

1- Recherche du module de finesse

1.1. Calcul du module de finesse du sable fin S_1

$$M_{F1} = \dots\dots\dots$$

1.2. Calcul du module de finesse du sable grossier S_2

$$M_{F2} = \dots\dots\dots$$

2- Calcul des pourcentages de mélange des sables S_1 et S_2

$$\text{Sable } S_1 = \dots\dots\dots$$

$$\text{Soit : } \dots\dots\dots\%$$

$$\text{Sable } S_2 = \dots\dots\dots$$

$$\text{Soit : } \dots\dots\dots\%$$

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

DOCUMENT REPONSE 5g

Analyse granulométrique d'un gravier

Destimé =		M _{min} =		
Masse sèche totale M ₁ =		Masse sèche après lavage M ₂ =		Masse des fines retirées après lavage M ₁ - M ₂ =
Module	Ouvertures des tamis (mm)	Masse de refus cumulés (R _i)	Pourcentage de refus cumulés (R _i /M ₁) x100	Pourcentage de tamisâts cumulés 100 - (R _i /M ₁) x100
50	80,0			
49				
48				
47	40,0			
46				
45				
44	20,0			
43				
42				
41	10,0			
40				
39	6,3			
38	5,0			
37	4,0			
36	3,15			
35	2,5			
32	1,25			
29	0,63			
26	0,315			
23	0,16			
20	0,08			
Matériau resté au fond : P				
Pourcentage de tamisât de fines (f) sur le tamis de 80µm : $\frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$				
Validité de l'essai				Observations
ΣR _i + P				
{[M ₂ - (ΣR _i + P)] / M ₂ } x 100 = ? < 1 %				

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

DOCUMENT REPONSE 6g

Détermination du coefficient d'aplatissement

Masse de la prise d'essai $M_0 = \dots\dots\dots g$		Refus sur un tamis de 80 mm = $\dots\dots\dots g$ Passant sur un tamis de 4 mm = $\dots\dots\dots g$ Somme des masses éliminées = $\dots\dots\dots g$		
Tamissage sur tamis d'essai		Tamissage sur grilles à fentes parallèles		
Granulat élémentaire d_i/D_i (mm)	Masse (R_i) du granulat élémentaire d_i/D_i (g)	Ecartement nominal des fentes de la grille (mm)	Passant sur une grille à fente m_i (g)	$A_i = \frac{m_i}{R_i} \times 100$
63 - 80		40		
50 - 63		31.5		
40 - 50		25		
31.5 - 40		20		
25 - 31.5		16		
20 - 25		12.5		
16 - 20		10		
12.5 - 16		8		
10 - 12.5		6.3		
8 - 10		5		
6.3 - 8		4		
5 - 6.3		3.15		
4 - 5		2.5		
$M_1 = \sum R_i$ $= \dots\dots\dots g$		$M_2 = \sum m_i =$ $\dots\dots\dots g$		
$A = \frac{M_2}{M_1} \times 100 = \dots\dots\dots$				
$100 \times \frac{M_0 - \{\sum R_i + \sum (\text{masses éliminées})\}}{M_0} = \dots\dots\dots < 1\%$				

MESURE DU FOISONNEMENT

DOCUMENT REPONSE 7g

Foisonnement du sable

Volume du moule vide (cm ³) : V =
Masse du moule vide (g) : M =
Masse mesure sèche (masse d'un litre de sable sec) : M ₀ =

Teneur en eau ω %	Quantité d'eau introduite (g)	Masse totale humide (g)	Masse nette humide (g)	Masse volumique apparente humide : $\rho_{app} = \frac{M_h}{V}$
0 %				
1 %				
2 %				
3 %				
4 %				
5 %				
6 %				
7 %				
8 %				
9 %				
10 %				
12 %				
14 %				
16 %				