

**ROYAUME DU MAROC**  
**MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS**  
**DIRECTION DES ROUTES**

## **ESSAIS DE LABORATOIRE**

**CENTRE NATIONAL DES ÉTUDES ET DE RECHERCHES ROUTIÈRES**

# SOMMAIRE

## **MODULE 1 : Essais sur sols et matériaux granulaires**

- 1- Analyse granulométrique par tamisage
- 2- Limites d'Atterberg
- 3- Valeur au bleu des sols
- 4- Essai de fragmentabilité
- 5- Essai de dégradabilité
- 6- Essai Proctor
- 7- Essai CBR
- 8- Teneur en carbonates
- 9- Equivalent de sable
- 10- Equivalent de sable à 10% de fine
- 11- Valeur au bleu des matériaux granulaires
- 12- Propreté superficielle
- 13- Essai Los Angeles
- 14- Fragmentation dynamique
- 15- Essai Micro-Deval
- 16- Essai de friabilité des sables
- 17- Coefficient d'aplatissement

## MODULE 1

Essais sur sols et matériaux granulaires

# 1- Analyse granulométrique par tamisage

## REFERENCE :

**P 18 – 560**

## OBJET :

L'essai a pour objet de déterminer la répartition des grains d'un matériau, de tailles supérieures à 80µm, suivant leur dimension au moyen d'une série de tamis à mailles carrées.

Cet essai s'applique à la description des matériaux en vue de leur classification, à la détermination des classes granulométriques et à la vérification des conditions granulométriques imposées. Il contribue à apprécier les qualités drainantes et la sensibilité à l'eau des matériaux ainsi que leur aptitude au compactage.

## PRINCIPE

L'essai consiste à fractionner un matériau au moyen d'une série de tamis à mailles carrées de dimensions décroissantes.

Les masses des différents refus cumulés ou celles des différents passants sont reportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

## MODE OPERATOIRE

- Prendre deux échantillons, à partir de l'échantillon de laboratoire, l'un de masse **mh**, pour déterminer la teneur en eau, et l'autre, de masse **Mh** supérieure à 0.2 D (avec Mh en Kg et D est la plus grande dimension dans le matériau à tamiser en mm) pour réaliser l'essai.
- Sécher à l'étuve (à 105°C) le premier échantillon jusqu'à masse constante. Soit **ms** sa masse sèche. La masse sèche (**Ms**) de l'échantillon soumis à l'analyse granulométrique est calculée de manière suivante :

$$Ms = (ms/mh) \times Mh$$

- Tremper le deuxième échantillon préalablement au lavage, pendant un temps fonction de l'argilosité du matériau.

- Laver le matériau sur le tamis de maille correspond a la plus petite maille de la colonne utilisée lors du tamisage.Ce tamis doit être protégé par un ou plusieurs tamis de décharge.
- Eliminer le tamisât avec les eaux de lavage ( éventuellement récupérer pour d'autre analyses).
- Récupérer le refus et le sécher jusqu'a masse constante soit **Ms1** la masse correspondante. Le passant dans les eaux de lavage (Pnl) est calcule comme suit :  

$$Pnl = (Ms - Ms1)$$
- Emboîter les tamis en colonne en mode décroissant ( ç-a-d le plus grossier en haut et le plus fin en bas) et verser le matériau dans cette colonne et l'agiter manuellement.
- Reprendre, un par un, les tamis en adaptant un fond et un couvercle.On agite chaque tamis en donnant a la main des coups réguliers sur la monture. En suite peser le refus cumulé sur ce tamis (Ri).
- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.Une fois on a parcouru tous les tamis, peser le dernier tamisât (Pns). Le tamisât total au dernier tamis est:  $Pn = Pnl + Pns$

### **EXPRESION DES RESULTATS**

- Calculer, pour chaque tamis, les pourcentages des refus cumulés :

$$100 \times Ri/Ms$$

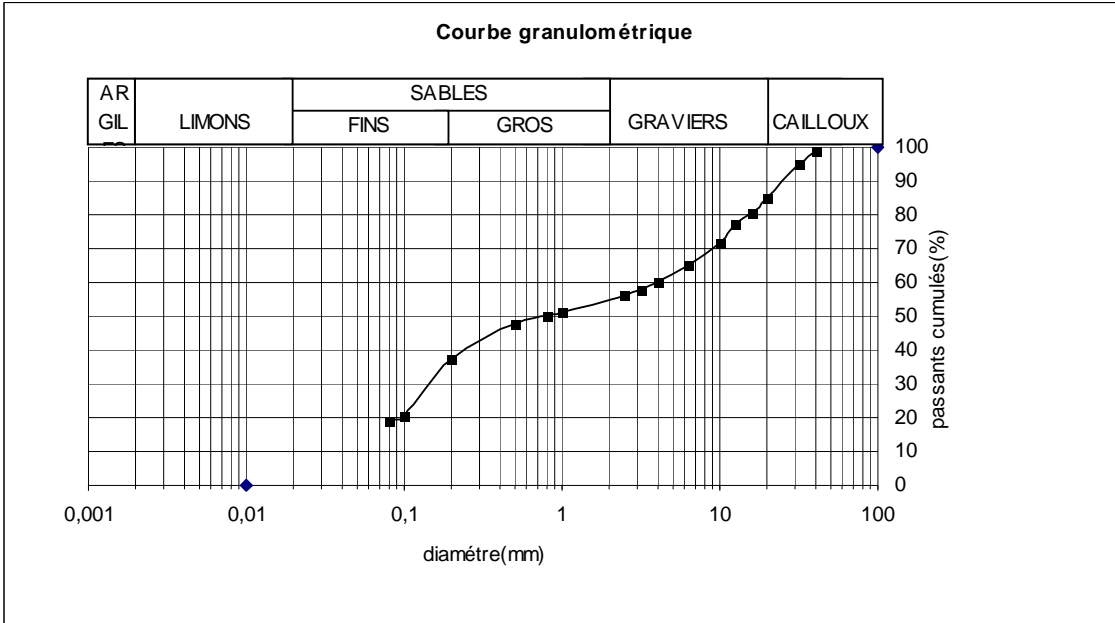
- Calculer, pour chaque tamis, les pourcentages des tamisâts correspondants :

$$Pi (\%) = 100 - (100 \times Ri/Ms)$$

- Construire la courbe **Pi(%) = f(di)** en échelle semi-logarithmique .  
di : ouverture de tamis de rang i

### **Commentaire :**

- La somme des masses,  $\sum Ri$  et Pns , ne doit pas différer de plus de 2% de la masse Ms1.
- Un matériau dont la courbe granulométrique est uniforme (serrée) est difficile à compacter.
- Un matériau dont la courbe granulométrique étalée discontinue est sujet à la ségrégation.



**Exemple de courbe granulométrique**

## 2- Limites d'Atterberg

### **REFERENCE**

NF P 94-051

### **OBJET**

L'essai a pour objet la détermination des deux limites d'Atterberg ( limite de liquidité à la coupelle et le limite de plasticité au rouleau). L'indice de plasticité est la différence entre ces deux limites.

L'essai s'effectue sur le mortier (éléments inférieurs à 0.4 mm), permet d'apprécier le caractère argileux ou plastique du matériau et contribue à sa classification ( LCPC et RTR).

### **PRINCIPE**

L'essai se réalise en deux phases :

- recherche de la limite de liquidité (**W<sub>l</sub>**) : c'est la recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans le matériau placé dans la coupelle se ferme( sur une longueur de 1 cm) après 25 chocs normalisés.
- Recherche de la limite de plasticité (**W<sub>p</sub>**) : c'est la recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de 3mm, confectionné à la main, se fissure.

### **MODE OPERATOIRE**

**Préparation de la prise d'essai :**

- Prendre un échantillon du matériau de masse m égale a 0.2D environ (m en Kg et D est la dimension des plus gros éléments de sol en mm).
- Mettre cet échantillon à imbiber dans un récipient d'eau pendant au moins 24h. ..Une fois est imbibe, le matériau est tamisé par voie humide au tamis de 0.4mm. L'eau de lavage et le tamisât sont recueillis dans un bac.
- Apres une durée de décantation , l' eau claire est siphonnée sans entraîner de particules solides. L'eau excédentaire est évaporée a une température ne dépassant pas 50°C.

### **Détermination de la limite de liquidité (Wl) :**

- Avant de procéder à l'essai, s'assurer d'abord que la hauteur de la chute de la coupelle est de 10mm. Faire des réglages s'il est nécessaire.
- Malaxer une quantité de 300g environ du tamisât obtenu à 0.4mm, afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide.
- Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche, une masse environ 70g de pâte. Cette pâte étalée en plusieurs couches afin d'éviter d'emprisonner des bulles d'air. Puis partager cette pâte en deux avec l'outil à rainuré.
- Soumettre la coupelle à une série de chocs à la cadence de 2 coups par seconde jusqu'à la fermeture des deux lèvres de la rainure sur une longueur de 1 cm. Noter le nombre de chocs (N) correspondant. Si N est inférieur à 15, on recommence en séchant le matériau.
- Prélever dans la coupelle, à l'aide d'une spatule, environ 5g de pâte, de chaque cote des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées pour déterminer la teneur en eau (W).
- Effectuer l'opération complète au moins quatre fois sur la même pâte, mais avec une teneur en eau différente à chaque fois. Les nombres de chocs de la série d'essais doivent encadrer 25.

### **Détermination de la limite de plasticité :**

- Former une boulette à partir de la pâte précédente. Puis la rouler, à la main, sur une plaque lisse de façon à obtenir un rouleau qui est aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne 3 mm de diamètre. La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteint 3 mm. Si aucune fissure n'apparaît, malaxer tout en séchant légèrement la pâte et en suite reformer un nouveau rouleau.
- Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau pour déterminer la teneur en eau.
- Effectuer un deuxième essai.



## EXPRESSION DES RESULTATS

- Tracer la droite moyenne  $W = f(N)$  dans une échelle semi-logarithmique. La limite de liquidité (Wl) est la teneur en eau qui correspond à 25 chocs.
- La limite de plasticité (Wp) est la moyenne arithmétique des teneurs en eau obtenues à partir de deux essais.
- L'indice de plasticité est la différence entre les valeurs des limites de liquidité et de plasticité.

$$IP = Wl - Wp$$

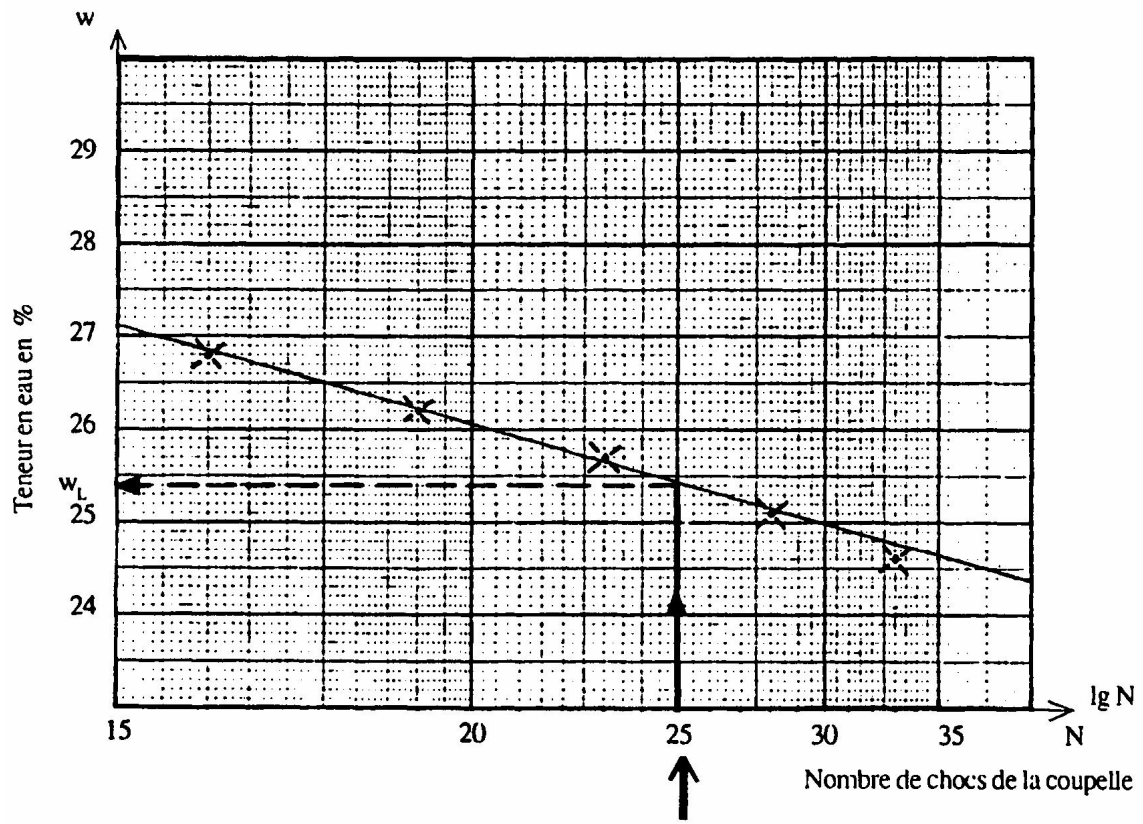
### Commentaire :

- Cet essai est significatif pour les matériaux de plasticité appréciable.
- Plus l'IP est grand, plus le caractère argileux du matériau est fort et il faudra une grande variation de teneur en eau pour modifier son état.
- On distingue généralement les seuils suivants:

$IP < 5$	matériau non plastique
$5 < IP < 15$	matériau peu plastique
$15 < IP < 40$	matériau plastique
$IP > 40$	matériau très plastique
- Pour apprécier davantage la consistance et la traficabilité d'un matériau, on détermine l'indice de consistance (**Ic**) défini par :

$$Ic = \frac{Wl - Wnat}{IP}$$

On retient généralement les matériaux dont  $1 \leq Ic < 1.5$



## 3- Valeur de bleu de méthylène des sols

### REFERENCE

NF P 94-068

### OBJET

L'essai a pour objet la détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol, cette valeur mesure globalement la quantité et l'activité de la fraction argileuse contenue dans ce sol. C'est l'un des paramètres d'identification sur lequel s'appuie la classification des sols (classification RTR).

### PRINCIPE

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant adsorber sur le matériau mis en suspension dans l'eau. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout au moyen d'une tache sur un papier filtre. L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu claire persistante se produit à la périphérie de la tache.

### MODE OPERATOIRE

- Préparer trois prises d'essais de la fraction 0/5 mm, de masses sensiblement égales et de l'ordre de :
  - 30g à 60g pour les sols argileux à très argileux
  - 60g à 120g pour les sols moyennement à peu argileux
- Introduire la première prise d'essai de masse **m1** dans le récipient la mettre en suspension dans 500 cm d'eau distillée à l'aide de l'agitateur à ailettes (vitesse 700 tr/min) au minimum durant 5 min. Utiliser la 2eme prise d'essai de masse **m2** pour déterminer la teneur en eau (**w**). Conserver la 3eme prise d'essai dans un sac en prévision de l'éventualité où l'essai devant être renouvelé.
- Effectuer une injection de 5ml de solution de bleu (10 ml pour les sols très argileux). Puis procéder, au bout de 1 min, au test à la tache.
- Procéder ainsi jusqu'à ce que le teste devient positif( apparition de l' auréole bleu clair dans la zone humide périphérique de la tache) .A ce moment sans rien ajouter , on laisse s'opérer l'adsorption du bleu qui n'est pas instantanée, tout en effectuant des tests de minute en minute, si l'auréole disparaît à la cinquième tache on procède à de nouvelles additions élémentaires de bleu de 2 ml (5 ml pour les sols très argileux). Chaque addition est suivie de tests effectués toujours de minute en minute jusqu'à ce

que le test devient positif pendant la cinquième minute .Noter le volume **V** de bleu versé.

### **EXPRESSION DES RESULTATS**

- Teneur en eau de l'échantillon soumis à l'essai (0/5 mm) :

$$w = (m_2 - m'_2)/m'_2 \quad (m'_2 : \text{masse sèche de la deuxième prise d'essai})$$

- Masse sèche de la prise d'essai :

$$m_0 = m_1 / (1+w)$$

- Masse de bleu introduite (en gramme) :

$$B = V \times 0.01 \quad (\text{solution de } 10\text{g/l})$$

- Valeur de bleu du sol (VBS), exprimée en gramme de bleu pour 100gr de sol :

$$\text{Pour les sols dont } D_{\max} < 5\text{mm} \quad \mathbf{VBS = 100 \times B/m_0}$$

$$\text{Pour les sols dont } D_{\max} > 5\text{mm} \quad \mathbf{VBS = 100 \times C \times B/m_0}$$

C : proportion de la fraction 0/5mm dans la fraction 0/50mm du sol sec.

### **Commentaire :**

- VBS caractérise mieux les sols faiblement plastique ( $IP < 12$ ), elle es préférable à l'essai classique limites d'atterberg.
- Un matériau est considéré insensible à l'eau quand VBS est inférieur à 0,1. 0,2 constitue le seuil de sensibilité, et au delà de 0,5 le sol est considéré assez sensible.

## 4- Fragmentabilité

### REFERENCE

NF P 94-066

### OBJET

L'essai a pour objet de déterminer le coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux. Ce coefficient constitue un des paramètres représentatifs du comportement de certains matériaux se traduisant par une évolution continue de leur granularité depuis leur extraction jusqu'au terme de leur mise en œuvre et même pour certains matériaux durant la vie de l'ouvrage. Cette évolution est imputable à une résistance structurelle de la roche insuffisante vis-à-vis des sollicitations mécaniques.

Le coefficient de fragmentabilité est un des paramètres d'identification retenu dans la classification des matériaux de remblais et de couches de formes.

### PRINCIPE

L'essai consiste à déterminer la réduction de  $D_{10}$  d'un échantillon de granularité  $d/D$  donnée soumis à pilonnage conventionnel.

Cette réduction s'exprime par le rapport, appelé coefficient de fragmentabilité du matériau FR, définit par :

$$FR = \frac{D_{10} \text{ du matériau avant pilonnage}}{D_{10} \text{ du matériau après pilonnage}}$$

$D_{10}$  : dimension des grains en dessous de la quelle se situe 10% du matériau (en mm).

### MODE OPERATOIRE

- Prélever un échantillon représentatif de la nature et de l'état hydrique du matériau à tester, et préparer la fraction  $d/D$  qui se soumise à l'essai :

10/20mm pour les matériaux issus des roches argileuses de type marnes, argilites,  
40/80mm pour les matériaux issus des roches argileuses de type schiste  
sédimentaires et des roches magmatiques et métamorphiques altérées.

La masse de la prise d'essai doit être de 2 Kg.

- tamiser la fraction  $d/D$  sur un tamis intermédiaire (16mm pour 10/20mm et 50 ou 60mm pour 40/80mm). Peser et noter le refus sur ce tamis.

- Réhomogénéiser la fraction d/D et l'introduire dans le moule CBR. La surface supérieure de l'échantillon doit être régulière que possible, en suite appliquer 100 coups à l'aide de la dame Proctor normal distribués conformément au mode de compactage Proctor.
- Tamiser l'échantillon, après pilonnage, sur les tamis suivants :
  - 1, 2 , 5 , 10 mm            lorsque la fraction soumise à l'essai est 10/20mm
  - 5 , 10 , 20 , 40 mm        lorsque la fraction soumise à l'essai est 40/80mm

peser les refus sur chaque tamis.

## **EXPRESSION DES RESULTATS**

- Tracer les courbes granulométriques de la fraction soumise à l'essai avant et après pilonnage.
- Déterminer, sur ces courbes, les valeurs respectives de  $D_{10}$  du matériau avant et après pilonnage.
- Calculer le coefficient de fragmentabilité **FR**:

## 5- Dégradabilité

### REFERENCE

NF P 94-067

### OBJET

L'essai a pour objet de déterminer le coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux. Ce coefficient constitue un des paramètres représentatifs du comportement de certains matériaux se traduisant par une évolution continue de leurs caractéristiques géotechniques (granularité, argilosité, plasticité,...) par rapport à celles observées immédiatement après leur extraction. Cette évolution est imputable à l'action combinée des agents climatiques ou hydrogéologiques.

Le coefficient de dégradabilité est un des paramètres d'identification retenu dans la classification des matériaux de remblais et de couches de formes.

### PRINCIPE

L'essai consiste à déterminer la réduction de  $D_{10}$  d'un échantillon de granularité  $d/D$  donnée soumis à quatre cycles imbibition-séchage conventionnels.

Cette réduction s'exprime par le rapport, appelé coefficient de fragmentabilité du matériau DG, définit par :

$$DG = \frac{D_{10} \text{ du matériau avant le 1}^{\text{er}} \text{ cycle imbibition-séchage}}{D_{10} \text{ du matériau après le 4}^{\text{eme}} \text{ cycle imbibition-séchage}}$$

$D_{10}$  : dimension des grains en dessous de la quelle se situe 10% du matériau (en mm).

### MODE OPERATOIRE

- Prélever un échantillon représentatif de la nature et de l'état hydrique du matériau à tester, et préparer la fraction  $d/D$  qui se soumise à l'essai :

10/20mm pour les matériaux issus des roches argileuses de type marnes, argilites,  
40/80mm pour les matériaux issus des roches argileuses de type schiste  
sédimentaires et des roches magmatiques et métamorphiques altérées.

La masse de la prise d'essai doit être de 2 Kg.

- Tamiser la fraction  $d/D$  sur un tamis intermédiaire (16mm pour 10/20mm et 50 ou 60mm pour 40/80mm). Peser et noter le refus sur ce tamis.

- Réhomogénéiser la fraction d/D et repartir dans un bac métallique. Celui-ci est alors placé alternativement quatre fois successives en immersion (pendant 8h) dans le bac , puis séchage (pendant 16h) dans une étuve réglée à 105°C.
  
- Tamiser l'échantillon, après la fin des cycles, sur les tamis suivants :
  - 1, 2 , 5 , 10 mm            lorsque la fraction soumise à l'essai est 10/20mm
  - 5 , 10 , 20 , 40 mm        lorsque la fraction soumise à l'essai est 40/80mm

peser les refus sur chaque tamis.

### **EXPRESSION DES RESULTATS**

- Tracer les courbes granulométriques de la fraction soumise à l'essai avant et après exposition aux quatre cycles d'imbibition-séchage.
  
- Déterminer, sur ces courbes, les valeurs respectives de  $D_{10}$  du matériau avant et après les quatre cycles.
  
- Calculer le coefficient de dégradabilité **DG**:



## 6- PROCTOR

### REFERENCE

NF P 94-093

### OBJET

L'essai a pour objet la détermination des caractéristiques de compactage d'un matériau. Ces caractéristiques sont la teneur en eau optimale et la masse volumique sèche maximale. Il se réalise sur la fraction 0/200mm.

### PRINCIPE

Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir des essais dits : Essai Proctor normal ou Essai Proctor modifié, dont le principe est le même, seules diffèrent les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée.

Le principe de ces essais consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, on détermine la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau. La courbe appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau.

### MODE OPERATOIRE

- Prendre une quantité nécessaire à l'exécution de l'essai (voir figure-1)
- Après séchage à 50°C, le matériau est tamisé sur le tamis de 20mm et seul le tamisât est conservé pour l'exécution de l'essai. Ce dernier est homogénéisé et divisé en cinq parts égales.
- Humidifier et malaxer chaque part à une teneur en eau de façon que les teneurs en eau de trois parts au moins soient réparties entre 0.8W<sub>opt</sub> et 1.2W<sub>opt</sub>.
- Conserver chacune des parts en boîtes hermétiques durant un temps fonction de l'argilosité du matériau pour parfaire la diffusion de l'eau.
- Choisir le type de moule, pour exécuter l'essai, selon la granularité du matériau (voir figure-2).

- Choisir la nature d'essai à exécuter :

### **Proctor normal**

- Utiliser la dame Proctor normal (masse : 2490gr ; hauteur de chute : 305mm)
- Nombre de couches : 3
- Energie de compactage : 25 coups par couche(moule Proctor), 56 coups par couche (moule CBR)

### **Proctor modifié**

- Utiliser la dame Proctor modifié (masse : 4535gr ; hauteur de chute : 457mm)
- Nombre de couches : 5
- Energie de compactage : 25 coups par couche (moule Proctor), 56 coups par couche (moule CBR)

- Après compactage de chacune des parts, peser le matériau humide compacté contenu dans le moule .Prendre un échantillon (mh) de ce matériau pour déterminer sa teneur en eau. Peser cet échantillon après sa dessiccation (ms).

## **EXPRESSION DE RESULTATS**

- Pour chacune des parts du matériau compacté, calculer :

$$\text{La teneur en eau (\%)} : W = 100 (ms - mh)/ms$$

$$\text{La masse volumique du sol sec} : \rho_d = (100 \rho_h)/(100+W)$$

$\rho_h$  : masse volumique du sol humide en t/m<sup>3</sup>.

- Tracer la courbe :  $\rho_d = f(W)$ .
- Faire figurer les courbes de saturations, dont l'expression est :

$$\rho_d = [ S_r \cdot \rho_s ] / [ S_r + W \cdot \rho_s / \rho_w ] \quad \text{pour } S_r = 80\% \text{ et } 100\%$$

- Où :
- $\rho_s$  : la masse volumique des grains solides en t/m<sup>3</sup>
  - $\rho_w$  : la masse volumique de l'eau (1t/m<sup>3</sup>)

### Commentaire :

- Pour les sols qui comportent un pourcentage de 20/D compris entre 0 et 30%, les caractéristiques Proctor obtenues sur la fraction 0/20mm soumise à l'essai font l'objet d'une correction :

Pour la teneur en eau :  $W' = W(1 - m/100)$

Où :  $W'$  : teneur en eau optimale du matériau 0/D

$W$  : teneur en eau optimale obtenue sur la fraction 0/20 mm.

$m$  : proportion de la fraction 20/D .

Pour la masse volumique sèche :  $\rho'd = \rho d / [1 + (m/100) ((\rho d / \rho s) - 1)]$

Où :

$\rho'd$  : masse volumique sèche du matériau 0/D .

$\rho d$  : masse volumique obtenue sur la fraction 0/20mm.

$\rho s$  : masse volumique des particules élémentaire du sol.

$M$  : proportion de la fraction 20/D.

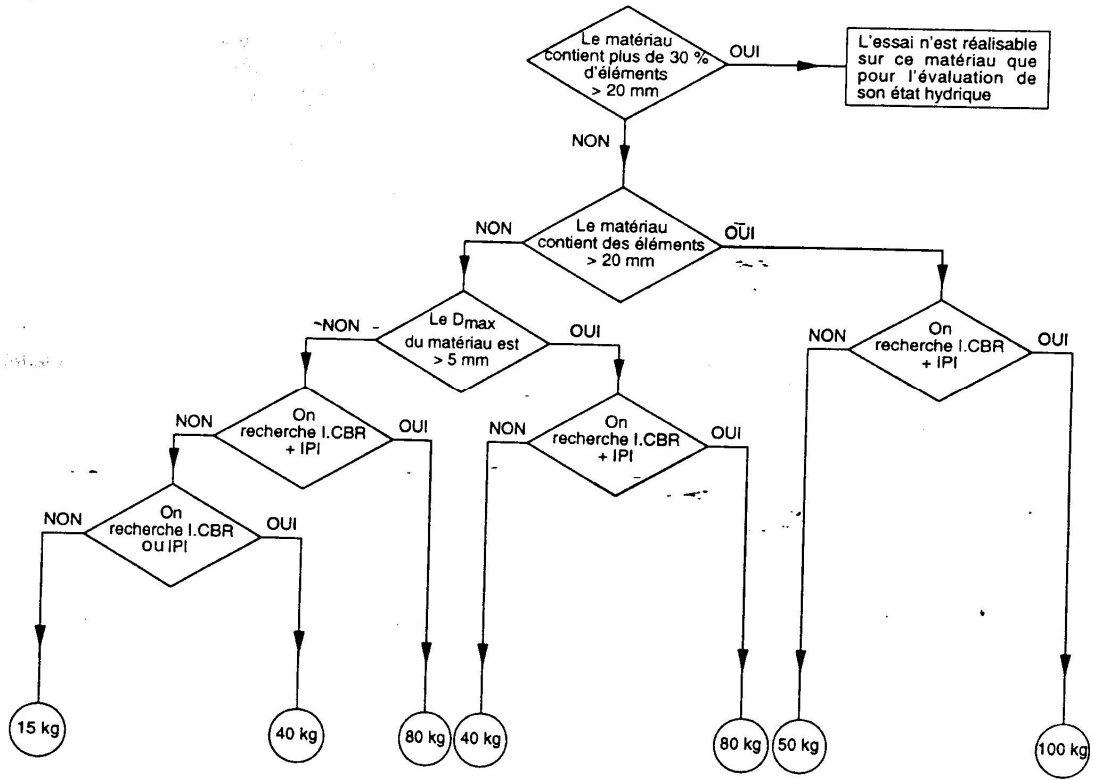


Figure 1 : Diagramme des quantités minimales de matériau sec nécessaires à l'essai

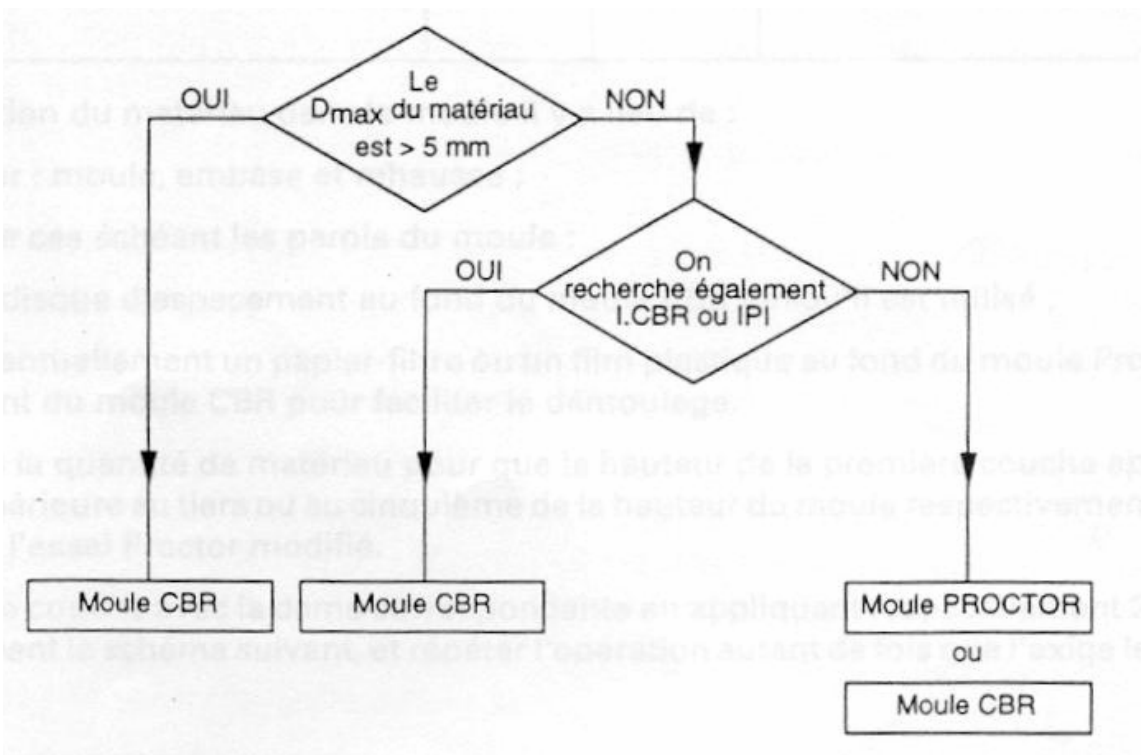
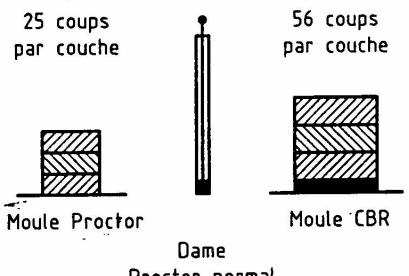
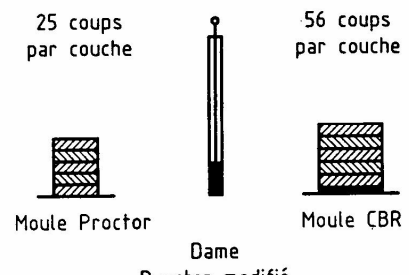
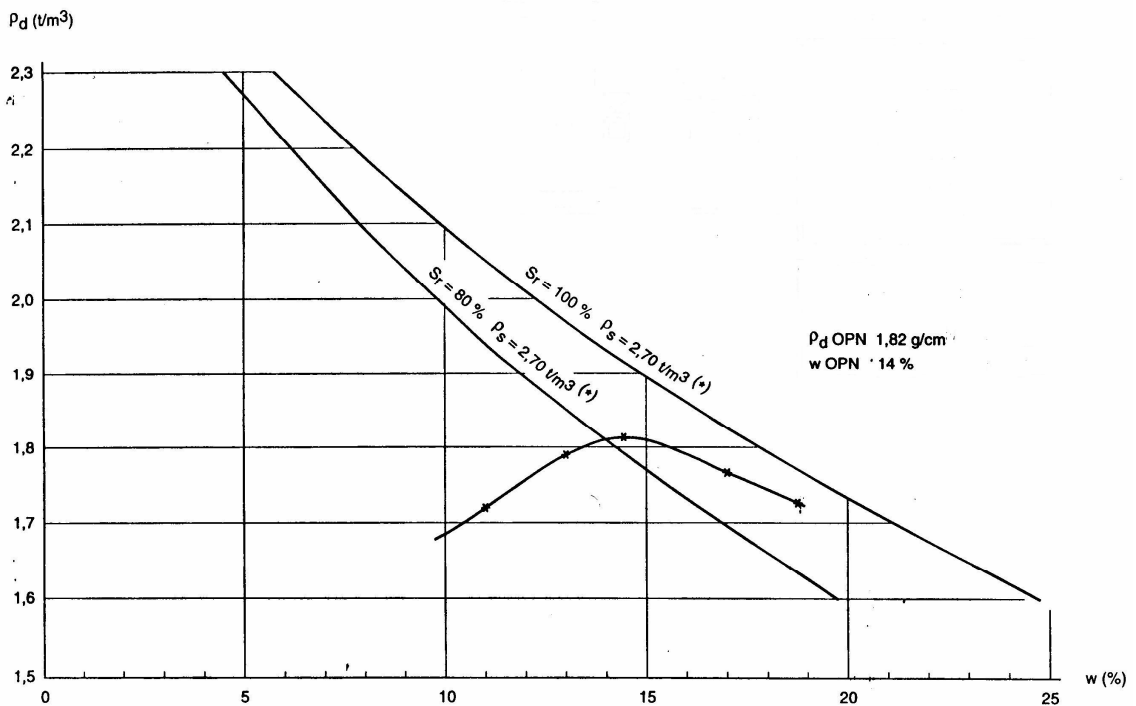


Figure 2 : Choix du type de moule

Nature de l'essai	Caractéristiques de l'essai	Moule Proctor	Moule CBR	Schéma récapitulatif
Essai Proctor normal	Masse de la dame	2 490 g	2 490 g	<p>3 couches, à raison de :</p> <p>25 coups par couche      56 coups par couche</p>  <p>Moule Proctor      Dame Proctor normal      Moule CBR</p>
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm	
	Hauteur de chute	305 mm	305 mm	
	Nombre de couches	3	3	
	Nombre de coups par couche	25	56	
Essai Proctor modifié	Masse de la dame	4 535 g	4 535 g	<p>5 couches, à raison de :</p> <p>25 coups par couche      56 coups par couche</p>  <p>Moule Proctor      Dame Proctor modifié      Moule CBR</p>
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm	
	Hauteur de chute	457 mm	457 mm	
	Nombre de couches	5	5	
	Nombre de coups par couche	25	56	

### Modalités d'exécution des essais Proctor normal et modifié



Exemple de courbe Proctor

## 7- Essai CBR

### **REFERENCE**

NF P 94-078

### **OBJET**

L'essai a pour objet de déterminer la portance d'un matériau, en tant que support ou constituant d'une structure de chaussée, dans des conditions de compactage et de teneur en eau.

### **PRINCIPE**

L'essai s'effectue sur la fraction 0/20mm d'un matériau dont la proportion des éléments supérieurs à 20mm ne dépasse pas 25%.

Il consiste à mesurer les forces à appliquer sur un piston pour le faire pénétrer, à une vitesse normalisée, dans une éprouvette de matériau dans un état de densité et de teneur en eau. Les valeurs particulières des forces ayant provoqué les enfoncements conventionnels, sont rapportées à des valeurs des forces observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements. Par définition l'indice recherché est la valeur maximale de ces rapports.

Dans la pratique, on distingue :

**CBRimmersion** : est le CBR d'un matériau mesuré après 4 jours d'immersion de l'éprouvette avec application des surcharges normalisées.

**CBRimmédiat** : est le CBR d'un matériau mesuré à la teneur en eau de confection de l'éprouvette avec application des surcharges normalisées.

**IPI** : est l'Indice Portant Immédiat mesuré à la teneur en eau de confection de l'éprouvette sans application des surcharges.

### **MODE OPERATOIRE**

#### **Confection des éprouvettes**

- Eliminer, s'ils existent, les éléments supérieurs à 20mm par tamisage, et s'assurer que leur proportion ne dépasse pas 25%.

- Choisir l'ensemble des conditions d'état du matériau (masse volumique sèche, teneur en eau, état de saturation) avec lequel on veut réaliser l'essai. En général, l'essai se réalise à la teneur en eau et à la masse volumique sèche de l'optimum Proctor modifié et à une immersion de 4 jours dans l'eau.
- Préparer, à la teneur en eau choisie, une quantité de matériau de 5,5 Kg dans le cas où l'on recherche l'I.CBRimmédiat ou l'IPI ou de 7Kg dans le cas où l'on cherche l'I.CBRimmersion.
- Compacter le matériau à l'énergie de compactage choisie, avec le matériel et selon les conditions de l'essai Proctor, dans les moules CBR.
- Désolidariser le moule de ses accessoires, le retourner et suite le solidariser à nouveau. Fixer les accessoires de la mise en immersion dans le où l'on cherche l'I.CBRimmersion, sinon, procéder directement au poinçonnement.

### **Exécution de poinçonnement**

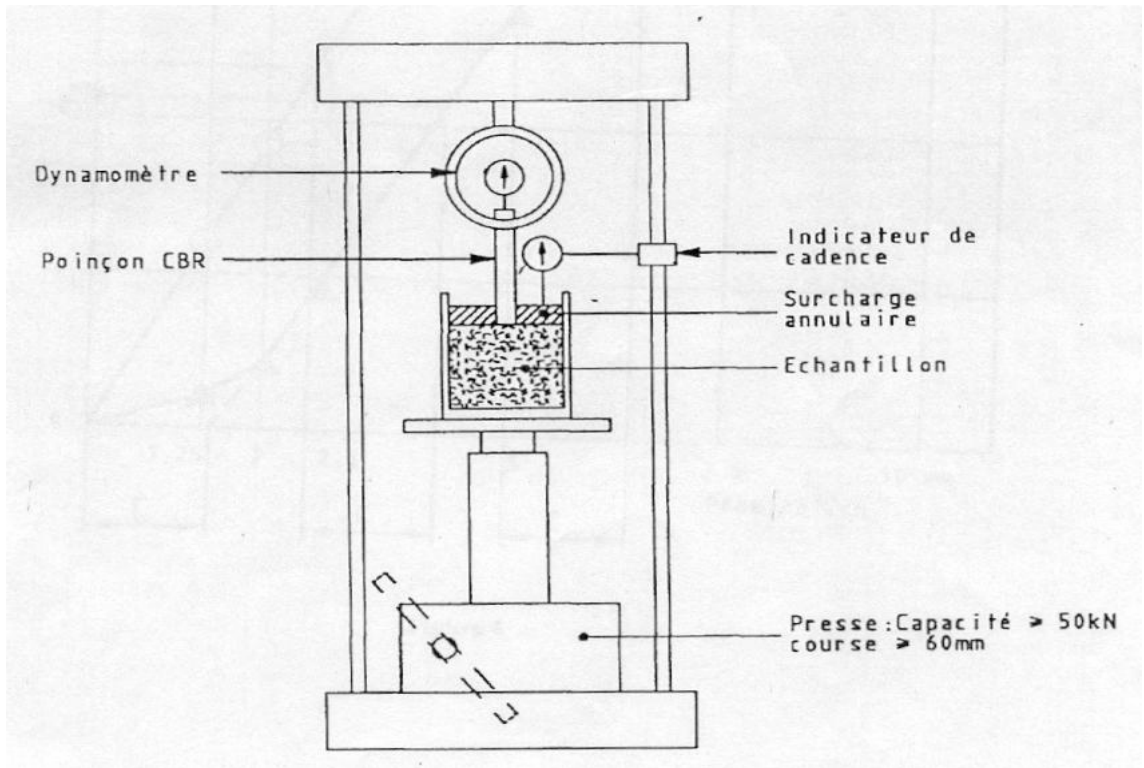
- Poser les disques de surcharge sur la surface supérieure de l'éprouvette dans le cas où l'on cherche l'I.CBR.
- Mettre en contact le piston de la presse avec la surface supérieure de l'éprouvette.
- Régler la mise à zéro des dispositifs de mesure de la force et d'enfoncement.
- Exécuter le poinçonnement et noter au fur et à mesure les efforts correspondant aux enfoncements de 1.25 – 2 – 2.5 – 5 -7.5 et 10mm.

### **EXPRESSION DES RESULTATS**

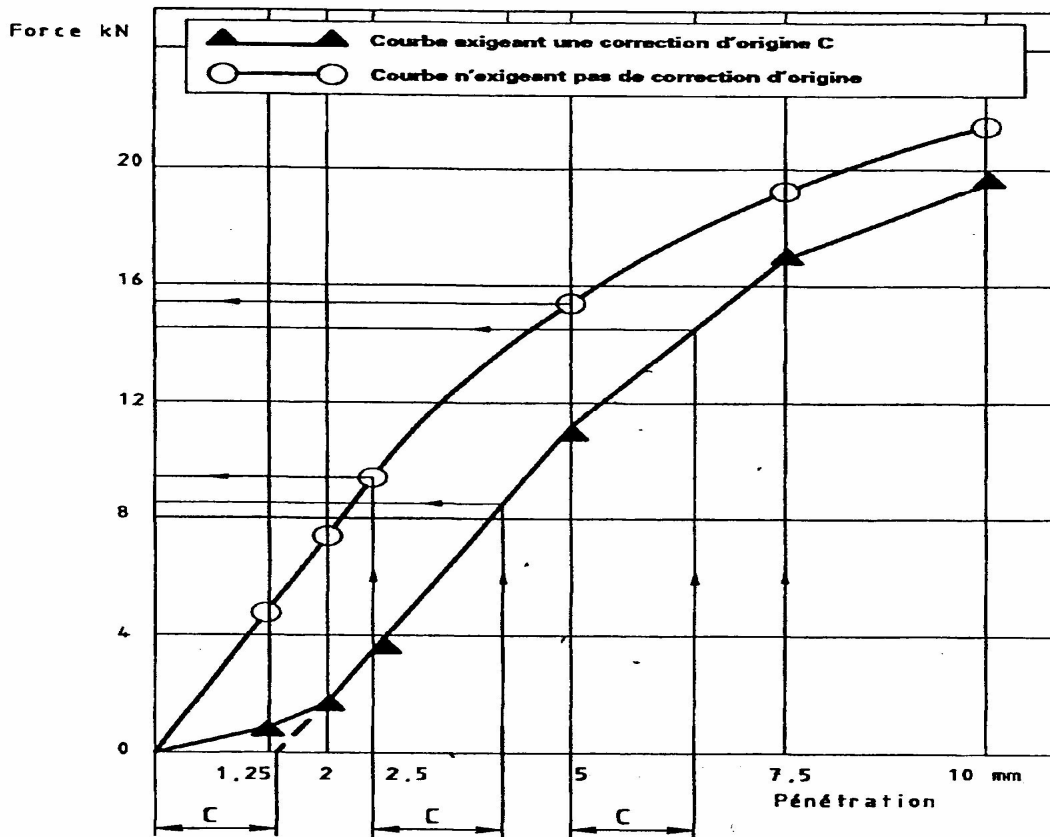
- Construire la courbe : efforts-enfoncements
- Calculer les deux rapports suivants :

$$\frac{\text{Force à 2.5mm d'enfoncement (KN)}}{13} \quad \text{et} \quad \frac{\text{Force à 2.5mm d'enfoncement (KN)}}{20}$$

- L'indice recherché est la plus grande valeur de ces deux rapports.



Exécution du poinçonnement-Exemple



Exemple de courbes : Force = f (Enfoncement)



## 8- Teneur en carbonates

### REFERENCE

NF P 94-048

### OBJET

L'essai a pour objet de mesurer la teneur en carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) contenue dans un matériau.

### PRINCIPE

L'essai consiste à déterminer le volume de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dégagé sous l'action d'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) en excès (dans des conditions de température et de pression atmosphérique connues) par un échantillon préparé pour l'essai.

### MODE OPERATOIRE

- Prendre un échantillon de 50 g environ.
- Après un séchage préalable, le matériau est broyé dans un mortier afin d'obtenir une poudre passant en totalité au tamis d'ouverture 0.4mm.
- Après homogénéisation, prélever deux prises d'essai de masses identiques conformes au tableau suivant :

% carbonaté présumé	< 4	4 à 9	10 à 19	20 à 39	40 à 79	≥ 80
Masse de la prise d'essai (g)	10	5	2.5	1	0.5	0.25

En absence d'information sur la teneur en carbonate présumée, choisir des prises d'essai d'une masse d'environ 1 g.

- Introduire la prise d'essai, une fois pesée (**m**) dans le flacon à réaction propre et sec.
- Remplir le flacon et la burette d'eau distillée. Faire coïncider le niveau bas du flacon avec le zéro en partie haute de la burette.
- Introduire environ 10 cm<sup>3</sup> d'acide chlorhydrique concentré dans un tube à essai placé dans le flacon à réaction.

- Ouvrir le robinet. Obturer le flacon à réaction au moyen de son bouchon.
- Régler le niveau du flacon sur le zéro de la burette. Fermer le robinet et mettre en contact l'acide chlorhydrique avec le matériau. Au fur et à mesure que le dégagement gazeux exerce une pression sur l'eau de la burette, faire coïncider, en déplaçant le flacon, le niveau dans celui-ci et la burette. Agiter le flacon d'essai jusqu'à ce que le niveau d'eau ne varie plus. Attendre 5 mn environ et placer celui-ci dans le bac d'eau de refroidissement à la température ambiante. Après l'équilibre de la température, amener les niveaux dans le même plan horizontal et lire le volume  $V_b$  correspondant sur la burette. Noter la température  $\theta_b$  de la salle d'essai et la pression atmosphérique ( $p$ ).

Dans le cas où l'on veut s'affranchir de la mesure de la pression atmosphérique, le processus d'essai décrit ci-dessus est appliqué à un échantillon témoin de carbonate de calcium pur (de masse  $m_t = 0.25g$ ). Noter, après exécution du processus, le volume du gaz dégagé  $V_t$  et la température de la salle  $\theta_t$ .

### EXPRESSION DES RESULTATS

La teneur en carbonate est calculée par :

- **Cas de l'échantillon témoin**

$$\frac{m_t V_b (\theta_t + 273)}{m V_t (\theta_b + 273)}$$

- **Cas de la pression atmosphérique**

$$\frac{1,2 \cdot V_b \cdot p}{m (\theta_b + 273)}$$

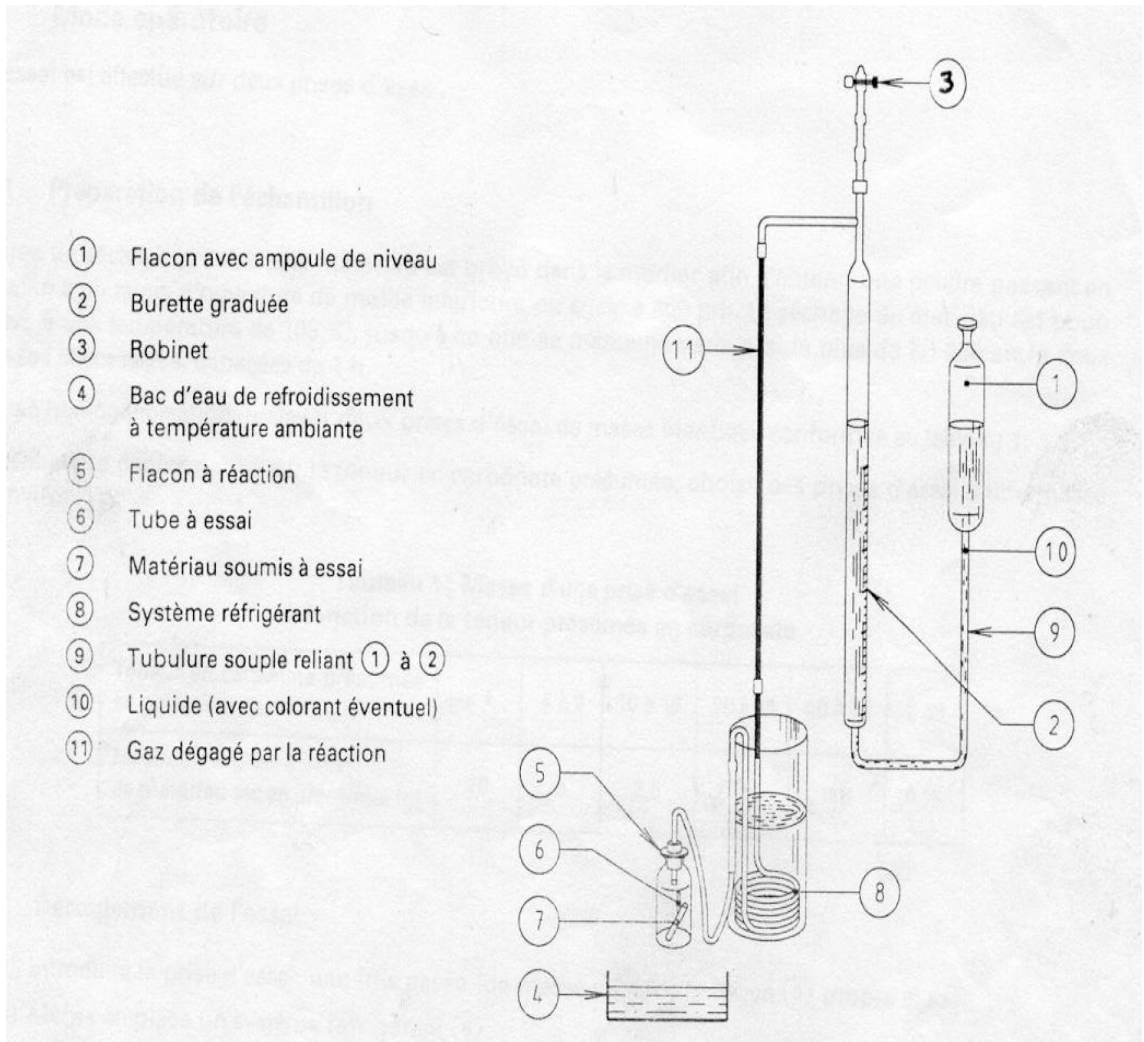
Où :

$p$  en Kpascal

$m$  et  $m_t$  en g

$\theta_b$  et  $\theta_t$  en °C

$V_b$  et  $V_t$  en cm<sup>3</sup>



**Schéma d'un calcimètre - Exemple**

## 9- Equivalent de sable

### REFERENCE

P 18 – 598

### OBJET

L'essai a pour objet de mesurer la propreté d'un sable. Il rend compte globalement de la **quantité** et de la **qualité** des éléments fins, en expriment un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

### PRINCIPE

L'essai s'effectue sur la fraction 0/5mm. Son principe consiste à flocculer un matériau dans une solution lavante normalisée, et à mesurer, après un temps de repos, les hauteurs du sédiment (sable) et du flocculat (fines).

La valeur de l'équivalent de sable (Es) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat de la partie sableuse sédimentée.

### MODE OPERATOIRE

- Préparer un échantillon, passant au tamis de 5mm, de masse 500 à 700g.
- Prendre, à partir de cet échantillon, deux prises de 100 à 200g pour déterminer la teneur en eau **w**.
- Prendre deux prises d'essai de masse chacune, exprime en g, égale à **120(1+ w/100)**.
- Siphonner la solution lavante, déjà préparée, dans l'éprouvette cylindrique, jusqu' au trait repère inférieur.
- Verser la prise d'essai soigneusement a l'aide de l'entonnoir dans l' éprouvette posée verticalement.
- Frapper frottement a plusieurs reprises la bas de l'éprouvette sur la paume de la main pour déloger les balles d'air et favoriser la mouillage de l'échantillon et laisser reposer 10 minutes.
- A la fin de cette période, boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc, puis fixer l'éprouvette sur la machine d'agitation et faire subir à l'éprouvette 90 cycles en 30s
- Remettre l'éprouvette en position verticale, oter le bouchon de caoutchouc et le rincer au dessus de l' éprouvette avec le solution lavante .En descendant le tube laveur dans l'éprouvette rincer les parois de l'éprouvette avec la solution lavante, puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette. Faire remonter les éléments argileux, tout en

- maintenant l'éprouvette en position verticale. Lorsque le niveau du liquide atteint le trait repère supérieur, relever le tube laveur. Laisser reposer pendant 20 min.
- Mesurer à l'aide du réglet la hauteur **h1** du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette.
  - Mesurer également la hauteur **h2** du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.
  - Descendre doucement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. Pendant cette opération, le manchon coulissant prend appui sur l'éprouvette. Bloquer le sur la tige du piston.
  - Mesurer la hauteur **h'2** entre la tête du piston et le manchon coulissant. Arrondir les.
  - Faire un deuxième essai

### **EXPRESSION DES RESULTATS**

- L'équivalent de sable est donné par la formule :

$$\mathbf{E_s = 100 h_2/h_1}$$

- L'équivalent de sable visuel est, dans les mêmes conditions, donné par la formule :

$$\mathbf{E_{sv} = 100 h'^2/h_1.}$$

Ces résultats sont donnés avec une décimale.

La valeur de l'équivalent de sable est la moyenne des deux essais. Cette valeur moyenne est arrondie à l'entier le plus voisin.

# 10- Equivalent de sable 10% de fines

## REFERENCE

P 18-597

## OBJET

L'essai a pour objet de mesurer la propreté d'un sable. Il rend globalement de la **qualité** des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

## PRINCIPE

L'essai s'effectue sur la fraction 0/2mm et dont la proportion des élément passant au tamis de 0.08mm a été ramenée à 10% à l'aide d'un sable correcteur. Il consiste à flocculer un matériau dans une solution lavante normalisée, et à mesurer, après un temps de repos, les hauteurs du sédiment (sable) et du flocculat (fines).

La valeur de l'équivalent de sable à 10% de fine ( $P_s$ ) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat de la partie sableuse sédimentée

## MODE OPERATOIRE

### Préparation des échantillons

- Humidifier l'échantillon pour laboratoire, s'il ne l'est pas, avant de partage afin d'éviter les pertes de fines et la ségrégation
- Tamiser le matériau humide sur le tamis de 2 mm. Laver le refus sur ce tamis en utilisant le moins d'eau possible et en associant les deux passants
- Mettre ce passant (fraction 0/2 mm) à l'étuve, si nécessaire, en contrôlant qu'il n'atteint jamais l'état sec, puis en atmosphère ambiante pour l'amener à une teneur en eau compris entre 1% et 3%

**N.B.** : La masse de l'échantillon pour laboratoire doit être telle que la faction passante au tamis de 2 mm pèse 1500 g environ

- Préparer quatre (4) échantillons : un pour la détermination de la teneur en eau , un pour la préparation du sable correcteur et la détermination de la teneur en fines et deux pour la préparation des échantillons pour essai.

### Détermination de la teneur en eau du tamisât (W)

- Détermination de la teneur en eau **W** exprimée en pourcentage sur deux prises de 100 g à 200 g par une méthode rapide telles que : se charge en gaz.

### Détermination de la teneur en fines et préparation du sable correcteur (f)

- Tamiser sous eau le deuxième échantillon de masse **Mh2** sur le tamis de 0,08 mm
- Sécher (séchage rapide) et peser les éléments retenus sur ce tamis (**Ms**).  
La teneur en fines **f**, exprimée en pourcentage, du sable est déterminée par :

$$f = 100 - \frac{Ms (100+W)}{Mh2}$$

### Préparation des échantillons pour essai

- Si **f < 11%**, il y a pas lieu d'utiliser le sable correcteur, et l'essai s'effectue directement sur le 3<sup>ème</sup> et le 4<sup>ème</sup> échantillon pour essai, exprimée en g, est alors égale à  $120 (1 + \frac{w}{100})$
- Si **f > 11%**, prendre une masse Mh3 égale à :

$$Mh3 = \frac{1200}{f} (1 + w) \quad \text{Où } w = W/100$$

- Ajouter à cette masse une quantité de sable correcteur sec (refus sec à 0,08 mm) Ms, calculée suivant la formule suivante :

$$Msc = 120 - \frac{1200}{f}$$

- La masse de chaque échantillon pour essai, exprimée en g est alors égale à : Mh3 + Msc

### Exécution de l'essai

Voir l'essai « Equivalent de sable »

### EXPRESSION DES RESULTATS

- La propreté du sable est donnée par la formule :

$$Ps = 100 h2/h1 \quad .$$

# 11- Valeur au bleu des matériaux granulaires

## REFERENCE

NF P 18-592

## OBJET

L'essai a pour objet la détermination de la valeur de bleu des fines continues dans un sable ou une grave. Cette valeur caractérise la nocivité des fines argileuses contenues dans le matériau.

## PRINCIPE

L'essai s'effectue sur la fraction 0/2mm. Il consiste à injecter successivement des doses élémentaires d'une solution de bleu de méthylène dans un le bain aqueux contenant la prise d'essai. On contrôle l'adsorption du bleu après chaque ajout, en effectuant une tache sur un papier filtre (test de la tache).

La valeur au bleu des fines est la quantité exprimée en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines.

## MODE OPERATOIRE

- Préparer, à partir de la fraction 0/2mm, trois (3) échantillons :

- 1<sup>er</sup> pour déterminer la teneur en eau (de 100 à 200 g )
- 2<sup>eme</sup> pour déterminer la teneur en fines ( 300 à 400 g )
- 3<sup>eme</sup> pour la réalisation de l'essai

### **Détermination de la teneur en eau**

La teneur en eau (**W**) est déterminée sur l'échantillon n°1 par la méthode d'étuvage ou autre méthode.

### **Détermination de la teneur en fines ( f )**

- Tamiser sous eau le 2<sup>ème</sup> échantillons (de masse **mh**) sur le tamis 0,08 mm
- Sécher le refus sur ce tamis
- Peser ce refus après séchage (soit **ms**)
- La teneur en fines **f** exprimée en % est calculée par la formule suivante :



$$f (\% ) = 100 - \frac{ms ( 100 + W )}{mh}$$

### Préparation de l'échantillon pour essai

- La masse du sable 0/2, à sa teneur en eau en l'état et la teneur en fines f, qu'il faut laver pour extraire les fines est donnée par le formule ajustée au gramme près ;

$$Mh = f' \frac{W + 100}{f} \quad Mh : \text{ne doit pas dépassée } 300 \text{ g}$$

Avec : f' représentent la quantité de fines en g qu'il est souhaitable d'avoir dans la prise d'essai (environ 30 g) .

### Exécution de l'essai

- Mettre 500 ml d'eau distillée dans la pissette
- Placer le sable dans le bac plastique, ajouter à l'aide de la pissette 100 ml d'eau distillée pour recouvrir le matériau et agiter bien l'ensemble avec la spatule
- Verser en plusieurs fois le contenu du bac sur le tamis 0,08 mm surmonté du tamis de décharge de 0,5 mm , l'ensemble étant placé au dessus du bûcher de 3 l .
- Sèche et peser les refus des deux tamis, soit **M** cette masse.
- La masse réelle **q** de fines soumises à l'essai est donnée par la formule :

$$q = \frac{100 M h}{100 + W} - M$$

- Après avoir isolé les fines, ajouter dans le bûcher **30 g de kaolinite** de valeur de bleu connue **VBtak** .
- Le volume **V'** exprimé en ml , de solution de bleu adsorbée par cette Kaolinite est donné par la formule **V' = 30 VBtak** .
- L'ensemble eau + fines + Kaolinite est soumis à une agitation de 5 mn à 600 tr/ min , puis permanente à 400tr/min, pendant toute la durée de l'essai à l'aide d'un agitateur à ailettes.
- Injecter **V'** ml de solution de bleu dans le récipient. Après 2 min, ajouter une dose de 5 ml, cette addition étant suivi du test sur le papier filtre.
- Procéder ainsi jusqu'à ce que le teste devient positif. A ce moment sans rien ajouter, on laisse s'opérer l'adsorption du bleu qui n'est pas instantanée, tout en affectant des tests de minute en minute, si l'aréole bleu claire disparaît à la cinquième tache on procède à de nouvelles additions élémentaires au bleu de 2 ml, chaque addition est suivie de tests effectués toujours de minute en minute jusqu'à ce que le test reste positif à la cinquième minute.

### EXPRESSION DES RESULTATS

- La valeur de bleu des fines **VB**, exprimé en gammes de bleu pour 100 g de fines, est donnée par la formule

$$V B = \frac{V1 - V'}{q}$$

V1 : volume final de solution injecté en ml

V' : volume de solution de bleu kaolinite

Q : masse réelle de fines soumises à l'essai

# 12- Propreté superficielle

## REFERENCE

NF P 18-591

## OBJET

L'essai a pour objet de déterminer la propreté superficielle des granulats supérieurs à 2mm.

## PRINCIPE

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0.5mm (ou 1.6mm pour les ballasts) mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2mm.

Ces particules sont séparées par lavage sur le tamis correspondant.

## MODE OPERATOIRE

- Prendre un échantillon de laboratoire de masse M supérieure à 0.2D ( M en Kg et D, la plus grande dimension spécifique, en mm)
- Préparer deux échantillons à partir de l'échantillon de laboratoire : l'un de masse **M1h** pour déterminer la masse sèche de l'échantillon pour essai, l'autre de masse **Mh** pour déterminer la masse sèche des éléments inférieurs à 0.5mm ou 1.6mm pour les ballast.

### **Détermination de la masse sèche de l'échantillon pour essai**

- peser les deux échantillon M1h et Mh.
- Peser, après séchage à 105°C, le premier échantillon de masse M1h. Soit M1s sa masse sèche.
- La masse sèche Ms de l'échantillon soumis à l'essai de propreté est :

$$Ms = Mh (M1s / M1h)$$

### **Détermination de la masse sèche des éléments inférieurs à 0.5mm ou 1.6mm**

- Tamiser sous eau l'échantillon de masse Mh sur le tamis 0.5mm ou 1.6mm jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit claire.
- Récupérer le refus et le sécher à 105°C

- Tamiser à sec ce refus séché sur le tamis 0.5mm ou 1.6mm pendant une minute et le peser, soit **m'** sa masse sèche.

### **EXPRESSION DE RESULTATS**

- Calculer la masse sèche (**m**) des éléments inférieurs à 0.5mm ou 1.6mm par :

$$\mathbf{M = Ms - m'}$$

- Calculer la propreté superficielle (**P**) par :

$$\mathbf{P = 100 (m / Ms)}$$

# 13- Los Angeles

## REFERENCE

NF P 18-573

## OBJET

L'objet de l'essai est de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats.

## PRINCIPE

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans une machine Los Angeles.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1.6mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par chocs ( ou le coefficient Los Angeles **LA** ) s'exprime par :

$$LA = 100 m/M$$

## MODE OPERATOIRE

- La masse de l'échantillon à envoyer au laboratoire sera au moins de 15Kg ;
- Choisir la classe granulaire qui va être soumise à l'essai, cette classe est choisie parmi les six classes 4-6,3mm ; 6,3-10mm ; 10-14mm ; 16-31,5mm et 25-50mm. La classe 10-25mm doit contenir 60% de 10-16mm, la classe 16-31,5mm 60% de 16-25mm et la classe 25-50mm 60% de 25-40mm ;
- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie en commençant par le tamis le plus grand ;
- Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve à 105°C, jusqu'à masse constante ( c'est à dire jusqu'à ce que deux pesées successives de l'échantillon, séparées d'une heure ne diffèrent pas de plus de 0,1%, la masse de l'échantillon pour essai sera de 5000g ±5g ;
- Introduire la charge (nombre de boulets) correspondant à la classe granulaire choisie puis l'échantillon pour essai. La charge est fixée conformément au tableau ci-dessous :

<b>Classes granulaires (mm)</b>	<b>Nombre de boulets</b>	<b>Nombre de rotations</b>
4 - 6,3	7	500
6,3 - 10	9	500
10 - 14	11	500
10 - 25	11	500
16 - 31,5	12	500
25 - 50	12	1000

- Faire effectuer à la machine le nombre de tours correspondant à la fraction granulaire choisie ;
- Une fois le nombre de tours est terminé, recueillir les granulats dans un bac placé sous l'appareil en ayant soin d'amener l'ouverture juste au dessus de ce bac pour éviter les pertes de matériaux ;
- Tamiser le matériau recueilli sur le tamis 1,6mm, le matériau doit être pris plusieurs fois pour faciliter l'opération de tamisage ;
- Laver le refus au tamis de 1,6mm, égoutter ce refus et le sécher à 105°C jusqu'à masse constante ;
- Peser ce refus séché (m1) ;

### **EXPRESSION DES RESULTATS**

Le coefficient **Los Angeles LA** est donné par le rapport :

$$\mathbf{LA = 100 \times (5000 - m1) / 5000}$$

Le résultat est arrondi à l'unité la plus proche.

## **14- Fragmentation dynamique**

## **REFERENCE**

P 18-574

## **PBJET**

L'essai a pour objet la mesure de la résistance à la fragmentation dynamique des éléments d'un échantillon de granulats.

## **PRINCIPE**

L'essai s'effectue sur les gravillons entre 4 et 14 mm. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6mm produits, en soumettant le matériau aux chocs d'une masse normalisée.

La résistance à la fragmentation dynamique ( $F_D$ ) est exprimée par la quantité :

$$F_D = \frac{\text{Masse des éléments inférieurs à 1.6mm produits au cours de l'essai}}{\text{Masse du matériau soumis à l'essai}}$$

## **MODE OPERATOIRE**

- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie (4-6.3mm ou 6.3-10mm ou 10-14mm).
- Prendre un échantillon pour essai de 350g  $\pm$ 1g.
- Introduire l'échantillon pour essai, dans le moule, en le répartissant uniformément
- Donner le nombre de coups de masse indiqué dans le tableau ci-après, selon la classe granulaire choisie.
- 

<b>Classe granulaire (mm)</b>	<b>Nombre de coups de masse</b>
4 – 6.3	16
6.3 – 10	22
10 - 14	28

- Recueillir et tamiser le granulat après essai sur un tamis de 1.6mm . Peser le refus, soit **m'** la masse de ce refus.

### **EXPRESSION DES RESULTATS**

- Calculer la masse (**m**) des éléments inférieurs à 1.6mm produits au cour de l'essai par :

$$\mathbf{m = 350 - m'}$$

- Calculer le coefficient de fragmentation dynamique par :

$$\mathbf{F_D = 100 (m/350)}$$

- Arrondir le résultat a l'unité la plus proche.

**15- Micro-Deval humide**



## **REFERENCE**

NF P 18-572

## **OBJET**

L'essai a pour objet de mesurer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulats.

## **PRINCIPE**

L'essai s'effectue sur les gravillons entre 4 et 14mm et entre 25 et 50mm. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6mm produite par frottements réciproques, dans un cylindre en rotation, en présence des charges abrasives et de l'eau.

La résistance à l'usure est mesurée par la quantité, appelé coefficient micro-deval en présence de l'eau (MDE), définie par :

$$\text{MDE} = \frac{\text{Masse des éléments inférieurs à 1.6mm produits au cours de l'essai}}{\text{Masse du matériau soumis à l'essai}} \times 100$$

## **MODE OPERATOIRE**

- Choisir la classe granulaire qui va être soumise à l'essai parmi les quatre classes suivantes : 4-6.3 mm, 6.3-10 mm, 10-14 mm et 25-50 mm. La classe 25-50 mm doit contenir 60% de 25-40mm.
- Prendre un échantillon de masse égale au moins à 2 Kg si la classe choisie est comprise entre 4 et 14 mm, et 40 Kg si la classe choisie est 25-50 mm.
- Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C.
- Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie. La masse **M** de l'échantillon pour essai (500g ± 2g pour les classes entre 4 et 14 mm, et 10000g ± 20g pour la classe 25-50 mm).
- Introduire dans le cylindre d'essai la charge abrasive, puis la quantité du matériau préparé et de l'eau et en suite mettre en rotation l'ensemble à une vitesse de 100tr/mn, ceci conformément aux indications du tableau suivant :

<b>Classe granulaire (mm)</b>	<b>Charge abrasive (g)</b>	<b>Quantité d'eau (l)</b>	<b>Durée de rotation (tours ou h)</b>
4 – 6.3	2000 ± 5	2.5	12 000tr ou 2h
6.3 - 10	4000 ± 5	2.5	12 000tr ou 2h

10 – 14	5000 ± 5	2.5	12 000tr ou 2h
25 - 50	0	2	14 000tr ou 2h 20mn

- Une fois le nombre de rotations est terminé, laver le matériau, après avoir recueilli la charge abrasive, sur le tamis 1.6 mm.
- Sécher le refus sur ce tamis à 105°C et en suite le peser, soit **m'** sa masse.

### **EXPRESSION DES RESULTATS**

- Calculer la masse (m) des éléments inférieurs à 1.6mm produits au cours de l'essai par :

$$\mathbf{m = M - m'}$$

- Calculer le coefficient micro-Deval par :

$$\mathbf{MDE = 100 (m / M)}$$

Où : M = 500g ou 10 000g

## **16- Friabilité de sables**

## **REFERENCE**

P 18-576

## **OBJET**

L'essai a pour objet la mesure de la résistance à la fragmentation des sables.

## **PRINCIPE**

L'essai s'effectue sur la fraction 0.2/2mm ou 0.2/4mm. Il consiste à mesurer l'évolution granulométrique des sables produite par fragmentation dans un cylindre en rotation à l'aide d'une charge en présence d'eau.

Cette évolution granulométrique est caractérisée par un paramètre appelé coefficient de friabilité des sables (Fs) défini comme suit :

$$F_s = \frac{\text{Masse des éléments inférieurs à } 0.1\text{mm produits au cours de l'essai}}{\text{Masse du matériau soumis à l'essai}} \times 100$$

## **MODE OPERATOIRE**

- Tamiser par voie humide le matériau sur les tamis 0.2mm et 2mm ou 4mm, en suite sécher le refus à 0.2mm à 105°C ;
- Prendre une prise d'essai de masse 500g ± 2g
- Préparer la charge broyante de façon que sa masse totale soit de 2500g ± 4g (9 billes de 30mm, 21 billes de 18mm et le reste de billes de 10mm)
- Introduire la charge dans le cylindre, puis les 500g du matériau et ajouter 2.5 litre d'eau.
- Mettre l'ensemble en rotation à la vitesse 100tr/min pendant 1500 tours ou 15 minutes.
- Laver le matériau, après avoir recueilli les billes, sur le tamis de 0.1mm. Sécher le refus sur ce tamis.
- Tamiser à sec le refus séché sur le tamis 0.1mm et peser ce nouveau refus (**m'** en g).

## **EXPRESSION DES RESULTATS**

- Calculer la masse des éléments inférieurs à 0.1 mm produits durant l'essai (m en g) :

$$M = 500 - m'$$

- Calculer le coefficient de friabilité par : **Fs = 100 (m/500)**

## **17- Coefficient d'aplatissement**

### **REFERENCE**

NF P 18-561

## **OBJET**

L'essai a pour objet de déterminer le coefficient d'aplanissement d'un échantillon de granulats dont les dimensions sont comprises entre 4 et 50mm. Ce caractérise la proportion des granulats plats d'un matériau.

## **PRINCIPE**

L'essai consiste à effectuer un double tamisage : tamisage sur tamis à mailles carrées, pour classer l'échantillon étudié en différentes classes d/D (avec  $D=1,25 d$ ), suivant leur grosseur G. Puis tamisage des différentes classes granulaires d/D, sur des grilles à fentes parallèles d'écartement:  $d/1,58$ .

Le coefficient d'aplanissement de chaque classe granulaire d/D correspond au passage du tamisage sur la grille à fentes d'écartement  $d/1,58$ (exprimé en %).

Le coefficient d'aplanissement global de l'échantillon est égal à la somme pondérée des coefficients d'aplanissements des différentes classes granulaires composant l'échantillon.

## **MODE OPERATOIRE**

- Préparer un échantillon de masse M supérieure à  $0.2D$  ( M en Kg et D, la plus grande dimension spécifique, en mm).
- Procéder au tamisage de l'échantillon sur les tamis suivant: 50, 40, 31.5, 25, 20, 16, 14, 12.5, 10, 8, 6.3, 5 et 4 mm.
- Recueillir les différentes fractions d/D; peser chaque classe granulaire.
- Tamiser chaque classe granulaire obtenue sur une grille dont l'écartement E entre les barres est défini par le tableau de correspondance suivant:

<b>Classe granulaire d/D</b>	<b>Ecartement E (mm)</b>
> 50	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

- Peser le passant sur chaque grille correspondante à chaque classe granulaire.

### **EXPRESSION DES RESULTATS**

Le coefficient d'aplatissement de chaque classe granulaire est donné par:

$$\frac{M_e}{M_g} \cdot 100$$

Le coefficient d'aplatissement globale A est donné par :-

$$A = \frac{\sum M_e}{M} \cdot 100$$

Où : Mg : masse de chaque classe granulaire

M :  $\sum Mg$

Me : Masse des éléments de chaque classe granulaire passant sur la grille correspondante.

