

**Université Mohamed Bou DIAF M'SILA**  
**Faculté de technologie Département de Génie civil**



***Fascicule de travaux pratique  
matériaux de constructions***



***Réalisé par : Dr MAZA. M***

***Année universitaire 2016/2017***

## **INTRODUCTION :**

Ce manuel de travaux pratiques s'adresse aux étudiants de Licence génie civil 2eme année du nouveau système L.M.D qui permettra de vulgariser, de faciliter, maîtriser et d'approfondir la connaissance des propriétés physiques et mécaniques des matériaux de construction qui est indispensable pour la construction des bâtiments et des ouvrages en général et dans l'application des calculs de stabilité des bâtiments. Il regroupe les principaux essais qui déterminent l'essentiel des caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux. En effectuant l'ensemble de ces essais l'étudiant sera capable et en mesure de caractériser les paramètres physico-mécaniques des matériaux de construction.

## **CONTENU DE LA MATIERE :**

- 1- Masses volumiques du ciment, sable et gravier
- 2- Courbes granulométriques du sable et du gravier
- 3- Teneur en eau et foisonnement du sable
- 4- Porosité du sable et gravier
- 5- Coefficient volumétrique du gravier
- 6- Equivalent de sable
- 7- Essai de consistance et de prise du ciment
- 8- Essais non destructifs
- 9- Essai Micro Derval essai d'usure
- 10- Essai Los Angeles essai de fragmentation
- 11- Coefficient d'absorption d'eau d'un gravier

## **DEROULEMENT DES T.P.**

### **Lieu de déroulement des TP :**

Les T.P. ont lieu dans les locaux de la Faculté de technologie, Laboratoire de génie civil, "matériaux" au rez de chaussée.

***Avant chaque séance:***

l'étudiant devra avoir lu et compris la partie du fascicule relative au T.P, pour être en mesure de suivre correctement les explications de l'enseignant lors de la mise en route.

Les questions concernant les manipulations ou l'appareillage utilisé devront être posées à ce moment là.

***Pendant la séance:***

Les étudiants devront suivre les instructions données dans le fascicule et par l'enseignant, pour effectuer les manipulations demandées.

Pour ce qui est de l'utilisation des appareils, dans certains cas, en plus des explications données sur le manuel les étudiants se renseigneront au près des enseignants.

***En fin de séance:***

Chaque groupe d'étudiant nettoiera son lieu de travail.

***A la séance suivante (ou dans un délai d'une semaine):***

Chaque groupe rendra un compte-rendu axé sur la technique employée lors du T.P, et sur les résultats obtenus. Ce compte-rendu doit être bien rédigé (présentation noté) aucun retard ne sera tolérer. Ce compte-rendu succinct pourra avoir le schéma suivant:

- ❖ Introduction ;
- ❖ But et principe de la technique ;
- ❖ Résultats et interprétation (cette partie devra préciser les conditions opératoires),
- ❖ Conclusion - Avantages, inconvénients de la technique.

***Remarque importante:***

Les différents appareils mis à la disposition des étudiants lors des T.P sont des ensembles de haute technicité, précis donc

fragiles, et par conséquent coûteux à l'achat et en entretien. Une attention particulière est donc demandée pour leur maniement.

### **Notation :**

La note de T.P comprend:

□ Une appréciation du travail pratique effectuée durant les séances de T.P.

□ Et, une appréciation d'aptitude à la rédaction, à la synthèse et à l'interprétation des résultats obtenus en manipulations.

### **Notions de calculs d'incertitude**

Le but du calcul d'erreur ou incertitude, c'est pour connaître les limites de validité des résultats des essais effectués, après avoir défini la méthode et les instructions de mesures correspondantes.

### **Règles relatives au calcul d'incertitude**

Soit une grandeur « a » mesurée avec une incertitude absolue  $\Delta a$ , c'est-à-dire  $a - \Delta a < a < a + \Delta a$ .

Soit une grandeur « b » mesurée avec une incertitude absolue  $\Delta b$ .

Soit une grandeur « c » mesurée avec une incertitude absolue  $\Delta c$ .

Si les trois grandeurs sont indépendantes, on a :

$$d = a + b + c \Rightarrow \Delta d = \Delta a + \Delta b + \Delta c$$

$$e = a - b + c \Rightarrow \Delta e = \Delta a + \Delta b + \Delta c$$

$$f = a \times b \times c \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}$$

$$g = a \times \frac{b}{c} \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}$$

$$h = a^2 \Rightarrow \frac{\Delta h}{h} = 2 \times \frac{\Delta a}{a}$$

$$i = a \times (b + c) \Rightarrow \frac{\Delta i}{i} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta(b+c)}{(b+c)}$$

**Exemples de calcul :**

-soit 'a' une distance de 25,4 mesurée avec un pied à coulisse au 1/100.

$$a=25,4 \text{ et } \Delta a=0,01 \Rightarrow \frac{\Delta a}{a} = \frac{0,01}{25,4}$$

- Soit "b" une variation de longueur de 50 divisions mesurées avec un comparateur à demi division près.

$$b=50 \text{ et } \Delta b=0,5 \Rightarrow \frac{\Delta b}{b} = \frac{0,5}{50} = \frac{1}{100}$$

- On mesure le module de Young, soit  $E=200000N/mm^2$ , avec une incertitude absolue  $\Delta E=10000N/mm^2 \Rightarrow \frac{\Delta E}{E} = \frac{10000}{200000} = \frac{5}{100}$

## ***T.P N°1 : Masses volumiques du ciment et des granulats (NF EN 1097-6 (2001))***

### ***A- masse volumique apparente***

#### ***Introduction***

La masse volumique est nécessaire à connaître lorsque par exemple on élabore une composition de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires mélangées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Parmi les propriétés principales des matériaux de construction on a la masse volumique, dans ce TP on va connaître et calculer la masse volumique des matériaux par plusieurs méthodes.

#### ***Définition De 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.

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.

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent, après passage à l'étuve à  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , notée  $\gamma_{\text{ap}}$  est exprimée en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ,  $\text{kg}/\text{dm}^3$ ,  $\text{t}/\text{m}^3$ ).  $\gamma_{\text{r}} = \frac{M_{\text{r}}}{V_{\text{r}}} \dots [\text{Kg} / \text{m}^3]$

### **Le But :**

Déterminer les masses volumiques apparentes du matériau, c'est-à-dire sa densité à l'état naturel (en présence des pores).

### **Matérielle Utilise :**

- \* Balance technique avec une précision de 1 g.
- \* Un récipient de 1L.
- \* Un entonnoir.
- \* Une petite règle plate métallique.
- \* Un tamis de 0.08mm pour le ciment.
- \* Un tamis de 3.5mm pour le sable.

### **Matériaux D'analyse :**

Le sable, le gravier, le ciment.

### **Mode Opératoire :**

#### **Pour les granulats (gravier et sable) :**

- \* Tamiser le sable dans le tamis de 3.5mm.
- \* peser le récipient de 1L de volume vide soit  $m_1$ .
- \* Remplir le récipient par l'entonnoir avec une distance de chute de 15cm.
- \* Araser la couche supérieur du récipient à l'aide d'une réglette que l'on anime d'un mouvement de « va et vient », peser le récipient plein : soit  $m_2$  (g) sa masse.

#### **Pour le ciment :**

- \* Tamiser le ciment dans le tamis de 0.08mm.
- \* On remplit le récipient par l'entonnoir avec une distance de chute égale ou moins 5 cm.
- \* On arase le matériau de la couche supérieur du récipient.
- \* On pèse le récipient remplit soit  $m_2$ (g) sa masse.

**Remarque :**

On fait l'opération trois fois pour les trois matériaux.

**Résultats obtenus :**

La masse volumique est donnée par :  $\rho = \frac{m_2 - m_1}{V_0}$ .

| matériau<br>caract                  | Le<br>gravier |  |  | Le<br>sable |  |  | Le<br>ciment |  |  |
|-------------------------------------|---------------|--|--|-------------|--|--|--------------|--|--|
| m <sub>1</sub> (kg)                 |               |  |  |             |  |  |              |  |  |
| m <sub>2</sub> (kg)                 |               |  |  |             |  |  |              |  |  |
| m <sub>2</sub> -m <sub>1</sub> (kg) |               |  |  |             |  |  |              |  |  |
| V (m <sup>3</sup> )                 |               |  |  |             |  |  |              |  |  |
| ρ (kg/m <sup>3</sup> )              |               |  |  |             |  |  |              |  |  |

**B- Masse Volumique Absolue**

**Définition :**

La masse volumique absolue  $\rho_s$  est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Il ne faut pas confondre  $\rho_s$  avec la masse volumique  $\rho$  qui est la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Les masses volumiques s'expriment en t/m<sup>3</sup>, en kg/dm<sup>3</sup>, ou en g/cm<sup>3</sup> :

**But de l'essai :**

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

**Matériel utilisé :**

- \* Balance technique avec une précision de 1 g.
- \* Une éprouvette graduée.

- \* Un entonnoir.
- \* Un pycnomètre.
- \* Un tamis de 0.08 mm pour le ciment.
- \* Un tamis de 3.5mm pour le sable.

**Matériaux d'analyse :**

Le sable, le gravier, le ciment.

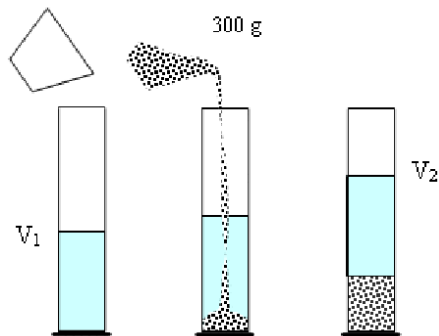
**Mode opératoire : (Méthode de l'éprouvette graduée)**

Cette méthode est très simple et très rapide. Elle utilise du matériel très courant de laboratoire. Toutefois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
  2. Peser un échantillon sec M de granulats (environ 300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
  3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V2.
- La masse volumique est alors donnée par la relation :

$$\gamma = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Pour opérer dans de bonnes conditions, utiliser une éprouvette graduée en verre de 500 cm<sup>3</sup> de volume. La lecture des niveaux V1 et V2 doit se faire en bas du ménisque formé par l'eau. En effet, celle-ci a tendance à remonter sur les bords de l'éprouvette sur une hauteur de 1 à 2 mm, ce qui fausse bien sûr la lecture des volumes si la lecture est effectuée en haut du ménisque.



Méthode de l'éprouvette

### Résultats obtenus :

| matériau<br>caract                                | le<br>gravier |  |  | le<br>sable |  |  |
|---------------------------------------------------|---------------|--|--|-------------|--|--|
| V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )                 |               |  |  |             |  |  |
| V <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )                 |               |  |  |             |  |  |
| V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> ) |               |  |  |             |  |  |
| M (kg)                                            |               |  |  |             |  |  |
| $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )                     |               |  |  |             |  |  |

**Cas du ciment :** On utilise la *méthode du pycnomètre* :

Le principe consiste à mesurer le déplacement du niveau du liquide contenu dans un récipient à col étroit lorsqu'on introduit la poudre, dont on cherche le volume absolu, la méthode nécessite une balance précise et un liquide inerte vis à vis de la poudre, pour le ciment, on utilise le pétrole ou le benzène.

1-Verser le benzène dans le pycnomètre (densimètre) jusqu'au niveau A (correspondant au volume  $V_1(\text{cm}^3)$  du benzène à température  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  ;

2- On pèse 50 gr de ciment soit  $m_0$ .

3- Verser le ciment dans le densimètre peu à peu jusqu'au moment où le niveau du benzène atteint le trait B quelconque.

4- Compléter le remplissage du pycnomètre avec un volume  $V_2$ .

La masse volumique absolue du ciment est donnée par la relation suivante :

$$\gamma = \frac{m_0}{V_p - (V_1 + V_2)}$$

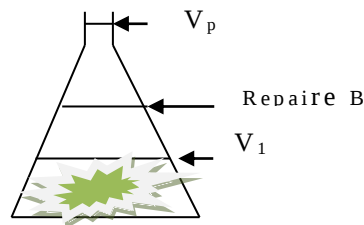
$m_0$  : masse de ciment ;

$V_p$  : Volume du pycnomètre ;

$V_1$  : Volume initial de Benzène ;

$V_2$  : Volume complétant le remplissage du pycnomètre ;

Les résultats sont portés sur le tableau ci –dessous



| Réipient1 Dm <sup>3</sup> +<br>Entonnoir                                           | Pycnomètre                                                                         | Eprouvette+Balance                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |

Tableau résumant les résultats pour les trois essais.

|                                                                      | Essais N°1 | Essais N°2 | Essais N°3 |
|----------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|
| m <sub>0</sub> (g)                                                   |            |            |            |
| V <sub>p</sub> (cm <sup>3</sup> )                                    |            |            |            |
| V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )                                    |            |            |            |
| V <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )                                    |            |            |            |
| (V <sub>1</sub> +V <sub>2</sub> ) (cm <sup>3</sup> )                 |            |            |            |
| V <sub>p</sub> -(V <sub>1</sub> +V <sub>2</sub> ) (cm <sup>3</sup> ) |            |            |            |
| γ(g/cm <sup>3</sup> )                                                |            |            |            |

## ***TPN°2 : Analyse granulométrique (NF P94-056)***

### ***Introduction:***

L'analyse granulométrique est l'opération qui consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, etc). Habituellement, l'analyse granulométrique fournit les proportions de grains de différents diamètres ; cette analyse peut se faire aussi bien par tamisage que par sédimentation dans l'eau en application de la loi de Stokes.

En fonction de la dimension et du nombre des grains composant un granulat, on dénomme les granulats, fines, sables, gravillons ou caillou. Cependant, pour un granulat donné, tous les grains qui le constituent n'ont pas tous la même dimension.

Pour cela, on procède au classement des grains sur une série de tamis emboîtés les uns dans les autres. Les dimensions des mailles des tamis sont décroissantes du haut vers le bas. Le granulat est placé sur le tamis le plus haut et par vibrations, on répartit les grains sur les différents tamis selon leur grosseur.

### ***Définitions:***

**a) Gravier :** Le gravier est produit par l'altération et l'érosion des roches. Les cours d'eau (voir Fleuves et rivières) à courant violent et les glaciers peuvent le transporter sur de longues distances avant qu'il se dépose. Les fragments transportés par l'eau sont usés et arrondis, tandis que ceux qui ont été transportés par la glace ont des bords anguleux et tranchants. D'autre part, la taille des graviers transportés par les cours d'eau varie moins que celle de ceux qui sont transportés par les glaciers. On trouve également du gravier sur les plages soumises à l'action de vagues puissantes. Les graviers de plage sont très ronds et lisses.

**b) Sable :** Le sable provient de l'érosion et de l'altération de roches riches en quartz sous l'action de processus physiques (vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau). Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les cours d'eau. Les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques.

En milieu fluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morphoscopie) au cours des temps géologiques : les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux, grès calcaires).

**c) Granularité:** Distribution dimensionnelle des grains (état).  
Granulométrie: Etude de la granularité.

**d) Tamisât:** Partie de l'échantillon passé à travers les mailles du tamis.

**e) Refus:** Partie de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis.

**f) Refus cumulé:** C'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui même plus tous les refus des tamis de maille plus grande. Il peut être exprimé en gramme ou en % de refus cumulés

### ***Bute de l'essai :***

Déterminer la grosseur et le pourcentage en poids de différentes formes de granulats constituant les échantillons.

Tracer la courbe granulométrique.

Détermination du module de finesse.

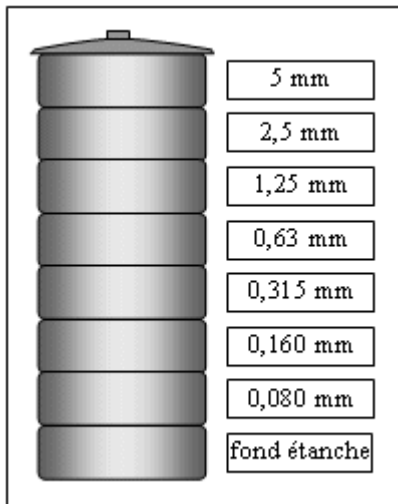
### ***Principe d'essai:***

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne des tamis, pendant cinq minutes pour le sable et sept minutes pour le gravier puis on prélève les différents refus de chaque tamis et on les pèse.

### ***Matériel Utilisé :***

- Série de tamis de maillage métallique carré compris entre  $d$  et  $D$ , avec un fond et un couvercle. Les tamis sont de dimensions 0.063 mm ; 0.125 mm ; 0.250 mm ; 0.500 mm ; 1 mm ; 2 mm ; 4 mm ; 8 mm ; 16 mm ; 31.5 mm ; 63 mm.
- balance de précision à  $\pm 0,1\%$
- Etuve ventilée

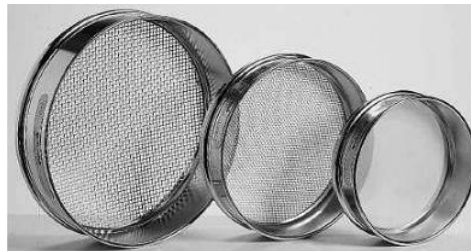
Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique, soit par perçage d'une tôle. Les passoires, qui comportent des trous ronds percés dans une tôle, ne sont plus utilisées actuellement. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui accomplit un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis.



Colonne de Tamis:



Tamiseur Vibratoire



Tamis

### **Matériaux Utilises :**

1- sable : 0/5 mm.

2- gravier : fractions 3/8 et 8/16.

### **Préparation Des Echantillons:**

La quantité à utiliser doit répondre à différents impératifs qui sont :

- Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif.
- Il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants.

Dans la pratique, la masse à utiliser sera telle que :  $M = 0,2 D$  avec M, masse de l'échantillon en Kg et D diamètre du plus gros granulat exprimé en mm

### ***Description De L'essai:***

-Le matériau sera séché à l'étuve à une température maximale de 105 °C.

-Emboîter les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut.

-En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers.

-En haut un couvercle empêchant toute perte de matériau.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide du tamiseur électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et son ouverture. On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1 % entre deux séquences de vibrations de la tamiseuse.

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit  $R_1$  la masse de ce refus.

Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit  $R_2$  la masse du deuxième refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés  $R_n$  aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne dut amis est également pesé.

La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisât sur le fond (fillers) doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne.

## Résultats:

Les résultats seront présentés sous forme de tableau et se traduiront en courbe granulométrique.

### A -Sable:

| <u>Ouverture de<br/>passoire en mm</u> | <u>Refus en<br/>gramme</u> | <u>Tamisât en<br/>gramme</u> | <u>Tamisât<br/>cumulé(%)</u> |
|----------------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <u>5</u>                               |                            |                              |                              |
| <u>2.5</u>                             |                            |                              |                              |
| <u>1.250</u>                           |                            |                              |                              |
| <u>0.630</u>                           |                            |                              |                              |
| <u>0.315</u>                           |                            |                              |                              |
| <u>0.160</u>                           |                            |                              |                              |
| <u>fond</u>                            |                            |                              |                              |
| <u>total</u>                           |                            |                              |                              |

### B -Gravier:

| <u>Ouverture de<br/>passoire</u> | <u>Refus en<br/>gramme</u> | <u>Tamisât en<br/>gramme</u> | <u>Tamisât<br/>cumulé (%)</u> |
|----------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 16                               |                            |                              |                               |
| 10                               |                            |                              |                               |
| 8                                |                            |                              |                               |
| 5                                |                            |                              |                               |
| 3                                |                            |                              |                               |
| Fond                             |                            |                              |                               |
| total                            |                            |                              |                               |

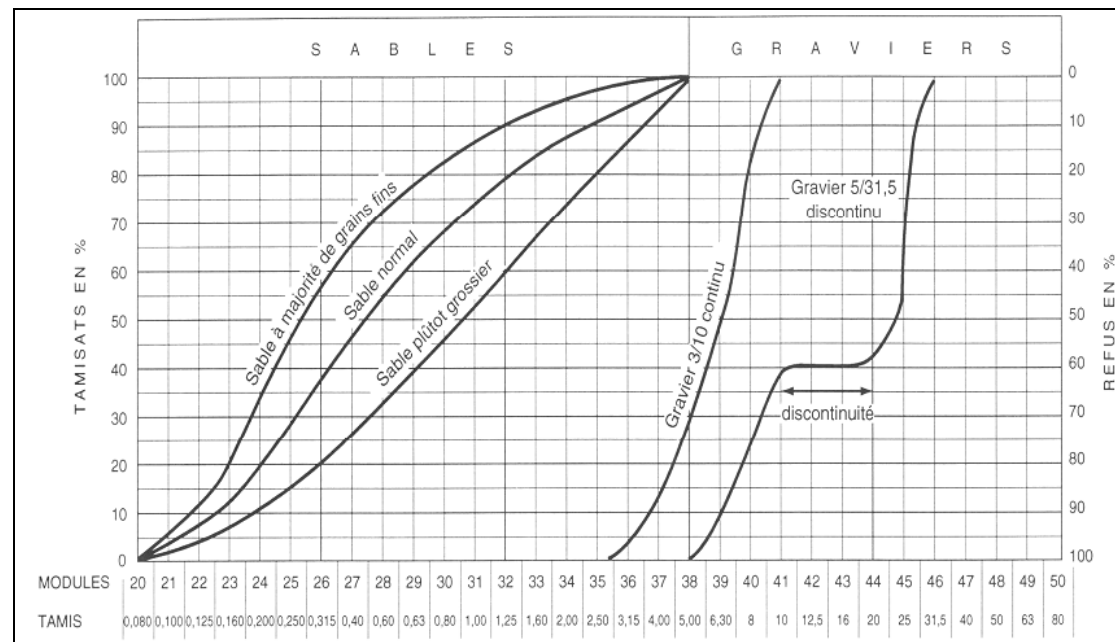
- Déterminer le module de finesse du sable ;
- Tracer la courbe granulométrique du sable étudié ;
- Tracer la courbe granulométrique des fractions du gravier étudiées

$$Mf = \frac{\sum \text{des refus cumulés}(\%) (0.16; 0.315; 0.63; 1.25; 2.5; 5\text{mm})}{100}$$

### **Tracée de la courbe granulométrique :**

Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisât cumulés sur une feuille semi-logarithmique :

- en abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique
- en ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.
- La courbe doit être tracée de manière continue.



## Commentaires et Conclusions :

## **TP.N°3 : Foisonnement Et Teneur En Eau Du Sable**

### **A-Foisonnement**

#### **Définition:**

On appelle coefficient de foisonnement le rapport de la hauteur du sable humide ( $H_H$ ) et sa hauteur sèche ( $H_S$ ), ce coefficient varie en fonction du % d'humidité, le volume apparent d'un sable dépend de sa compacité, de sa porosité, et de son humidité.

NB: le coefficient de foisonnement présente son maximum entre 3% et 7% d'humidité.

#### **But:**

Les granulats livrés sur chantier sont rarement secs, ils contiennent souvent un pourcentage d'humidité (taux d'humidité), il est nécessaire de connaître celui-ci pour déterminer la quantité d'eau de gâchage, d'autre part le volume du sable varie en fonction de son taux d'humidité, il est donc indispensable et nécessaire de connaître cette variation lorsque des dosages se font en volume.

#### **Matériel utilisé:**

- \* Balance technique à 0.01g
- \* Etuve à 1-105°C – 110°C
- \* Eprouvette graduée en verre.
- \* Récipients
- \* Truelle de maçon
- \* Tamis N° 5mm

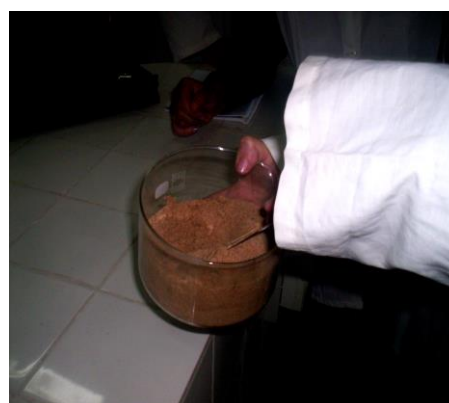
#### **Matériau d'analyse:**

"Sable de oued", Sable concassé de Carrière

#### **Mode opératoire:**

- Tamiser le sable sec à travers le tamis N° 5 mm.
- Peser une quantité de sable parfaitement sec correspondant à 500g( $M_s$ ).

- Verser le sable dans une éprouvette graduée de 1000cm<sup>3</sup>, mesurer la hauteur (Hs) qu'il occupe.
- Verser le sable dans un récipient et ajouter la masse de l'eau correspondant à 1% de la masse du sable sec, le mélange une fois homogénéiser, versé dans l'éprouvette graduée en verre, on mesure la hauteur (H<sub>1</sub>) du matériau humide.
- Faire cette manipulation pour un taux d'humidité du sable de 1% , 2%, 3%, 4%, 7%, 9%, 11%, 13%, 15% noter les résultats obtenus pour les différents dosages.
- Tracer la courbe de variation du coefficient de foisonnement en fonction du % d'humidité du sable.



### **Les résultats:**

Les résultats obtenus seront portés dans le tableau suivant:

Hs= 330 ml,      Masse du sable sec = 500g

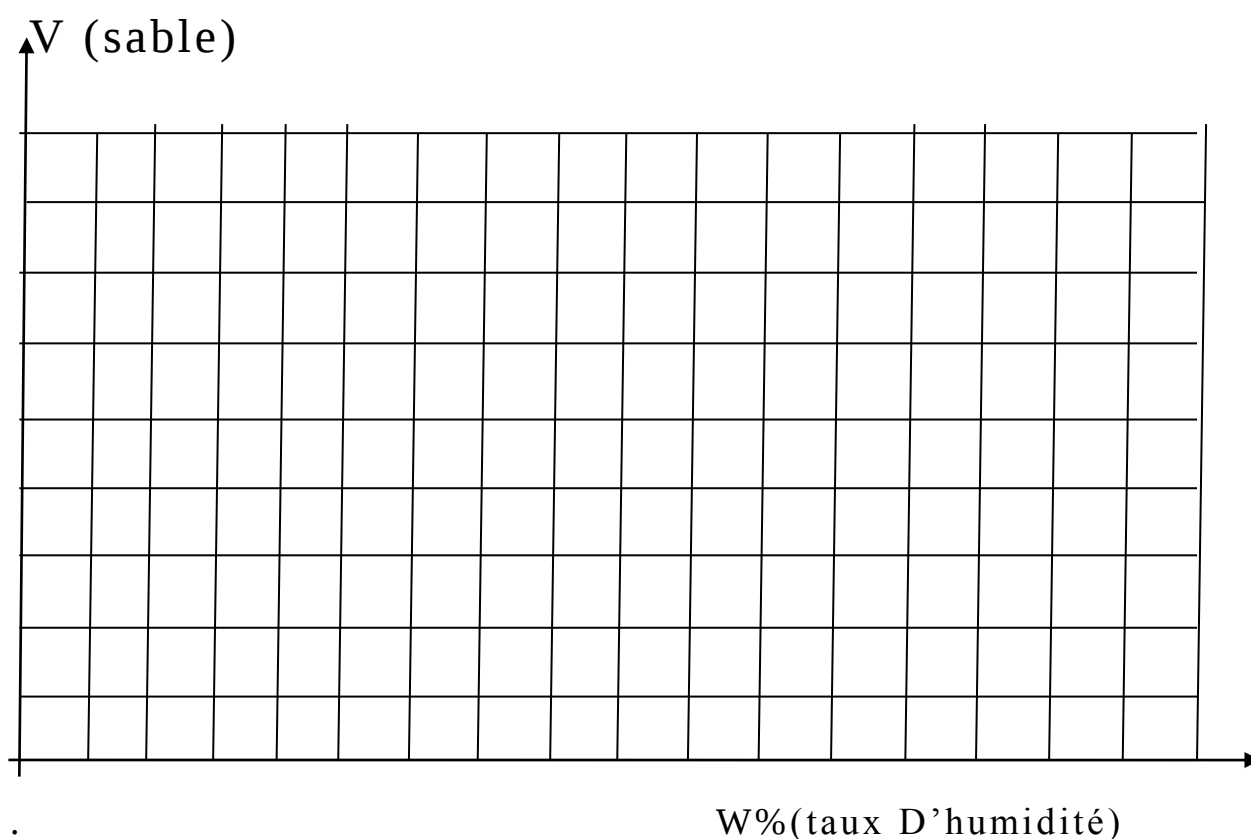
Hs : hauteur du sable à l'état sec.

Hi : hauteur du sable à l'état humide

| I (%) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Hi    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Cf.   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| V %   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

$$C_F = \frac{H_i}{H_s}$$

$$V\% = \frac{H_i - H_s}{H_s} \times 100$$



**Remarques et commentaires:**.....

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

## **B-TENEUR EN EAU.** **(NF EN 1097-5 Octobre 2008)**

### **Définition et But de l'essai.**

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.

### **Définition.**

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.

$$w = \frac{E}{P_s} = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

$E$  : poids de l'eau dans le matériau ;

$P_h$  : Poids du matériau humide ;

$P_s$  : Poids du matériau sec.

### **Principe :**

#### **Séchage à l'étuve.**

- Placer une quantité déterminée du matériau humide à tester dans une boîte à pétri numérotée préalablement et tarée,
- Peser l'ensemble et l'introduire dans une étuve pendant 24 heures sous une température de 105°Celsius,
- Après dessiccation, on pèse l'ensemble une seconde fois,
- déduire les masses humide et sèche de l'échantillon et calculer la teneur en eau de l'échantillon ( $W$ ).

## **TP.N°4 porosité des granulats** **(NF EN 1097-3 Août 1998)**

### **Définition :**

La porosité est l'ensemble des vides (pores) d'un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz). C'est une grandeur physique qui conditionne les capacités d'écoulement et de rétention d'un substrat. En général le calcul de la porosité est exprimé par le rapport du volume des vides au volume du matériau

$$P = \frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume totale}}$$

### **Principe :**

L'essai consiste à saturer en eau la porosité ouverte des grains constituant le matériau granulaire. L'immersion du matériau dans une solution aqueuse, permet sa saturation. A froid, l'essai nécessite du temps.

En vue d'accélérer le phénomène on augmente progressivement la température de l'eau. Le gradient thermique provoque dans le temps la dilatation de l'air présent dans les pores. Ce gaz quitte plus facilement les pores pour y être substitué par l'eau liquide. Ainsi l'eau sature plus rapidement la totalité des vides.

### **Mode opératoire :**

- Préparer un échantillon sec d'1 kg, soit M0,
- Placer l'échantillon dans l'eau froide et porter à ébullition pendant 2heures, en vue de chasser l'air des pores et les saturer par de l'eau,
- Retirer l'échantillon de l'eau et essuyer à l'aide d'un chiffon chaque grain, peser la nouvelle masse, soit M1,

## Matériaux D'analyse :

Le sable de dune, le sable de carrière et le gravier.

## Calculer la porosité :

$$P(\%) = \frac{M_1 - M_0}{V} \quad \text{Avec } V = \frac{M_0}{\rho_{ab}} \rightarrow P(\%) = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times \rho_{ab} \times 100$$

La porosité est déterminée est calculée aussi à partir des mesures effectuée par essai de la masse volumique apparente et absolu

$$P(\%) = \frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume total}} \rightarrow P(\%) = \frac{V_t - V_{s.v.}}{V_t} = \frac{\frac{V_t}{M} - \frac{V_{s.v.}}{M}}{\frac{V_t}{M}} \times 100 = \frac{\frac{1}{\rho_{ap}} - \frac{1}{\rho_{ab}}}{\frac{1}{\rho_{ap}}} \times 100$$

$$\rightarrow P(\%) = \left( \frac{1}{\rho_{ap}} - \frac{1}{\rho_{ab}} \right) \rho_{ap} \times 100 = \left( 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{ab}} \right) \times 100$$

$$\text{Donc } P(\%) = \frac{\rho_{ab} - \rho_{ap}}{\rho_{ab}} \times 100$$

## Résultats :

|                     | Essais N°1  |             | Essais N°2  |             | Essais N°3  |             |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                     | $\rho_{ap}$ | $\rho_{ab}$ | $\rho_{ap}$ | $\rho_{ab}$ | $\rho_{ap}$ | $\rho_{ab}$ |
| Gravier             |             |             |             |             |             |             |
| Sable de dune       |             |             |             |             |             |             |
| Sable de carrière   |             |             |             |             |             |             |
| Porosité Gravier    |             |             |             |             |             |             |
| Porosité S carrière |             |             |             |             |             |             |
| Porosité S de dune  |             |             |             |             |             |             |

Porosité moyenne (%) gravier :  $P_G(\%) = \dots\dots\dots$

Porosité moyenne (%) sable de carrière :  $P_{Sc}(\%) = \dots\dots\dots$

Porosité moyenne (%) sable de dune :  $P_{Sd}(\%) = \dots\dots\dots$

## **TPN°5 Formes des Granulats** **Coefficient Volumétrique** **(NF EN 933-4 JUIN 2008)**

### **A-Coefficient volumétrique des granulats**

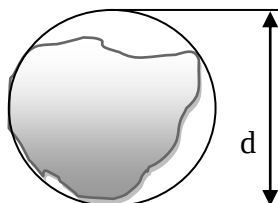
#### **Définition:**

Le coefficient volumétrique est une grandeur numérique, qui permet de caractériser un granulat. Le CV d'un grain est le rapport du volume  $V$  du grain au plus petit volume de la sphère circonscrite au grain de diamètre  $d$ .

#### **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.
- Grosseur  $G$ , dimension du mail carré du tamis qui laisse passer le granulat.



Forme d'un granulat

$$C_{vi} = \frac{V_i}{\frac{\pi \cdot d_i^3}{6}}, \quad C_v = \frac{\sum V_i}{\sum \frac{\pi \cdot d_i^3}{6}}$$
$$V_i = \frac{\pi \cdot d_i^3}{6}$$

#### **Matériaux D'analyse :**

Gravier calcaire concassé, Gravier roulé dont les diamètres sont supérieurs à 5mm.

#### **Mode opératoire :**

\*Prendre 250g d'un échantillon dont les diamètres sont supérieurs à 5 mm.

\*Présenter chaque grain dans les encoches du calibre et noter les volumes des sphères circonscrites trouvées soit  $V_1$  le plus petit volume des sphères circonscrites.

\*Placer les grains dans l'éprouvette contenant de l'eau et à la fin on notera le volume  $V_2$ .

\*Calculer le coefficient volumétrique de chaque grain  $C_{vi}$ , puis le coefficient volumétrique de l'ensemble des grains  $C_v$ .

### ***B-Coefficient d'aplatissement des granulats*** ***(NF EN 933-3 (1997))***

#### ***Définition :***

L'élaboration des bétons de ciment, ainsi que la réalisation des corps de chaussées et des couches de roulement, nécessitent de n'utiliser que des granulats ayant une forme assez ramassée, à l'exclusion des granulats plats. En effet, ceux-ci ne permettent pas de réaliser un béton très compact, et, par ailleurs, en technique routière, ils ne peuvent être utilisés car ils conduisent à des couches de roulement trop glissantes.

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats.

#### ***But de l'essai :***

La mesure du coefficient d'aplatissement (CA) caractérise la forme des granulats.

Le CA s'obtient en faisant une double analyse granulométrique par voie sèche, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulats :

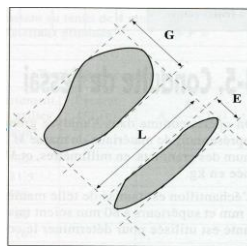
- une série de tamis normalisés à mailles carrées,
- une série de tamis (grille) à fentes parallèles de largeurs normalisées.

Plus les gravillons sont plats, moins leur mise en place dans la route ou dans les bétons est facile et plus ils sont fragiles. Il est donc important de contrôler le coefficient d'aplatissement de chaque granulométrie.

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



**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.

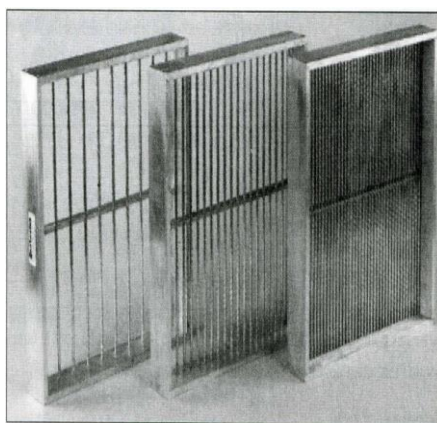
**L'état de surface des grains influence:**

- 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:

**Tableau forme des granulats**

|                       |                                                                                    |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cubes, sphères</b> | <b>Trois dimensions à peu près égales (bonne compacité)</b>                        |
| <b>Plaquettes</b>     | <b>Une dimension beaucoup plus petite que les deux autres (mauvaise compacité)</b> |
| <b>Aiguilles</b>      | <b>Une dimension beaucoup plus grande que les autres (très mauvaise compacité)</b> |



Grilles à fente pour diverses classes

|                                   |       |       |         |         |         |
|-----------------------------------|-------|-------|---------|---------|---------|
| Classe granulaires $d_i/D_i$ (mm) | 63/80 | 50/63 | 40/50   | 31,5/40 | 25/31,5 |
| Largeur de la fente               | 40    | 31,5  | 25      | 20      | 16      |
| Classe granulaires $d_i/D_i$ (mm) | 20/25 | 16/20 | 12,5/16 | 10/12,5 | 8/10    |
| Largeur de la fente               | 12,5  | 10    | 8       | 6,3     | 5       |
| Classe granulaires $d_i/D_i$ (mm) | 6,3/8 | 5/6,3 | 4/5     | -----   | -----   |
| Largeur de la fente               | 4     | 3,15  | 2,5     | -----   | -----   |

### Conduite de l'essai :

- 1- Faire le tamisage de l'échantillon d'essai de masse sèche  $m_0$  sur les tamis spécifiés suivant la classe granulaire
- 2- Peser séparément tous les grains de chaque granulat élémentaire  $d_i/D_i$ , compris entre 4 mm et 80 mm soit  $m_1 = \sum R_i$
- 3- Faire passer séparément tous les grains de chaque granulat élémentaire  $d_i/D_i$ , compris entre 4 mm et 80 mm sur la grille à fente correspondante et peser le passant séparément de chaque grille à fente soit  $m_2 = \sum m_i$
- 4- Eliminer tous les grains passant au tamis 4mm et retenus sur celui de 80 mm et peser

Le coefficient d'aplatissement de l'échantillon est :

$$A = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

$$\frac{m_0 - (\sum R_i + \sum (\text{masse éliminées}))}{m_0} \times 100 = \dots \leq 1\%$$

## ***TPN°6 : Equivalent de sable (NF EN 933-8+A1 JUILLET 2015)***

### ***Introduction :***

Les grains de sable, de même origine que les granulats, ont un diamètre inférieur à 3 mm. Cette roche sédimentaire doit être propre et sans poussières argileuses.

Il existe des bétons ou des mortiers de ciment, contenant uniquement du sable, du ciment et de l'eau.

Il sert principalement en maçonnerie pour lier les briques ou les parpaings, et pour dresser les enduits sur les murs.

Le sable est un constituant important de la plupart des sols il est très abondant comme dépôt de surface, le long des cours d'eau, sur les rives des lacs et des mers et dans les régions arides.

Différents types de sables s'utilisent dans la fabrication du verre, en fonderies pour réaliser des moulages et dans la fabrication des céramiques, des plâtres et des ciments.

### ***L'équivalent de sable:***

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

Il s'agit là aussi d'une expérience normalisée dont chaque carrier doit pouvoir fournir les résultats pour ses sables. Elle permet de déterminer le pourcentage de fines dans le sable.

On met, dans une éprouvette à deux repères conçue spécialement, une solution lavante (vendue toute prête) jusqu'au premier repère. On ajoute alors une quantité de sable sec et on attend 10 minutes. Ensuite on agite l'éprouvette (à raison de 90 coups en 1 minute avec des battements de 30 cm) et on la remplit de solution lavante

jusqu'au deuxième repère. Au bout de 20 minutes, le sable s'est déposé au fond et les fines forment une couche de « boue » par dessus. On mesure donc la hauteur totale (sable + fines) et la hauteur du sable propre, et on calcule le pourcentage que représente ce dernier.

Ce pourcentage est appelé équivalent sable (E.S.).

Si on mesure la hauteur du sable propre avec une règle, on parle d'E.S.V. (E.S. à vue). Si on utilise un piston (plus précis), on parle d'E.S.P (E.S. au Piston)

### ***But de l'essai :***

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisée permet de définir un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté du sable.

### ***Principe de l'essai :***

L'essai est effectué sur la fraction 0/3 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h1 : sable propre + éléments fins,
- hauteur h2 : sable propre seulement.

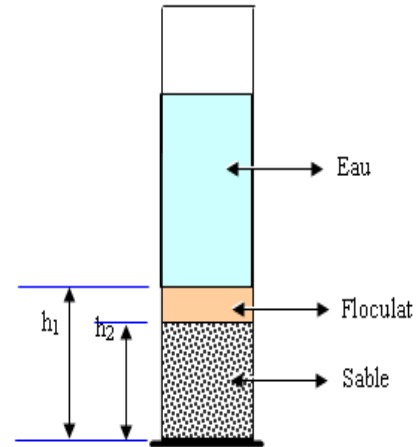
On en déduit l'équivalent de sable par la relation ci-dessous. L'essai dit d'équivalent de sable - permet de déterminer le degré de propreté du sable :

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

Selon que la hauteur  $h_2$  est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ESP



(équivalent de sable au piston).



### Matériel utilisé :

- Tamis de 3,16 mm d'ouverture de mailles avec fond
- Spatule
- Balance de précision
- Chronomètre
- Réglette de 500mm
- Eprouvettes
- Un piston taré
- Entonnoir a large ouverture
- Une machine d'agitation
- Solution lavante

### **Matériaux d'analyse:**

Sable de dune, sable concassé de carrière.

#### **a-Préparation des échantillons de sable.**

- Faire passer l'échantillon par une passoire de 3,16 mm.
- Étuver l'échantillon et laisser 1% d'humidité.

#### **b-Préparation de la solution lavante:**

- 111g de chlorure de calcium.
- 480g de glycérine de qualité pharmaceutique.
- 120.13g de solution aqueuse a 4%en volume de formaldéhyde de qualité pharmaceutique.
- On ajoute l'eau distillé.

#### **Mode opératoire :**

- Verser la solution au tube (éprouvette en plexiglas) jusqu'au trait inférieure.
- Verser la quantité de sable (120g) dans le tube pendant 10minute pour absorber l'eau.
- Fermer l'éprouvette et on met dans l'agitateur pendant 30secondes.
- Laissé l'éprouvette 20 minute sans vibration.
- Lire la hauteur  $H_1$  et  $H_2$  par la règle  $H_2$  par le piston.
- On refait la même expérience une autre fois.

#### **Résultats :**

Les résultats des essais seront reportés dans le tableau ci-dessous

**Équivalent de sable visuel E.S.V :**  $E.S.V = (H_2/H_1) \times 100\%$ .

$H_2$  : hauteur de sable propre déterminée visuellement.

**Équivalent de sable au piston E.S.P :**  $E.S.P = (H'_2/H_1) \times 100\%$ .

$H'_2$  : hauteur de sable propre déterminée au miston.

$H_1$ : hauteur de sable propre +hauteur imputées.

| Mesures | $H_1$ (cm) | $H_2$ (cm) | $H'_2$ (cm) | Es <sub>v</sub> (%) | Es <sub>p</sub> (%) |
|---------|------------|------------|-------------|---------------------|---------------------|
| Essai 1 |            |            |             |                     |                     |
| Essai 2 |            |            |             |                     |                     |
| Essai 3 |            |            |             |                     |                     |

### Classification de sable:

D'après les résultats obtenus on classe le sable comme suivant:

| <u>ESV a vue (%)</u> | <u>ES au piston (%)</u> | <u>Qualité du sable</u>                                                                       |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>ESV</u> < 65      | ES < 60                 | Sable argileux : à ne pas utiliser.                                                           |
| 65 ≤ <u>ESV</u> < 75 | 60 ≤ ES < 70            | Sable légèrement argileux : admissible pour bétons courants avec risque de retrait important. |
| 75 ≤ <u>ESV</u> < 85 | 70 ≤ ES < 80            | Sable propre : convient bien pour les bétons de haute qualité.                                |
| <u>ESV</u> ≥ 85      | ES ≥ 80                 | Sable très propre : absence presque totale de fines argileuses.                               |

### Commentaire des résultats :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## ***T.P.N°7 Essai de prise et de consistance (NF P 15-473 - NF EN 196-3)***

### ***A-Essai de prise de la pate de ciment***

#### ***Introduction :***

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pate ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pate reste plus au moins malléable voire plastique, mais au bout d'un certain temps, le matériau devient de plus en plus difficile à travailler et sa température augmente : il fait prise et s'apparente à un solide.

#### ***Objectif de l'essai***

Il est nécessaire de connaître les début et fin de prise des pâtes de ciment ( des liants hydrauliques ) afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place **correcte des mortiers et des bétons** qui seront ensuite confectionnés. Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques: Le début de prise et la fin de prise.

#### ***Principe de l'essai :***

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée; l'appareil utilisé est appareil de Vicat équipé d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre. Quand sous l'effet d'une charge de 300 g l'aiguille s'arrête à une distance  $d$  du fond du moule telle que  $d = 4\text{mm} \pm 1\text{ mm}$  on dit que le début de prise est atteint. Ce moment, mesure a partir du début du malaxage, est appelé « temps de début de prise ». Le « temps de fin de prise » est celui au bout duquel l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm.

### **Equipement nécessaire :**

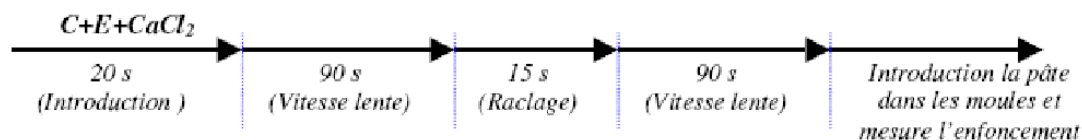
- Salle climatisée: L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de  $20^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$  et dont l'humidité relative est supérieure à 90%. A défaut d'une telle humidité relative, l'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à  $20^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ .
- Malaxeur normalisé: avec une cuve de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner à 2 vitesses (dites lente 140 tr/mn et rapide 285 tr/mn).
- Appareil de Vicat (du nom de l'ingénieur français). L'appareil est composé d'un moule tronconique de 40 mm de hauteur et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre.
- Balance précise à 0,1 g près.
- Chronomètre précise à 0,1 s près.

### **Conduite de l'essai :**

Le mode opératoire de l'essai est fixé par la norme EN 196-3. Il s'agit de confectionner une pâte de consistance normalisée:

On préparera 2 Kg de ciment, une pâte pure de rapport  $E/C=0,26$ . Ceci permettra de préparer 5 moules. Pour accélérer les phénomènes, on dissolvera dans l'eau de gâchée du chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) en prenant comme poids de  $\text{CaCl}_2$ , 2% du poids d'eau calculé pour la gâchée. On versera l'eau avec l'accélérateur de prise dissous dans la cuve du malaxeur, contenant le ciment, on déclenchera les deux chronomètres, (un pour la gâchée, un autre pour base du temps, pour la manipulation).

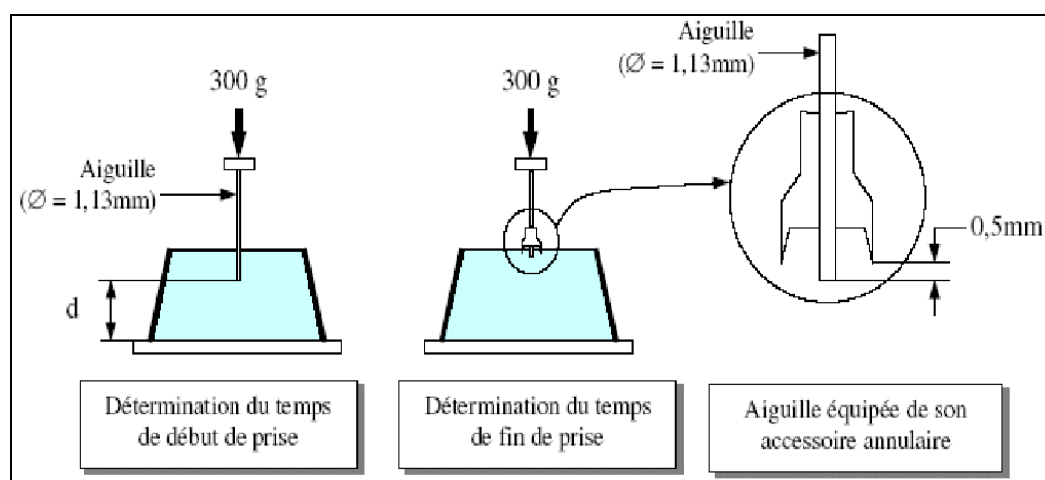
| Opérations           | Introduction du ciment | Introduction de l'eau | Mettre enroute | Raclage de la cuve | Mettre enroute |
|----------------------|------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|----------------|
| Durée des opérations |                        | 5 à 10 s              | 90 s           | 15 s               | 90 s           |
| Etat du malaxeur     | Arrête                 |                       | Vitesse lente  | Arrête             | Vitesse lente  |



La pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessifs. Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.

Quatre minutes après le début du malaxage, l'aiguille est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). L'aiguille alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance  $d$  séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.

Recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés ( $\sim 10-15$  mn) jusqu'à ce que  $d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . Cet instant mesuré à 5 mn près est le temps de début de prise pour le ciment concerné (étudié).



Appareil de Vicat muni de l'aiguille amovible

## ***B-Essai de Consistance de la pate***

### ***Objectif de l'essai :***

La consistance de la pate caractérise sa plus ou moins grande fluidité. Il y a deux types d'essai, qui permettent d'apprécier cette consistance.

1. L'essai de consistance effectué avec l'appareil de Vicat conformément à la norme 196-3.
2. L'essai d'écoulement au cône, conformément a la norme NF P-18-358. La consistance de la pate de ciment est une caractéristique, qui évolue au cours de temps. Pour pouvoir étudier l'évolution de la consistance en fonction des différents paramètres, il faut pouvoir partir d'une consistance qui soit la même pour toutes les pates étudiées.

L'objectif de cet essai est de définir une telle consistance dite « consistance normalisée ».

### ***Principe de l'essai :***

La consistance est évaluée ici en mesurant l'enfoncement dans la pate, d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est plus fluide. La consistance évaluée de cette manière sera appelée « consistance Vicat».

### ***Equipement nécessaire :***

- un malaxeur avec une cuve de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner a 2 vitesses (dites lente 140 tr/mn et rapide 285 tr/mn).
- un appareil de Vicat l'appareil est composé d'un moule tronconique de 40 mm de hauteur et d'une tige coulissante équipée a son extrémité d'une sonde de 10 mm de diamètre, la partie

couissante a une masse totale de 700 g (y compris la sonde amovible).

- une balance permettant de peser a 1 g près.
- un chronomètre précis à 1 s près.

### Conduite de l'essai :

500 g de ciment sont pesés et introduits dans la cuve du malaxeur. La quantité d'eau choisie est ajoutée au ciment en un temps compris entre 5 et 10 secondes.

Mettre immédiatement le malaxeur en route à la vitesse lente pendant 90 s. Arrêter la machine pendant 15 s et ramener, dans la gâchée avec une petite truelle, la pâte adhérant à la cuve et se trouvant au delà de la zone de malaxage. Remettre la machine en route pour une durée de 90s à vitesse lente.

| Opérations           | Introduction du ciment | Introduction de l'eau | Mettre en route | Raclage de la cuve | Mettre en route |
|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| Durée des opérations |                        | 5 à 10 s              | 90 s            | 15 s               | 90 s            |
| Etat du malaxeur     | Arrête                 |                       | Vitesse lente   | Arrête             | Vitesse lente   |



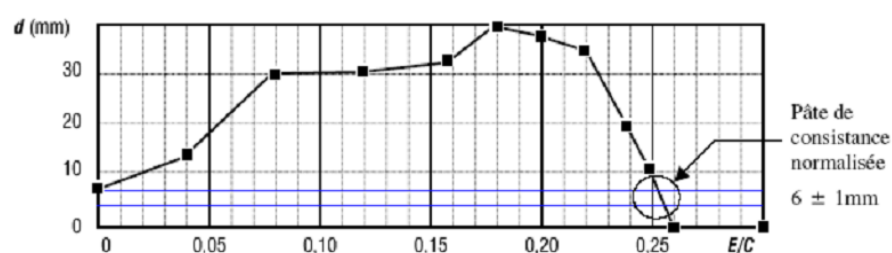
La pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessifs; Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de vicat.

Quatre minutes après le début du malaxage, la sonde est amenée à la surface supérieure de l'échantillon (moule tronconique) et relâchée sans élan. La sonde alors s'enfonce dans la pâte.

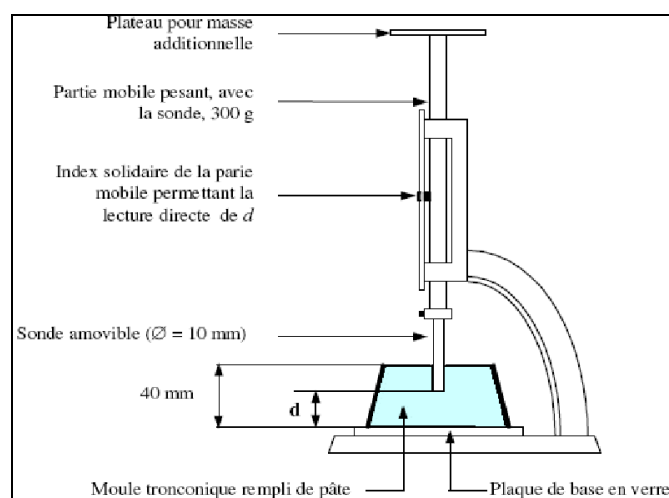
Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), on mesure la distance « d » séparant l'extrémité de la sonde et de la plaque de base.

Cette distance (d) caractérise la consistance de la pâte étudiée.

- Si  $(d) = 6\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ , on dit que la consistance de la pâte étudiée est normalisée. (Consistance normalisée).
- Si (d) n'atteint pas cette valeur (c.à.d.  $d > 7\text{ mm}$  ou  $d < 5\text{ mm}$ ), il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.



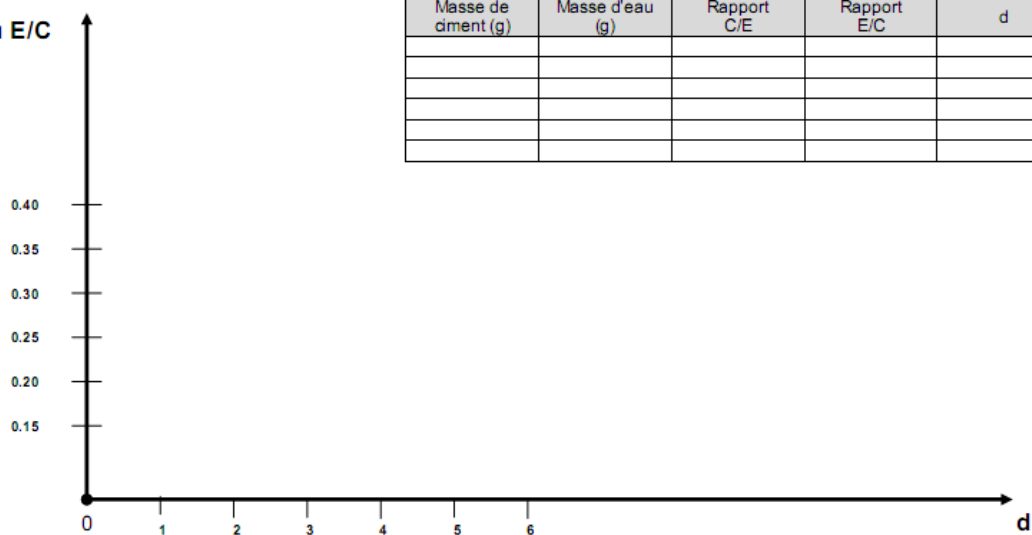
Evolution de la consistance d'une pate de ciment en fonction d'E/C



Appareil de Vicat muni de sa sonde de consistance

### FEUILLE DE RELEVÉE

C/E ou E/C



| Masse de ciment (g) | Masse d'eau (g) | Rapport C/E | Rapport E/C | d |
|---------------------|-----------------|-------------|-------------|---|
|                     |                 |             |             |   |
|                     |                 |             |             |   |
|                     |                 |             |             |   |
|                     |                 |             |             |   |
|                     |                 |             |             |   |

## **TP- 8 Essais Non-destructifs Du Béton (NF EN 12504-2), (NF EN 12504-4)**

### **Introduction :**

Bien qu'il ne soit pas possible d'effectuer une mesure directe des propriétés de résistance du béton d'un ouvrage pour la simple raison que la détermination de la résistance entraîne des contraintes destructives, plusieurs méthodes non destructives d'évaluation ont été mises au point. Ces méthodes sont basées sur le fait que certaines propriétés physiques du béton peuvent être reliées à la résistance et peuvent être mesurées par des méthodes non destructives. Une importance caractéristique des essais non destructifs est qu'ils peuvent être refaits au même endroit ou presque, ce qui permet de suivre les changements des propriétés du béton dans le temps. De façon générale, ces essais sont classés suivant qu'ils sont utilisés pour évaluer la résistance du béton in situ ou pour déterminer d'autres caractéristiques du béton telles que l'homogénéité, la présence de vides, de défauts, de fissures et de détérioration.

## ***A- Essai d'auscultation dynamique (Essai Sclérométrique) : (NF EN 12504-2)***

### ***Objectif de l'essai:***

1-permettre l'obtention rapide de la résistance du béton d'un ouvrage, sans procéder à des prélèvements de béton durci par carottage.

2-La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive. Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

### ***Principe de l'essai:***

Il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

### ***Matériels:***

Un scléromètre à béton conforme à la norme en vigueur (Figure 1).  
Enclume de calibrage, en acier permettant le calibrage du marteau.

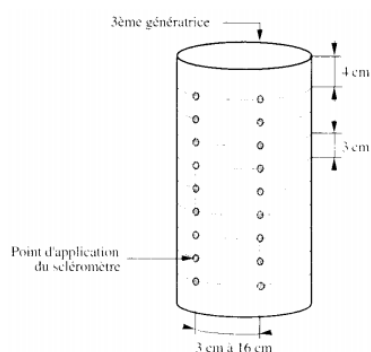
### ***Conduite de l'essai:***

Il convient d'utiliser le scléromètre dans une température ambiante comprise entre 10 °C et 35 °C, placez l'éprouvette surfacée au centre des 2 plateaux de la presse, appliquez une charge en KN correspondant à une pression de 0,5 Mpa. Tourner ensuite la vis de mise en charge au minimum (-) pour stabiliser la charge, maintenir fermement le scléromètre de manière à permettre à la tige de percussion de frapper perpendiculairement la surface d'essai, augmenter progressivement la pression exercée sur la tige jusqu'au

déclenchement du choc, après le choc, enregistrer l'indice de rebondissement, pour obtenir une estimation fiable de l'indice de rebondissement de la surface d'essai, neuf essais au moins doivent être effectués, enregistrer la position et l'orientation du marteau à chaque série d'essai, la distance minimale entre deux essais de choc doit être de 25 mm et aucun essai ne doit être réalisé à moins de 25 mm du bord de la surface testée.

### **PREPARATION DE L'EPROUVETTE :**

Tracer sur l'éprouvette 27 points de mesures. Ces points sont répartis sur 3 génératrices (chacune de 9 points) et distants entre eux de 30 mm. Aucune mesure ne doit être située à moins de 40 mm des faces planes de l'éprouvette.

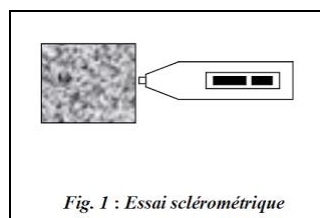


### **Expression des résultats:**

A partir de l'indice sclérométrique  $I_s$  de la zone testée et de l'abaque illustré ci après on peut déduire directement la résistance du béton (Figure 2).



**Scléromètre**



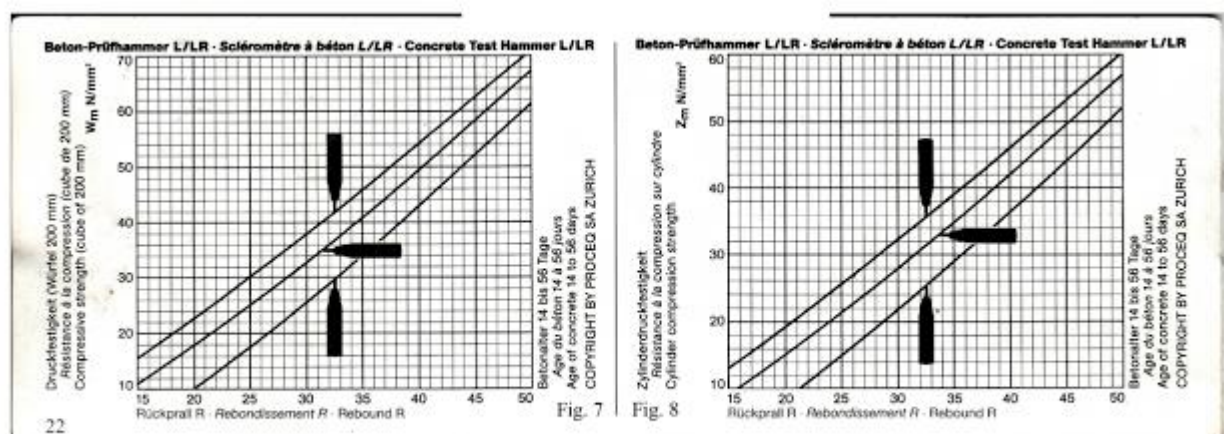


Fig. 2: Abaques donnant la résistance de compression en fonction de l'indice sclérométrique  $I_s$ .

## B- Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique) (NF EN 12504-4)

### Objectif de l'essai:

Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

### Principe de l'essai:

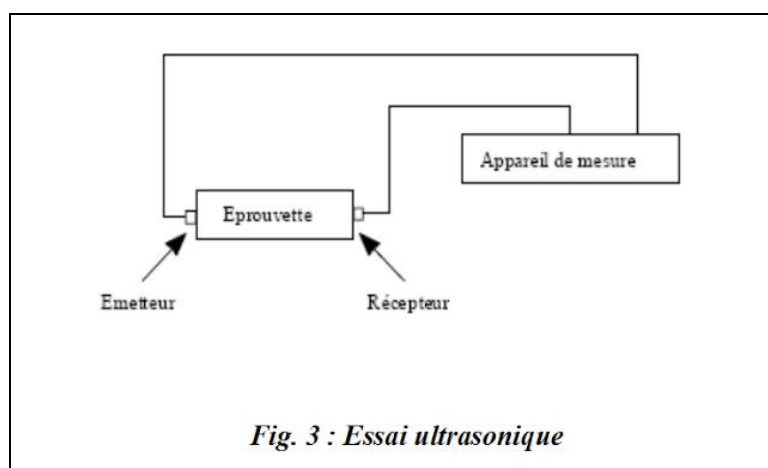
Le principe de l'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton ; cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité plus important, donc a priori une résistance plus importante.

On produit un train d'impulsion de vibration au moyen d'un émetteur appliqué sur l'une des faces de l'élément à contrôler. Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans le béton, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électrique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores.

### ***Equipement nécessaire:***

L'appareil comprend les accessoires suivants :

- Un générateur d'impulsions électriques,
- Paire de transducteurs,
- Un amplificateur,
- Un dispositif électronique de mesure de temps permettant de mesurer la durée écoulée entre le départ d'une impulsion générée par le transducteur - émetteur et son arrivée au transducteur - récepteur,
- Un barreau de calibrage est fourni pour permettre d'obtenir une ligne de référence du mesurage de la vitesse.



### ***Conduite de l'essai:***

#### ***Préparation de l'éprouvette:***

Pour qu'il y ait un contact parfait entre le béton et les transducteurs, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester. Les matériaux d'interposition sont la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaler la

partie de la surface où le transducteur sera fixé.

### **Point de mesure**

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage testé. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, ...) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5 m, le cas des petits éléments (poteaux, poutres...) les mesures se font en six points.

### **Disposition du transducteur**

Il est possible de mesurer la vitesse de propagation du son en plaçant les deux transducteurs sur des faces opposées «Transmission directe», sur des faces adjacentes «Transmission semi-directe » ou sur la même face « Transmission indirecte ou transmission de surface » en cas de structure ou d'éprouvette de béton.

### **Expression des résultats**

La vitesse de propagation du son à travers le béton est déterminée par la formule suivante :

$$V = \frac{L}{T}$$

Où :

V : est la vitesse de propagation du son, en km/s ;

L : est la longueur de parcours, en mm ;

T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur, en  $\mu$ s.

### **Classification du béton d'après la vitesse du son:**

| Vitesse du son en m/s | Appréciation de la qualité |
|-----------------------|----------------------------|
| > 4500                | Excellent                  |
| 3500 à 4500           | Bon                        |
| 3000 à 3500           | Assez bon                  |
| 2000 à 3000           | Médiocre                   |
| < 2000                | Très mauvais               |

#### **Travail demandé:**

Faire tester les éprouvettes par les deux essais non destructifs (Scléromètre et ultrason),

Mesurer la résistance à la compression des éprouvettes destinées aux essais non destructifs,

Rapporter toutes les mesures faites au cours du TP sur le tableau suivant,

Faire une comparaison entre les résultats de la résistance à la compression obtenus par écrasement et celles déduites par l'abaque de l'indice de rebondissement,

Représenter graphiquement :

la variation de la résistance en fonction de l'indice de rebondissement  $R_c$  ( $I_s$ ),

la variation de la résistance en fonction de la vitesse de propagation du son  $R_c$  ( $V$ ).

Déduire si vous pouvez une corrélation entre chacun des essais non destructifs et la résistance à la compression du béton.

**Feuille de calcul :**

| <u>Ep</u> | Masse<br>(kg) | Temps t (μ s) & V <sub>a</sub> (m/s) |            |                           | Indice de reb ( <u>pos</u> <u>Hor</u> ) |        |              | Résistance<br>(MPa) |
|-----------|---------------|--------------------------------------|------------|---------------------------|-----------------------------------------|--------|--------------|---------------------|
|           |               | t : sens 1                           | t : sens 2 | V <sub>a</sub> <u>moy</u> | Face 1                                  | Face 2 | I <u>moy</u> |                     |
| 1         |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               | <u>t</u> <u>moy</u> :                |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
| 2         |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               | <u>t</u> <u>moy</u> :                |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
| 3         |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               | <u>t</u> <u>moy</u> :                |            |                           |                                         |        |              |                     |
|           |               |                                      |            |                           |                                         |        |              |                     |

## ***TPN°9 : Essai Micro Derval (NF EN 1097-1 ; NF P18-572).***

### ***Introduction :***

Une fois en service, les granulats seront liés entre eux, soit par un liant hydraulique dans le cas des bétons, soit un liant hydrocarboné dans le cas des bétons bitumineux, soit par des forces de frottement dues à la compaction dans le cas des granulats routiers. Les différents phénomènes d'usure par abrasion, attrition et de frottement lors de leur manutention et de leur mise en place, produisent des particules fines modifiant la granulométrie du matériau et certaines de ses propriétés qui en dépendent directement. C'est sûrement dans le cas des granulats routiers que la détermination de cette résistance à l'usure se justifie le plus, en effet dans les assises de chaussée non traitées avec un ciment ou un liant bitumineux, les différentes particules ne sont que faiblement liées les uns aux autres par les forces de frottement, par conséquent elles peuvent subir une certaine usure due aux sollicitations répétées de la circulation. Les phénomènes d'usures sont toujours amplifiés par la présence d'eau, qui diminue les forces de frottements entre les particules et augmente ainsi leur mobilité relative les unes vis à vis des autres, cela explique l'intérêt de l'essai micro Deval en présence d'eau.

### ***But de l'essai :***

Cet essai Micro-Deval permet de déterminer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat par attrition. Le coefficient Micro-Deval obtenu est le pourcentage de l'échantillon initial passant au tamis de 1.6 mm après usure par rotation dans un cylindre en présence de bille d'acier inox à sec ou en présence d'eau. Plus le pourcentage d'usure est bas, plus l'échantillon est résistant à l'usure. Le matériau évolue pendant l'essai par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge

abrasive). La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires : 4- 6.3mm; 6.3-10 mm; 10-14 mm; 25-50 mm. Pour les essais effectués sur les gravillons entre 4 et 14 mm, une charge abrasive est utilisée.

### ***Principe de l'essai :***

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à l'usure s'exprime par le coefficient Micro-Deval qui s'écrit :

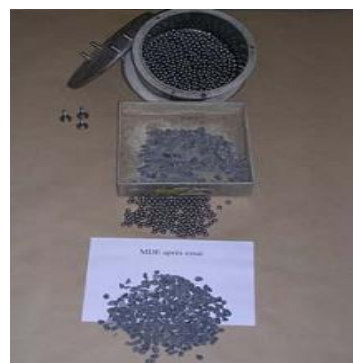
$$C_{MD} = \frac{m}{M} \times 100$$

### ***Description de la machine d'essai :***

La machine est composée de 1 à 4 cylindres d'une épaisseur supérieure ou égale à 3 mm. Ils sont posés sur deux arbres horizontaux soudés sur un châssis métallique tubulaire. Chaque cylindre est fermé à une extrémité par un couver plat d'environ 8 mm d'épaisseur. L'étanchéité est assurée par un joint placé sur le couvercle. Chaque cylindre contient un échantillon. Le nombre de rotations est de 12000 tours à une vitesse de rotation de  $100 \pm 5$  t/mn (2 heures) comptabilisé à l'aide d'un compteur placé sur le panneau de commande.



**Machine micro DEVAL**  
***Matériel utilisé :***



**Cylindre et billes**

- \* un jeu de tamis de 1,6 - 4 - 6,3 - 8 - 10 - 14 - 25 - 40 - 50mm. Leur diamètre ne devra pas être inférieur à 200 mm,
- \* une balance précise au gramme, de portée au moins égale à 10 kg,
- \* une étuve à 105 °c,
- \* des bacs et des truelles.

### **Préparation du matériau :**

Effectuer l'essai sur un granulat, ayant une granularité conforme à l'une des quatre classes granulaires types 4-6.3 ; 6.3-10 ; 10-14 ; 25-50. Les 25-50 mm doivent contenir 60% de 25-40 mm. Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105 °c jusqu'à poids constant (5 heures au minimum). Il n'est pas possible d'étendre ce processus d'usure aux sables, les classes granulaires inférieures à 4 mm n'évoluent plus par usure, dans cet essai, mais par fragmentation.

Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des deux tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand.

La prise d'essai sera de  $500 \pm 2$  g pour les 4-14 mm et de  $10\text{kg} \pm 20$  g pour les 25-50 mm.

### **Mode opératoire :**

a)- Essai sur les gravillons de classe granulaire 10/14 mm.

Mise en place de l'échantillon dans la machine ainsi que la charge de boulets relatifs à la classe granulaire choisie (voir tableau 1).

Tableau 1. Charge de boulets suivant le type de classe granulaire.

| Classe granulaires (mm) | Poids échantillon(g) | Poids de la charge (g) |
|-------------------------|----------------------|------------------------|
| 4-6,3                   | $500 \pm 2$          | $2000 \pm 5$           |
| 6,3-10                  | $500 \pm 2$          | $4000 \pm 5$           |
| 10-14                   | $500 \pm 2$          | $5000 \pm 5$           |

Pour l'essai humide (en présence d'eau), ajouter 2.5 l d'eau.

Replacer le couvercle et serrer les boulons de fixation. S'assurer que les cylindres sont étanches pendant leur rotation.

Mise en route de l'essai en faisant effectuer à la machine 12.000 rotations à une vitesse régulière de  $(100 \pm 5)$  tr/min pour toutes les classes, soit deux heures.

Enlever le granulat après l'essai. Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes de granulat.

Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6mm ; le matériau étant pris en plusieurs fois afin de faciliter l'opération.

Laver le refus à 1,6 mm dans un bac, bien remuer à l'aide d'une truelle. Peser ce refus une fois séché, soit  $m'$  le résultat de la pesée.

Le coefficient Micro-Deval est par définition égal au rapport :

$$m = M - m'$$

$$C_{MD} = \frac{m}{M} \times 100$$

$M$  : masse de l'échantillon

$m$  : masse du tamisât au tamis de 1,6 mm

Le résultat sera arrondi à l'unité.

Le coefficient mesure le % d'usure, plus il est petit et plus la résistance à l'usure est grande.

| Valeurs repères               |                |
|-------------------------------|----------------|
| MICRO-DEVAL EN PRESENCE D'EAU | APPRECIATION   |
| <10                           | Très bon à bon |
| 10 à 20                       | Bon à moyen    |
| 20 à 35                       | Moyen à faible |
| >35                           | Médiocre       |

## ***TPN°10 : Essai Los Angeles (NF EN 1097-2)***

### ***Introduction :***

Une fois en service, les granulats seront liés entre eux, soit par un liant hydraulique dans le cas des bétons, soit un liant hydrocarboné dans le cas des bétons bitumineux, soit par des forces de frottement dues à la compaction dans le cas des granulats routiers. Les différents phénomènes d'usure par abrasion, attrition et de frottement lors de leur manutention et de leur mise en place, produisent des particules fines modifiant la granulométrie du matériau et certaines de ses propriétés qui en dépendent directement. C'est sûrement dans le cas des granulats routiers que la détermination de cette résistance à l'usure se justifie le plus, en effet dans les assises de chaussée non traitées avec un ciment ou un liant bitumineux, les différentes particules ne sont que faiblement liées les uns aux autres par les forces de frottement, par conséquent elles peuvent subir une certaine usure due aux sollicitations répétées de la circulation, cela explique l'intérêt de l'essai Los Angeles.

### ***But de l'essai :***

L'essai consiste à mesurer la masse  $m$  d'éléments inférieurs à 1,6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi six classes granulaires qui sont : 4/6,3mm ; 6,3/10mm, 10/14mm, 10/25mm, 16/31,5mm, 25/50mm. Selon le type de granularité, la masse de la charge de boulets varie elle est donnée sur le tableau 1.

| Classe granulaire ( mm ) | Nombre de boulets | Masse de la charge de boulets g |
|--------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 4 - 8                    | 8                 | 3450 à 3540                     |
| 6,3 - 10                 | 9                 | 3840 à 3980                     |
| 8- 12.5                  | 10                | 4260 à 4420                     |
| 10-14                    | 11                | 4700 à 4860                     |
| 12.5-16                  | 12                | 5120 à 5300                     |

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

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

Cet essai est également utilisé pour vérifier la sensibilité au gel des gravillons conformément à la norme NF P18-593. Soit  $L_A$  le coefficient Los Angeles du gravillon.

On mesure un deuxième coefficient Los Angeles sur un échantillon de ce même gravillon ayant subi 25 cycles de gel-dégel.

Soit  $L_{Ag}$  le coefficient obtenu. La sensibilité au gel du gravillon a pour expression :

$$G = \frac{L_{Ag} - L_A}{L_A} \times 100$$

Etudiée et exploitée aux états- unis d'abord après généralisé à l'ensemble du laboratoire routier sans modification importante du processus.

Une échelle de valeurs de références s'est peut à peut mise en place.

### ***Description de la machine d'essai :***

La machine Los Angeles est composée de :

a) Un cylindre creux en acier de 12 mm d'épaisseur, fermé à ses deux extrémités ayant un diamètre intérieur de 711 mm et une longueur intérieure de 508 mm. Le cylindre est porté par deux axes horizontaux fixés à ses deux parois latérales, mais ils n'entrent pas

à l'intérieur du cylindre. Sur toute la longueur du cylindre, on trouve une ouverture de 150 mm de largeur qui permet d'introduire l'échantillon. Au cours de l'essai, cette ouverture est bouchée hermétiquement aux poussières par un couvercle immobile tel que la surface intérieure reste cylindrique ;

b) Un moteur assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation comprise entre 30 et 33 tours par minute ;

c) Un bac destiné à ramasser les matériaux après l'essai ;

d) Un compte-tours de type rotatif, arrêtant au nombre de tours voulu ;

e) Une charge qui est constituée par des boulets sphériques de 47 mm de diamètre et pesant 420g voir tableau 1. Ces boulets ne doivent pas s'user de façon asymétrique.



**Cylindre pour l'essai de Los Angeles sur les graviers**

### **Matériel utilisé :**

- \*un jeu de tamis de 1,6 -4 -6,3 -8 -10 -14 - 25-40 - 50mm.
- \*une balance précise au gramme, de portée au moins égale à10 kg,
- \*une étuve à 105 °c,
- \*des bacs et des truelles,

### **Préparation du matériau :**

Effectuer l'essai sur un granulat, ayant une granularité conforme à l'une des quatre classes granulaires types 4-6.3 ; 6.3-10 ;10-14 ; 25-50. Les 25-50 mm doivent contenir 60% de 25-40 mm. Laver

l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105 °c jusqu'à poids constant (5 heures au minimum). Il n'est pas possible d'étendre ce processus d'usure aux sables, les classes granulaires inférieures à 4mm n'évoluent plus par usure, dans cet essai, mais par fragmentation. Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des deux tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand. La prise d'essai sera de 5000 ±5 g pour les 4-14 mm et de 10kg ± 20 g pour les 25-50 mm.

**Mode opératoire :**

- 1- Prendre une masse minimale de 15 Kg pour les granulats de la classe entre 10 mm et 14 mm de façon que 60% à 70% des granulats passent au travers le tamis de 12.5 mm.
- 2- Tamiser l'échantillon sur la classe granulaire choisie
- 3- laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve et prendre une masse 5000 g ± 5g.
- 4 -Introduire la charge de boulets correspondant à la classe granulaire de l'échantillon.
- 5- Mettre la machine en marche durant le nombre 500 rotations à une vitesse de 30à 33tr/min
- 6- Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil.
- 7- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis 1,6 mm, Laver le refus au tamis, égoutter et sécher à l'étuve à 105 °C, puis le peser, Soit m' le résultat de la pesée le coefficient Los Angeles est donner par la relation ci dessous :

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

### Résultats d'analyses Los Angeles :

|                                                      |       |
|------------------------------------------------------|-------|
| Identification de l'échantillon, classe granulaire : | ..... |
| Nombre de boulets                                    | ..... |
| Masse sèche de l'échantillon M                       | ..... |
| Refus au tamis 1,6mm m'                              | ..... |
| Tamisé au tamis 1,6mm m = M-m'                       | ..... |
| Coefficient Los Angeles                              | ..... |

Spécifications pour béton hydrauliques :

| Catégorie | Valeur spécifique |
|-----------|-------------------|
| A         | $L_A \leq 30$     |
| B et C    | $L_A \leq 40$     |
| D         | $L_A \leq 50$     |

Spécification pour les techniques routières :

| Trafic<br>(essieux de 13 t) | Spécification | Couche de liaison | Couche de roulement |
|-----------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| T4 ( <25/j )                | LA            | $\leq 30$         | $\leq 25$           |
| T3 ( 25 à 150/j )           | LA            | $\leq 25$         | $\leq 20$           |
| T2 ( 150 à 300/j )          | LA            | $\leq 25$         | $\leq 20$           |
| T1 ( 300 à 750/j )          | LA            | $\leq 25$         | $\leq 20$           |
| T0 ( >750/j )               | LA            | $\leq 25$         | $\leq 20$           |

### Commentaires sur les résultats :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## ***TPN°11 Coefficient D'absorption d'eau (NF EN 1097-5 Octobre 2008)***

### ***Introduction :***

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. Divers cas 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.

### ***But de la mesure :***

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet, l'eau incluse dans le granulat provoque l'éclatement du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures.

### **Principe de la mesure :**

On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 2 heures.

Le coefficient d'absorption ( $A_b$ ) est défini par la relation :

$$A_b = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$$

$M_s$  = masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C.

$M_a$  = masse de l'échantillon imbibé, surface sèche déterminée comme suit.

### **Equipement :**

- \* Balance de précision 1 cg
- \* Etuve ou four micro-onde
- \* Plaque chauffante

### **Mode opératoire :**

1. Faite sécher le gravier à l'étuve à 105°C pendant 24heures ou au four micro-onde de 20 mm à 40mm environ (A l'évidence, aucun récipient métallique ne pourra être employé pour cette opération ).



Granulats de gravier



Etuve de séchage

2. Prélevez un échantillon de gravier sec et pesez-le :



3. Placez l'échantillon dans l'eau et portez à ébullition :



4. Maintenez l'ébullition pendant 2 heures (ou moins si la séance ne le permet pas) pour chasser l'air des pores.



5. Laissez refroidir dans l'eau pour que celle-ci rentre dans les vides.

6. Retirer de l'eau l'échantillon et essuyez chaque grain.
7. Pesez à nouveau l'échantillon : M1.

### Expression des résultats:

Après imbibition dans l'eau pendant 2 heures, étaler l'échantillon sur une surface plane non absorbante, tout en le remuant afin que la surface externe des grains sèche. Ce séchage doit être effectué de manière douce afin de ne pas éliminer l'eau qui pourrait être piégée à l'intérieur du granulat. Veiller également à ne pas perdre de grains de gravier au cours de l'opération. Les grains sont alors libres de toutes forces d'attraction capillaire.

### La teneur en eau des granulats stockés à l'atmosphère

|                                                                 |                                                                                                                                              |                                                                                                                             |                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br><b>SEC</b><br>(dessiccation jusqu'à poids constant)        | <br><b>NATURELLEMENT SEC</b><br>(séchage naturel à l'air) | <br><b>SATURE SURFACE SECHE</b>          | <br><b>SATURE SURFACE HUMIDE</b>          |
| <br><b>PORE</b><br><b>GRANULAT</b><br>PAS D'EAU DANS DES PORES | <br>UN PEU D'EAU DANS DES PORES                           | <br>PORES REMPLIS D'EAU<br>SURFACE SECHE | <br>PORES REMPLIS D'EAU<br>SURFACE HUMIDE |
| SI LES GRANULATS SONT POREUX, UNE PARTIE DE L'EAU DE GACHAGE EST ABSORBÉE PAR LES GRANULATS                                                       |                                                                                                                                              | PAS D'ÉCHAGE D'EAU ENTRE GRANULAT ET PÂTE DE CIMENT                                                                         | L'EAU À LA SURFACE DES GRANULATS DILUE LA PÂTE DE CIMENT ET DOIT ÊTRE COMPACTÉE COMME EAU DE GACHAGE                           |

### Résultats d'expérience :

| Coefficient d'absorption d'eau d'un gravier |  |
|---------------------------------------------|--|
| Masse après séchage $M_0(g)$                |  |
| Masse après imbibition $M_1(g)$             |  |
| Masse d'eau $M_2(g)$                        |  |
| Coefficient d'absorption (%)                |  |

**Commentaire :**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## **Références bibliographiques :**

- [1]. Abdelmonem MASMOUDI, T.P, Matériaux de construction de l'école nationale d'ingénieur de Sfax, année 2012/2013
- [2]. M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUIS A. Science des matériaux de construction Travaux pratiques, université aboubekr belkaid , année universitaire 2007 – 2008
- [3]. TRABELSI. Houcem, Fascicule de travaux pratique géotechnique et matériaux, Institut supérieur des technologies d'environnement d'Urbanisme et du Bâtiment. # ISTEUB # année 2009/2010
- [4]. Travaux Pratiques de Matériaux. E. WIRQUIN – J.PAN, Université d'Artois, Génie Civil, Année 2013 - 2014
- [5]. physique des matériaux, PHYS0904 Manuel de laboratoire université de liège, Faculté des Sciences Appliquées, Année 2015-2016
- [6]. Guilhem Mollon, Mécanique des matériaux granulaires, INSA de Lyon Département Génie Mécanique et Développement Edition 1, 2014-2015
- [7]. Djamil Boukhelkhal, Said Kenai, Détermination non destructive de la résistance du béton sur site (Scléromètre & Ultrason), HAL, archives ouvertes .fr, Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France.
- [8]. NF EN 1097-6 (2001), Essais pour granulats, détermination de la masse volumique AFNOR, 2001.
- [9]. NF P94-056 , Essais pour granulats , Analyse granulométrique
- [10]. NF EN 1097-5, Essais pour granulats, détermination de la teneur en eau, octobre 2008
- [11]. NF EN 12504-2, Essais pour béton dans les structures. Partie 2 : Essais non destructifs -Détermination de l'indice de rebondissement, AFNOR, 2003.
- [12] NF EN 12390-3, Essai pour béton durci. Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes, AFNOR, 2003.
- [13]. NF EN 12504-4, Essais pour béton dans les structures. Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation du son, AFNOR, 2005.