

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane MIRA – Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie civil

Polycopié de Travaux Pratiques Matériaux de Construction

Deuxième Année Licence en Génie Civil (2LGC)

Etabli par : Dr. Abdelhafid BOUKELLOUDA

Maitre de conférences, Université de Bejaia.

Mai 2024

Préface

Les matériaux de construction sont des matériaux utilisés dans les secteurs de la construction : bâtiments, ouvrages d'art et travaux publics (souvent désignés par le sigle BTP). Ils ont la propriété de résister contre des forces externes mécaniques et/ou thermiques importantes. Ce sont principalement les granulats.

Dans le présent polycopié intitulé « Travaux pratiques matériaux de construction », qui s'adresse aux étudiants de deuxième année licence en Génie Civil (2LGC). Il est rédigé de manière simplifiée afin que l'étudiant puisse assimiler le continu de cette matière et de lui servir dans la vie courante.

Ce polycopié regroupe les principaux essais qui déterminent les caractéristiques physiques des matériaux utilisés dans les différents secteurs (bâtiments, travaux publics, ouvrages d'art,...etc.).

Le présent polycopié est organisé en Sept travaux pratiques selon le canevas de formation approuvé par la tutelle.

TP 1 : Masse volumiques du ciment, sable et gravier

TP 2 : Analyse granulométrique du sable et gravier

TP 3 : Teneur en eau et foisonnement du sable

TP 4 : Porosité du sable et gravier

TP 5 : Coefficient volumétrique du gravier

TP 6 : Equivalent de sable

TP 7 : Essai de consistance et de prise du ciment

Semestre : 4

Unité d'enseignement : UEM 2.2

Matière 2 : TP Matériaux de Construction

VHS : 22h30, (TP : 1h30)

Crédits : 2

Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :

L'étudiant sera en mesure de caractériser les paramètres physico-mécaniques des matériaux de construction.

Connaissances préalables recommandées :

Cours de matériaux de construction

Contenu de la matière :

TP1 : Masses volumiques du ciment, sable et gravier

TP2 : Analyse granulométrique du sable et du gravier

TP3 : Teneur en eau et foisonnement du sable

TP4 : Porosité du sable et gravier

TP5 : Coefficient volumétrique et la forme du gravier

TP6 : Equivalent de sable

TP7 : Essai de consistance et de prise du ciment

Mode d'évaluation :

Contrôle continu : 100%

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
TP 1: Masses volumiques du ciment, sable et gravier	2
I. Masse volumique apparente	2
I.1.Introduction	2
I.2.Définition.....	2
I.3.But.....	2
I.4. Matériels utilisés	3
I.5. Matériau d'analyse.	3
I.6. Mode opératoire.....	3
I.7. Résultats de calcul	5
II. Masse volumique absolue	5
II.1. Matériels utilisés	6
II.2. Matériaux d'analyse	6
II.3. Mode opératoire	6
II.4. Résultats de calcul.....	7
III. Calcul de la masse volumique absolue du ciment.....	8
III.1. Méthode du pycnomètre.....	8
a. Conduite de l'essai	8
b. Expression des résultats.....	9
III.2. Densitomètre Le Chatelier	9
a. Mode opératoire.	10
b. Expression des résultats.....	10
c. Résultats de calcul.....	10
TP 2 : Analyse granulométrique d'un sable et d'un gravier	11
1. Le principe.....	11
2. Intérêt en Génie Civil.....	12
3. Module de finesse	12

4. Matériels nécessaires.....	12
5. Matériau d'analyse.....	13
6. Mode opératoire	13
7. Résultats de calcul.....	17
TP 3 : Foisonnement du sable et la teneur en eau.....	20
I. Foisonnement du sable	20
I.1.Introduction.....	20
I.2. Intérêt en Génie Civil.....	20
I.3. Matériel nécessaire	20
I.4. Mode opératoire.....	20
I.5. Représentation des résultats.	21
I.6. Résultats de calcul	22
II : Teneur en eau	23
II.1. Introduction	23
II.2. Principe.	24
TP 4 : Porosité des granulats	25
1. Introduction	25
2. Principe de l'essai	25
3. Mode opératoire.....	25
4. Matériau d'analyse	25
5. Présentation des résultats.....	26
TP 5 : Coefficient volumétrique et la forme du gravier	27
I. Coefficient volumétrique.....	27
I.1. Définition.....	27
I.2. Mode opératoire.	27
I.3. Exemple de calcul.....	28
II. Coefficient d'aplatissement des granulats.....	29
II.1. But de l'essai	29
II.2. Conduite de l'essai.....	29
II.3. Présentation des résultats de calcul.....	30

TP 6 : Essai d'équivalent de sable	33
1. Introduction.....	33
2. Conséquences de la présence d'argile dans le sable	33
3. Le but de l'essai	33
4. Matériel nécessaire.....	33
5. Produits utilisés.	35
6. Préparation de l'échantillon	35
7. Conduite de l'essai.....	35
8. Expression des résultats	38
9. Présentation des résultats de mesure	39
TP 7 : Essai de consistance et de prise du ciment	40
I. Essai de consistance avec l'appareil de Vicat	40
I.1. Objectif de l'essai.	40
I.2. Mode opératoire.....	40
I.3. Résultats et interprétation.....	41
II. Essai de prise de ciment.....	42
Présentation des résultats de calcul	43
Références bibliographiques	44

Liste des figures

Figure 1 : Récipient utilisé pour le ciment.....	3
Figure 2 : Essai de la masse volumique apparente du sable.....	4
Figure 3 : Essai de la masse volumique apparente du gravier.....	4
Figure 4 : Méthode des éprouvettes graduées.....	7
Figure 5 : Méthode du pycnomètre.....	9
Figure 6 : Méthode du Densitomètre Le Chatelier.....	9
Figure 7 : Tamiseuse électrique.....	15
Figure 8 : Le graphique à l'échelle semi-logarithmique.....	16
Figure 9 : Présentation graphique des résultats d'analyse granulométriques.....	16
Figure 10 : Distribution granulométriques des différents granulats.....	18
Figure 11 : Essai de foisonnement du sable.....	21
Figure 12 : Courbe de variation du coefficient de foisonnement en fonction du % d'humidité du sable.....	22
Figure 13 : Représentation de courbe de variation du coefficient de foisonnement en fonction du taux d'humidité du sable.....	23
Figure 14 : Détermination du volume du grain et le volume de la sphère circonscrite....	27
Figure 15 : Tamis sur grilles à fente.....	30
Figure 16 : Agitateur électrique.....	36
Figure 17 : Lavage du sable à l'aide d'une solution lavante.....	37
Figure 18 : Mesure de la hauteur du sable brut visuel et par piston.....	37
Figure 19 : Lecture des différentes hauteurs du sable sur éprouvettes à la fin de l'essai.....	38
Figure 20 : Evaluation d'une pâte de ciment en fonction du rapport E/C.....	41
Figure 21 : Appareil de Vicat muni de sa sonde de consistance.....	41
Figure 22 : Le graphique de la consistance « d » en fonction du rapport E/C.....	42
Figure 23 : Appareil de Vicat muni d'une aiguille amovible.....	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : Masses volumiques apparente des granulats de la carrière Ain Roua.....	5
Tableau 2 : Masses volumiques absolue des granulats de la carrière Ain Roua.....	7
Tableau 3 : Les résultats de la masse volumique absolue du ciment.....	10
Tableau 4 : Analyse granulométrique du sable (0/3).....	17
Tableau 5 : Analyse granulométrique du gravier (8/15).....	17
Tableau 6 : Analyse granulométrique du gravier (15/25).....	18
Tableau 7 : Résultats de calcul du coefficient de foisonnement et le coefficient de variation en fonction du taux d'humidité.....	22
Tableau 8 : Détermination du coefficient d'aplatissement pour le gravier (3/8).....	31
Tableau 9 : Détermination du coefficient d'aplatissement pour le gravier (8/15).....	31
Tableau 10 : Détermination du coefficient d'aplatissement pour le gravier (15/25).....	32
Tableau 11. Résultats de l'équivalent de sable visuel et par piston (sable Ain Roua).....	39
Tableau 12. Le temps de début et de fin de prise de ciment (CPJ CMII 42,5).....	43

Introduction

Les granulats sont essentiels dans les projets de génie civil, représentant environ 80 % du poids du béton. Ils doivent répondre à des normes de qualité spécifiques et posséder des caractéristiques adaptées à chaque application. Leur utilisation permet de réduire la quantité de liant, souvent plus coûteux, ce qui engendre des économies significatives. En intégrant une proportion plus élevée de granulats, il est possible de maintenir la performance du béton tout en optimisant les coûts de production, tant sur le plan économique que technique.

D'un point de vue technique, les granulats jouent un rôle essentiel dans la stabilité dimensionnelle du béton, en réduisant les risques de retrait et de fluage. Leur résistance, qui dépasse celle de la pâte de ciment, contribue également à renforcer la durabilité et la solidité de l'ensemble. Pour tirer pleinement parti de ces avantages, il est crucial d'optimiser la proportion de granulats dans le mélange, tout en respectant certaines conditions fondamentales.

Il est crucial que les matériaux respectent des normes de qualité strictes pour garantir la performance du béton. La pâte liante doit être de haute qualité pour assurer une bonne adhésion entre les granulats et combler les vides, favorisant ainsi l'homogénéité et la résistance. Une sélection réfléchie et proportionnée des granulats est essentielle pour obtenir un béton supérieur. Les essais en laboratoire, réalisés sur de petites quantités, doivent être représentatifs pour généraliser les résultats. Cependant, cette sélection peut être complexe et nécessite un investissement en temps et en coûts selon les techniques employées.

Malgré ces défis, il est primordial de ne pas négliger cette étape, car la qualité des résultats dépend largement de la représentativité de l'échantillon. En adoptant une préparation rigoureuse, on garantit des conclusions fiables et pertinentes, ce qui optimise les processus de recherche et développement et améliore la qualité des produits finaux.

TP N° 1 : Masses volumiques du ciment, sable et gravier (NF EN 1097 -6 (2001))

I- masse volumique apparente

I.1.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.

I.2. Définition

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et capillaires). Elle est exprimée en (g/cm³; Kg/m³; t/m³).

$$\rho_{app} = \frac{M2 - M1}{V}$$

I.3. But

Le but est de déterminer la masse volumique apparente du matériau, c'est-à-dire sa densité à l'état naturel (en présence des pores).

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. 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±5C°.

I.4. Matériels utilisés

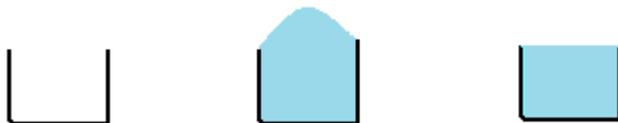
- Une balance de bonne précision
- Un récipient de capacité 1 litre ; un entonnoir ; une réglette plate ; des tamis 5 mm et 80 micron.

I.5. Matériau d'analyse

On utilise : sable, gravier et ciment

I.6. Mode opératoire :

- Peser un récipient vide de masse M_1 et de volume connu (V),
- Verser à l'intérieur le matériau par couche successive, en le répartissant sur toute la surface et sans tassement,
- Araser avec soin la couche supérieure (le surplus) à l'aide d'une réglette plate,
- Peser le récipient rempli, soit M_2 .
- Effectuez au moins trois (03) mesures et faites la moyenne.
- Pour le ciment utiliser un tamis de 0,08 mm
- Pour le sable utiliser un tamis 3,5 mm



Récipient vide M_1 et volume V Remplir le récipient Araser le surplus M_2



Figure1. Récipient utilisé pour le ciment

N.B : Pour le ciment, on utilise un entonnoir porté par trépied, muni d'une passoire et d'un opercule mobile, placé au-dessus d'un récipient calibré (voir fig. 1). L'essai se réalise de la même façon que les granulats (sable et gravier).



Figure 2. Essai de la masse volumique apparente du sable



Figure 3. Essai de la masse volumique apparente du gravier

Pour le calcul de la masse volumique apparente du sable, du gravier et de ciment, on utilise le tableau suivant :

Matériau	Le Gravier			Le Sable			Le Ciment		
caractéristique									
$M1 (g)$									
$M2 (g)$									
$M2 - M1 (g)$									
$V (cm^3)$									
$\rho_{app} (g/cm^3)$									

I.7. Résultats de calcul

Nous présentons dans le tableau 1 les résultats de calcul de la masse volumique apparente des granulats de la carrière Ain Roua (Sétif).

Tableau 1 : Masses volumiques apparente des granulats de la carrière Ain Roua (Sétif)

Echantillon		M ₂ (g)	(M ₂ -M ₁) (g)	Masse volumique apparente ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moyenne (g/cm ³)
Gravier 15/25	Ech1	1935,80	1450,00	1,450	1,45
	Ech2	1950,95	1465,15	1,465	
	Ech3	1936,83	1451,03	1,451	
Gravier 8/15	Ech1	1908,56	1422,76	1,422	1,43
	Ech2	1916,89	1431,09	1,431	
	Ech3	1925,80	1440,0	1,440	
Gravier 3/8	Ech1	1877,00	1391,20	1,391	1,41
	Ech2	1895,80	1410,00	1,410	
	Ech3	1917,90	1432,10	1,432	
Sable 0/3	Ech1	2006,80	1521,00	1,521	1,52
	Ech2	2018,75	1532,95	1,533	
	Ech3	2000,80	1515,00	1,515	

Selon les résultats de calcul, on peut conclure qu'ils s'agissent des granulats courants puisque dans ce cas la masse volumique apparente rentre dans l'intervalle [1,4 – 1,6].

II. Masse volumique Absolue des granulats

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume d'un matériau (sans tenir compte des vides entre les grains), elle notée par ρ_{abs} , exprimée en (g/cm³; Kg/m³; t/m³).

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées, on cite (la méthode des éprouvettes graduées, la méthode de pycnomètre (le densimètre), la méthode de pesée hydrostatique et le volumétre Le Chatelier.

Le calcul de la masse volumique absolue par *la méthode des éprouvettes graduées* est donné par l'expression suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

II.1. Matériels utilisés

- Balance de bonne précision
- Eprouvette graduée en plastique ou bien en verre
- Un entonnoir pour le remplissage
- Des bacs en plastiques ou bien en aciers pour effectuer les essais

II.2. Matériaux d'analyse

Le sable, le gravier et le ciment

II.3. Mode opératoire

Pour la méthode des éprouvettes graduées l'essai est très facile à réaliser, il suffit de mesurer la différence de volumes.

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume connu V_1 d'eau ;
- Peser un échantillon sec M de granulats (environ 300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air : le liquide monte dans l'éprouvette ;
- Lire le nouveau volume V_2

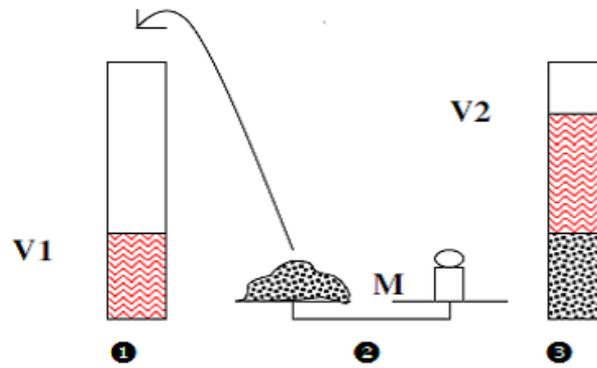


Figure 4. Méthode des éprouvettes graduées

Pour le calcul de la masse volumique absolue du sable et du gravier, on utilise le tableau ci-dessous :

Matériau	Le Gravier			Le Sable		
caractéristique						
$V1 (cm^3)$						
$V2 (cm^3)$						
$V2 - V1 (cm^3)$						
$M (g)$						
$\rho_{abs} (g/cm^3)$						

II.4. Résultats de calcul

Nous présentons dans le tableau 2 les résultats de calcul de la masse volumique absolue par la méthode des éprouvettes graduées des granulats de la carrière Ain Roua (Sétif).

La masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai (M) prise égale à 300 g.

Tableau 2 : Masses volumiques absolue des granulats de la carrière Ain Roua (Sétif)

Echantillon		V_2 (cm^3)	$(V_2 - V_1)$ (cm^3)	Masse volumique apparente ρ_{abs} (g/cm^3)	ρ_{abs} moyenne (g/cm^3)
Gruvier 15/25	Ech1	313,50	113,50	2,643	2,64
	Ech2	293,50	113,50	2,643	
	Ech3	324,00	114,00	2,631	

Gravier 8/15	Ech1	312,00	112,00	2,678	2,67
	Ech2	362,50	112,50	2,667	
	Ech3	392,00	112,00	2,678	
Gravier 3/8	Ech1	303,50	113,50	2,643	2,65
	Ech2	313,00	113,00	2,650	
	Ech3	332,50	112,50	2,678	
Sable 0/3	Ech1	363,00	1521,00	2,650	2,63
	Ech2	345,00	115,00	2,610	
	Ech3	353,50	113,50	2,643	

D'après les résultats de calcul, on peut constater qu'ils s'agissent des granulats courants puisque dans ce cas la masse volumique absolue rentre dans l'intervalle [2,5 – 2,7].

III. Calcul de la masse volumique absolue pour le ciment

Pour le calcul de la masse volumique absolue du ciment, on peut utiliser : (la méthode du pycnomètre comme on peut utiliser le Densitomètre le Chatelier).

III.1 Méthode du pycnomètre

Le principe de la méthode 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.

a. Conduite de l'essai

-Peser le pycnomètre vide m_0

-Peser le pycnomètre rempli de liquide (pétrole ou le benzène) jusqu'au trait repère soit m_1

- Peser environ 50 g de ciment soit m_2

-Introduire le ciment dans le liquide après avoir vider le pycnomètre à moitié.

-Éliminer l'air et remplir le pycnomètre au trait repère peser soit m3

La masse du liquide déplacé correspond au volume du corps : $m_L = m_1 + m_2 - m_3$

Le volume du liquide déplacé $V_L = m_L / \rho_L$ (ρ_L : masse volumique du liquide utilisé)

b. Expression des résultats

La masse volumique absolue du ciment est donnée par : $\rho_c = m_2 / V_L$

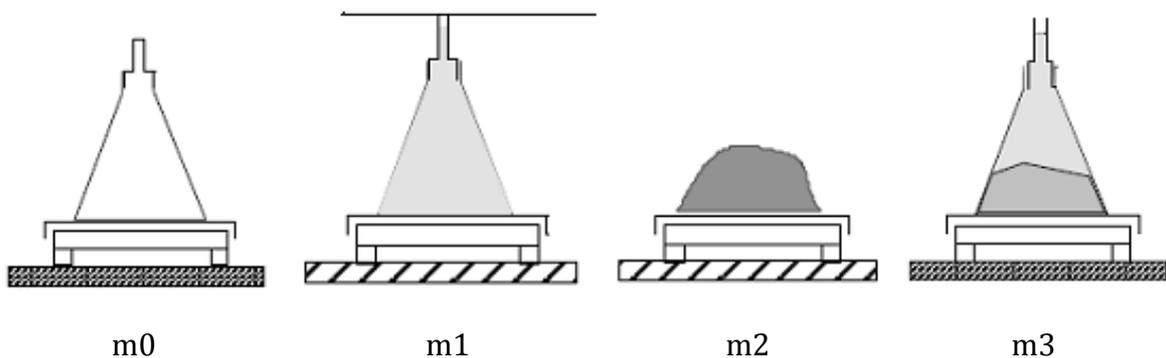


Figure 5. Méthode du pycnomètre

III.2. Densitomètre Le Chatelier

C'est une méthode plus pratique, il s'agit d'un récipient composé d'un ballon surmonté d'un renflement (de 20 cm³ environ) puis d'un col étroit gradué.

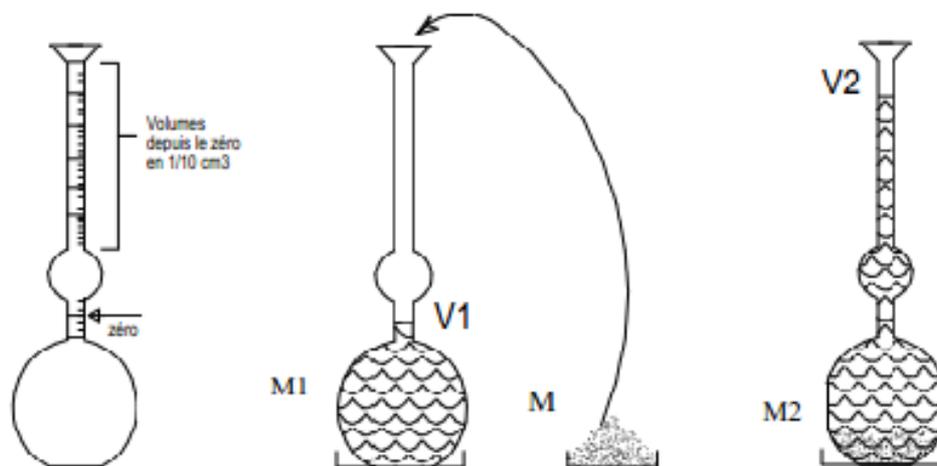


Figure 6. Méthode du Densitomètre Le Chatelier

a. Mode opératoire

- Introduire le liquide (le pétrole ou bien le benzène) jusqu'en $V1$ voisin de zéro. Noter $V1$
- Poser le tout, soit $M1$
- Introduire le ciment (environ 50 g), puis chasser les bulles d'air. Noter $V2$
- Poser le tous, soit $M2$
- Refaire l'essai au moins trois (03) fois, et faire la moyenne

b. Expression des résultats

La masse volumique absolue du ciment est donnée par : $\rho_c = \frac{M2-M1}{V2-V1}$

Prendre: ($\rho_{pétrole} = 800 \text{ à } 900 \text{ Kg/m}^3$; $\rho_{Benzène} = 876 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$; $\rho_{essence} = \frac{830\text{Kg}}{\text{m}^3}$; $\rho_{Gazoile} = 745 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$).

C. Résultats de calcul

Nous présentons dans le tableau 3 les résultats de calcul de la masse volumique absolue du ciment par la méthode de densitomètre Le Chatelier.

Tableau 3 : Les résultats de la masse volumique absolue du ciment

Echantillon	(M2 - M1) (g)	(V2 - V1) (cm ³)	ρ_c (g/cm ³)	ρ_c moyenne (g/cm ³)
1	50	16,80	2,97	3,01
2	50	16,40	3,04	
3	50	16,50	3,03	

TP N° 2 : Analyse granulométrique d'un sable et d'un gravier (NF EN 933-1)

1. Le principe

L'analyse granulométrique à trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains
- Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral)
- En déduire le module de finesse (Mf)

Les granulats utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil sont des matériaux roulés ou concassés d'origine naturelle ou artificielle, de dimensions comprises entre 0 et 80 mm. Ils ne sont généralement pas constitués par des éléments de tailles égales mais par un ensemble de grains dont les tailles variées se répartissent entre deux limites : la plus petite (d) et la plus grande (D) dimension en mm.

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrés selon la norme (NF P 18-101):

- Les fines : 0/D avec $D \leq 0,08\text{mm}$.
- Les sables : 0/D avec $D \leq 6,3\text{mm}$.
- Les gravillons : d/D avec $d \geq 2\text{mm}$ et $D \leq 31,5\text{mm}$.
- Les cailloux : d/D avec $d \geq 20\text{mm}$ et $D \leq 80\text{mm}$.
- Les graves : 0/D avec $6,3\text{mm} < D \leq 80\text{mm}$

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

La granulométrie ou analyse granulométrique consiste donc à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 80 mm et 0,063 mm.

2. Intérêt en Génie Civil

L'analyse granulométrique permet de distinguer les granulats suivant des classes granulaires qui sont commercialisées par les fabricants. L'élaboration d'une composition de béton nécessite une connaissance parfaite de la granulométrie et de la granularité, car la résistance et l'ouvrabilité du béton dépendent essentiellement du granulat. Par ailleurs, la dimension D du granulat se trouve limitée par différentes considérations concernant l'ouvrage à bétonner (épaisseur de la pièce, espacement des armatures, densité du ferrailage,...etc.).

3. Module de finesse

Le module de finesse est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Celui-ci correspond à $1/100^e$ de la somme des refus cumulés (exprimé en pourcentages de poids) sur les différents tamis de la série suivante : 0,16- 0,315- 0,63- 1,25- 2,5 et 5 mm.

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

- Pour $1,8 < M_f < 2,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- Pour $2,2 < M_f < 2,8$ le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- Pour $2,8 < M_f < 3,2$ le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- Pour $M_f > 3,2$ le sable est à rejeter.

4. Matériels nécessaires

- Une machine à tamiser
- Une série de tamis conformes à la Norme (NF X 11-501) et (NF X 11-504)

- Un couvercle qui évite la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamisât
- Un récipient en plastique ou en acier pour essai
- Une balance de portée 5 Kg, avec une précision de 1 g.

5. Matériau d'analyse

Il faut utiliser des échantillons préparés suivant la Norme (P 18-553), de masse déterminée suivant la Norme (NF EN 933-1) et préalablement séchés à l'étuve à 105 °C.

- Un échantillon de sable
- Un échantillon de gravier

Dans la pratique, selon la norme (NF P 18-560), la masse utilisée sera telle que :

$M \geq 0,2 D$, avec :

M : masse de l'échantillon en kilogrammes (Kg).

D = diamètre de plus gros granulat exprimé en millimètre (mm).

6. Mode opératoire

- 1- monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond
- 2- verser le matériau sec dans la colonne de tamis
- 3- agiter mécaniquement cette colonne ;
- 4- reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle ;
- 5- agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus 1 % en masse par minute de tamisage ;
- 6- verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur
- 7- déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis ;

8- poursuivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis ;

9- vérifier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme (NF EN 933-1) (différence entre la somme des masses de refus et de tamis et de la masse initiale).

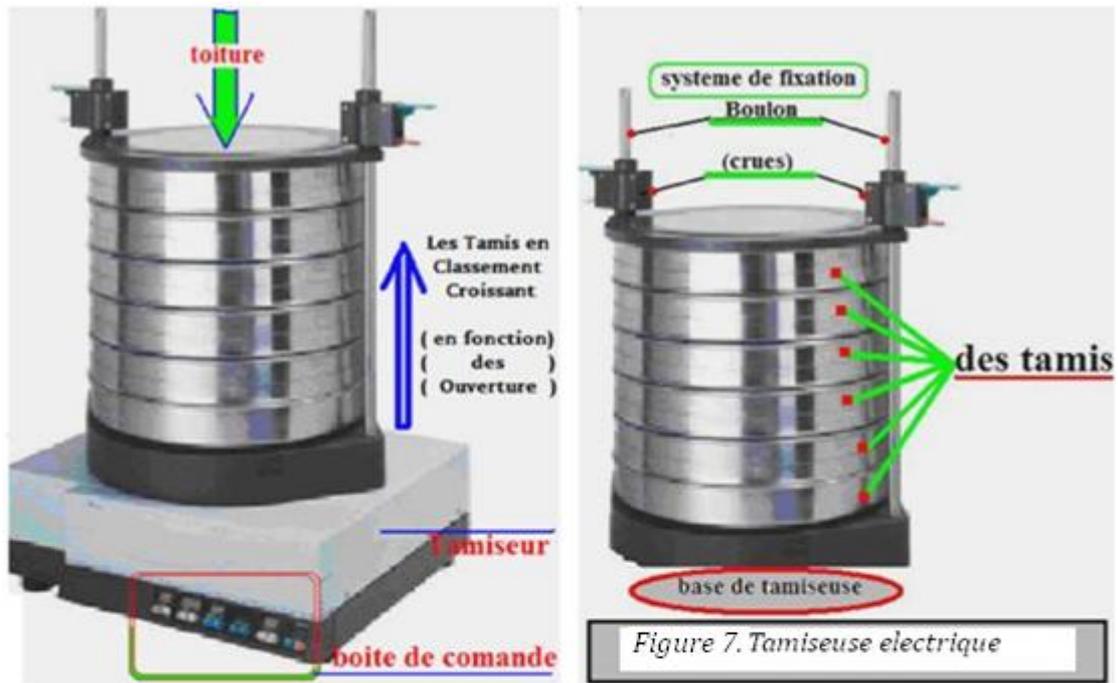
N.B: la classe des granulats est définie par tamisage au travers d'une série de tamis dont les mailles ont les dimensions suivantes en mm :

0,063 - 0,080 - 0,10 - **0,125** - 0,16 - 0,20 - **0,25** - 0,315 - 0,40 - **0,50** - 0,63 - 0,80 - **1** - 1,25 - **2** - 3,15 - **4** - 5 - 6,30 - **8** - 10 - 12,50 - 14 - **16** - 20 - 25 - **31,50** - 40 - 50 - **63** - 80 - 100 - **125**

Les tamis dont les dimensions sont soulignées et notées en gras correspondent à la série de base préconisée. De ce fait, lors d'une étude granulométrique, ils doivent être utilisés en plus de tout autre tamis nécessaire à l'établissement de la courbe.

On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamis. Les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

Le graphique à l'échelle semi-logarithmique pour tracer les courbes de l'analyse granulométrique des différents granulats.



Pour les résultats de l'analyse granulométrique des différents granulats, on utilise le tableau suivant :

Diamètre tamis (mm)	Module tamis	Sable	G (3/8)	G (8/15)	G (15/25)
31,5	46				
25	45				.....
20	44				.....
16	43			.....	.....
12,5	42			.....	.....
10	41		.....	.....	.....
8	40		.....	.....	.....
6,3	39		.....	.....	.....
5	38	.....	.....	.....
2,5	35	.....	.....	.....
1,25	32	.....	.....
0,63	29	.....		
0,315	26	.....		

0,16	23	.....		
0,080	20	.....		
Fond		.....	.....	.....	.....

N.B : Sur le tableau ci-dessus, il faut remplir les tamisats cumulés de chaque granulat.

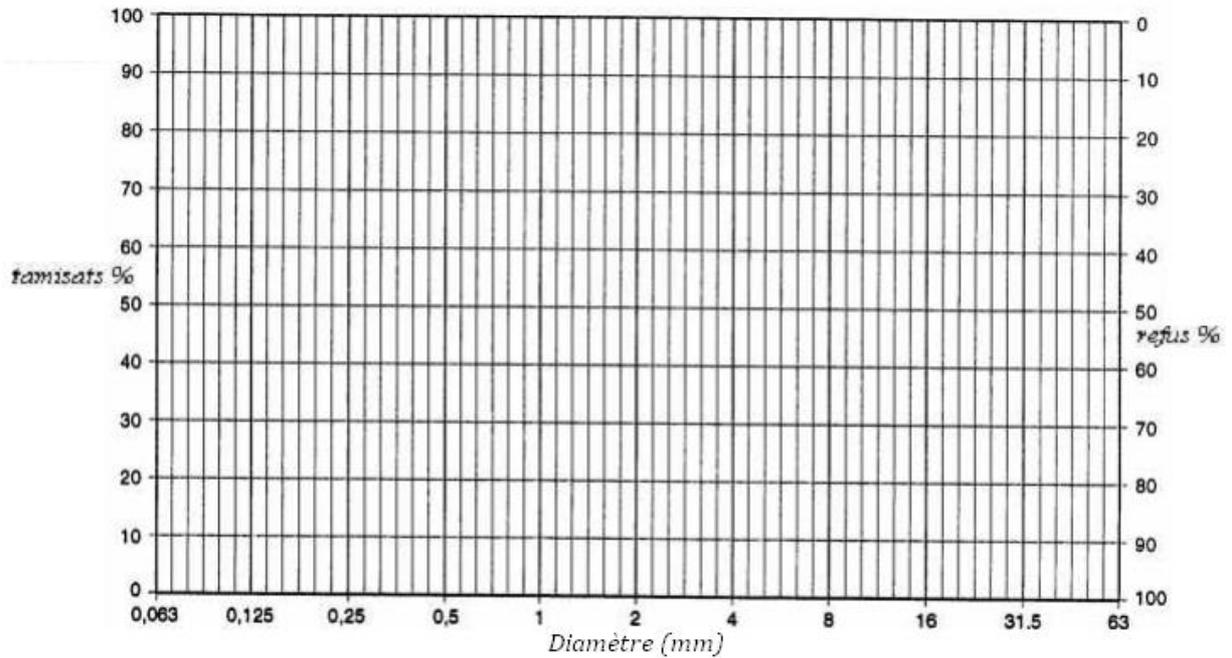


Figure 8. Le graphique à l'échelle semi-logarithmique

Sur la figure 8, présentation graphique des résultats d'analyse granulométriques de quelques granulats

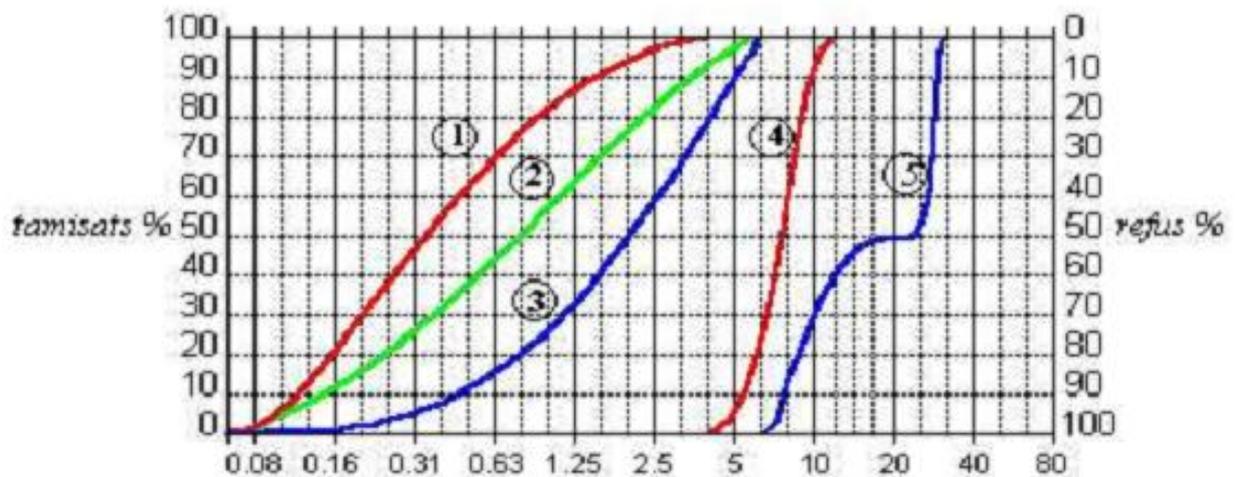


Figure 9. Présentation graphique des résultats d'analyse granulométriques

- ① Sable à majorité de grains fins
- ② Sable plutôt grossier
- ③ Sable normal
- ④ Gravillon 5/10 à granulométrie continue
- ⑤ Gravillon 8 / 25 à granulométrie discontinue

7. Résultats de calcul

Nous présentons les résultats des essais d'analyse granulométrique des différents granulats testés durant les séances des travaux pratiques effectuées.

Tableau 4. Analyse granulométrique du sable (0/3)

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_{éch} = 1700$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
5	17	01	99
2,50	425	25	75
1,25	850	50	50
0,630	1105	65	35
0,315	1305	77	23
0,160	1411	83	17
0,080	1511	89	11

Tableau 5. Analyse granulométrique du gravier (8/15)

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_{éch} = 4200$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
16	100	02	97
12	1460	35	65
10	2668	64	36
8	3560	85	15

6,3	4053	97	03
5	4132	98	02
2,5	4195	100	00

Tableau 6. Analyse granulométrique du gravier (15/25)

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : $M_{éch} = 6536$ grs			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (grs)	Refus cumulés Rn (%)	Tamisât cumulés (%)
25	90	01	99
20	1755	27	73
16	5444	83	17
12,5	6116	94	06
10	6166	94	06
8	6177	95	05
6,30	6211	95	05

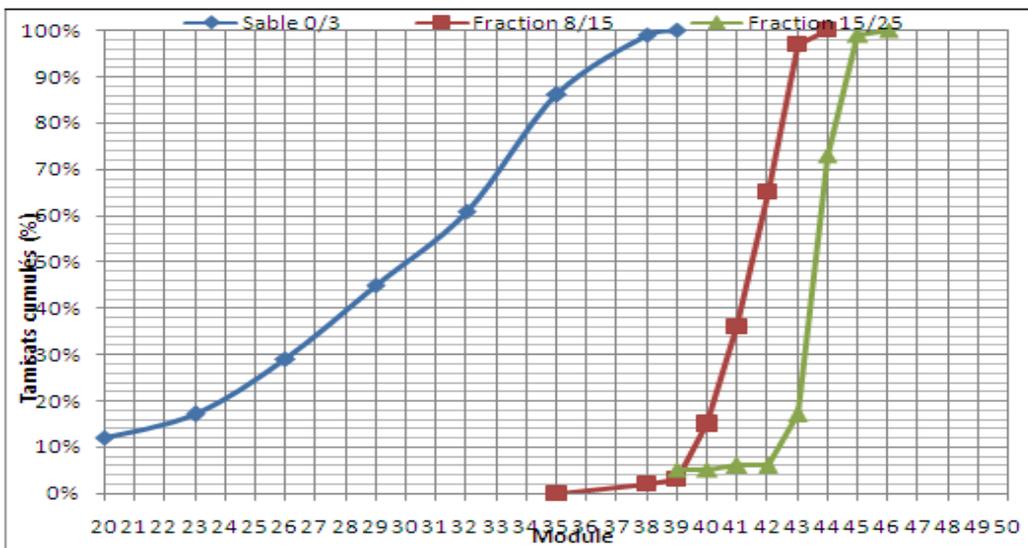


Figure 10. Distribution granulométriques des différents granulats

Le module de finesse de sable dans ce cas : $MF = (83 + 77 + 65 + 50 + 25 + 1) / 100 = 3.01$, il s'agit d'un sable grossier avec le pourcentage des fines inférieures à 80 microns est égal à $11\% < 12\%$. Donc il faut corriger ce sable par un autre sable fin afin prévoir un module de finesse dans le fuseau recommandé des sables par la norme.

TP N° 3 : Foisonnement du sable (NF EN 1097-5) et teneur en eau

I. Foisonnement du sable

I.1. Introduction

Le coefficient de foisonnement est le rapport de la hauteur du sable humide (H_H) et sa hauteur sèche (H_S), il varie en fonction du taux d'humidité. Ce coefficient présente son maximum entre 3 % et 7 % d'humidité.

I.2. Intérêt en Génie Civil

L'humidité très variable des sables perturbe d'une part leur dosage volumétrique et d'autre part la quantité d'eau continue dans le béton frais. En effet, le sable approvisionné sur un chantier n'est jamais sec et sa teneur en eau correspond souvent à une valeur faible : un dosage volumétrique entraîne donc une carence de matière solide et un excès d'eau préjudiciable à la fabrication du béton.

I.3. Matériel nécessaire

- Balance de bonne précision
- Un étuve
- Eprouvette graduée
- Tamis de 5 mm
- Récipient pour essai
- Truelle (spatule)
- Entonnoir pour remplissage

I.4. Mode opératoire

- Tamiser le sable sec à travers le tamis 5 mm
- Peser une quantité de sable parfaitement sec correspondant à 500g = (M_s)
- Verser le sable dans une éprouvette graduée de 1000cm³, mesurer la hauteur (H_s) 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 sans tassement, on mesure la hauteur (H_H) du matériau humide.

- On calcule le coefficient de foisonnement par la formule suivante : $C_f = \frac{H_H}{H_S}$

- Refaire cette manipulation à plusieurs taux d'humidité 1%, 3%, 5%, 7%, 10%, 12%

- Tracer la courbe de variation du coefficient de foisonnement en fonction du % d'humidité du sable.

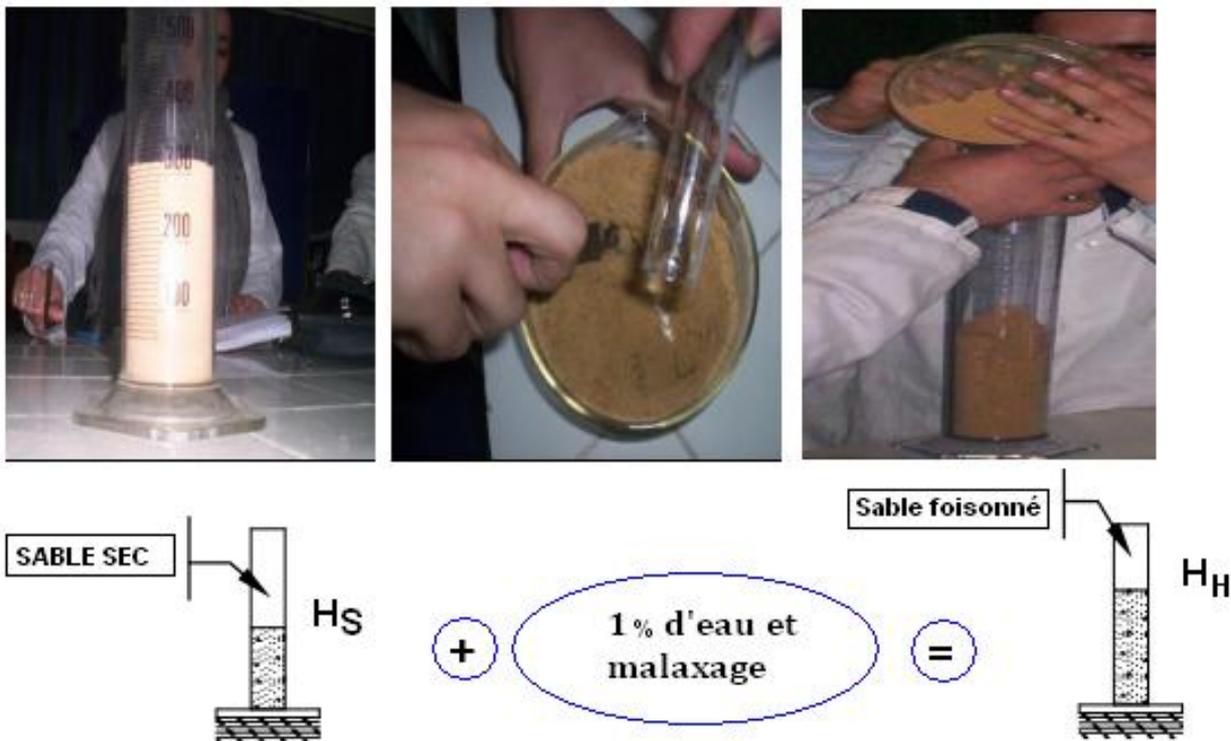


Figure 11. Essai de foisonnement du sable

I.5. Représentation des résultats

M_s : Masse du sable sec.

$M_s = 500g$

H_s : hauteur du sable à l'état sec.

$H_s = \dots\dots\dots$

H_H : hauteur du sable à l'état humide

-Les résultats de l'essai peuvent être récapitulés dans le tableau ci- dessous.

$I (%)$	1	3	5	7	10	12
H_H						
$C_f = H_H / H_s$						
$V (%) = [(H_H - H_s) / H_s] * 100$						

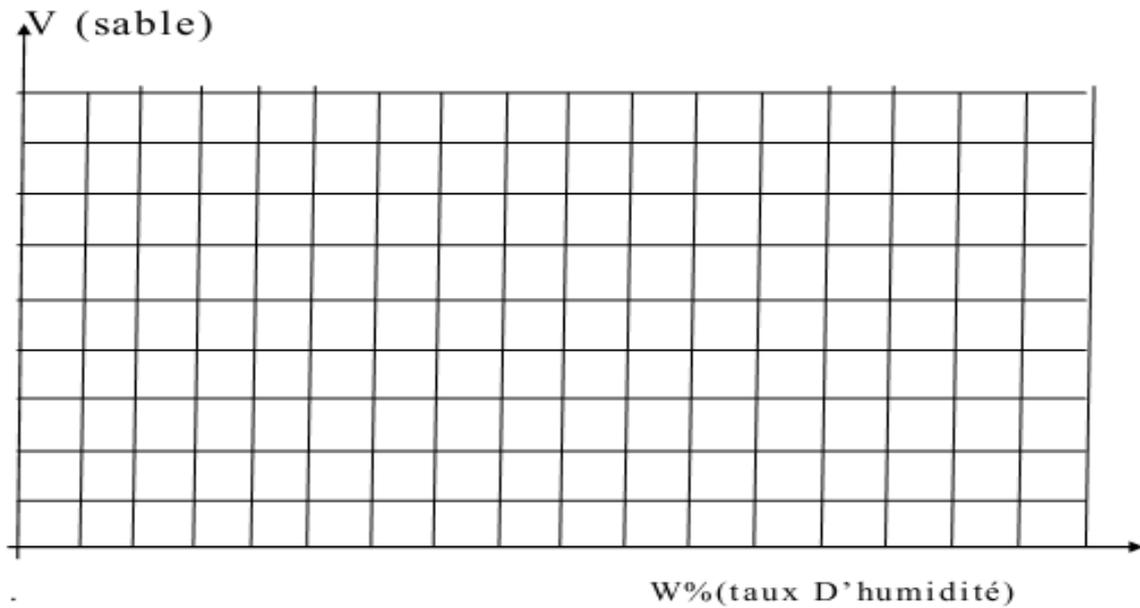


Figure 12. Courbe de variation du coefficient de foisonnement en fonction du % d'humidité du sable.

I.6 Résultats de calcul

Les résultats de calcul du coefficient de foisonnement et le coefficient de variation de ce coefficient en fonction du taux d'humidité ont été représentés sur le tableau 7 suivant :

Tableau 7. Résultats de calcul du coefficient de foisonnement et le coefficient de variation en fonction du taux d'humidité

$I (%)$	1	3	5	7	9	11
H_H	420	445	458	452	432	412
$C_f = H_H / H_s$	1,27	1,35	1,39	1,37	1,31	1,25
$V (%) = [(H_H - H_s) / H_s] * 100$	27	35	39	37	31	25

Les résultats de mesures ont été schématisés sur la figure 11 ci-contre.

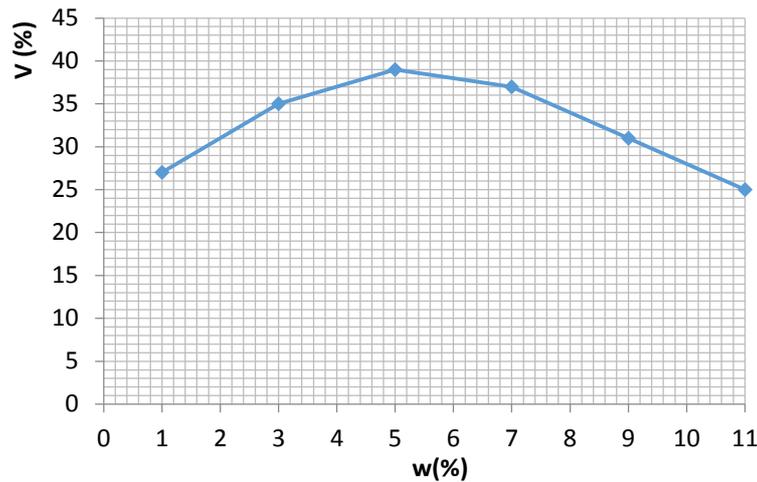


Figure 13. Représentation de courbe de variation du coefficient de foisonnement en fonction du taux d'humidité du sable.

D'après le graphe, on peut constater que le coefficient de foisonnement du sable varie en fonction du taux d'humidité. On peut constater encore sur le graphe que ce coefficient présente son maximum entre 3 % et 7 % d'humidité.

II : Teneur en eau

II.1. Introduction

Les granulats utilisés pour la confection du béton contiennent généralement une certaine quantité d'eau. Ainsi, l'eau de gâchage réellement utilisée est par conséquent égale à la quantité d'eau calculée théoriquement moins l'eau contenue dans les granulats. Il faut donc déterminer cette quantité d'eau dans les granulats.

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.

$$W (\%) = \frac{E}{P_S} = \frac{P_h - P_S}{P_S} * 100$$

E : poids de l'eau dans le matériau ;

P_h : Poids du matériau humide ;

Ps : Poids du matériau sec.

II.2. Principe

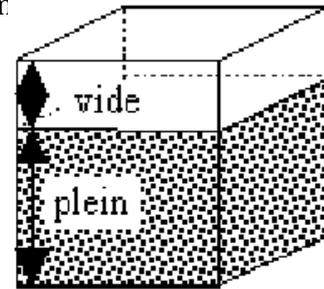
- Placer une quantité déterminée du matériau humide à tester dans une boîte,
- Peser l'ensemble et l'introduire dans une étuve pendant 24 heures sous une température de 105°C,
- Après dessiccation, on pèse l'ensemble une seconde fois,
- déduire la masse humide et sèche de l'échantillon, et calculer la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

TP N°4 : Porosité des granulats (NF EN 1097-3)

1. Introduction

La porosité est l'ensemble des vides (pores) dans un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz). Le calcul de la porosité est exprimé généralement par le rapport du volume des vides au volume total :

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



2. Principe de l'essai

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.

3. Mode opératoire

- Préparer un échantillon sec de 1 Kg, soit M0,
- Placer l'échantillon dans l'eau froide et porter à ébullition pendant 2 heures, 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,

4. Matériau d'analyse

Sables et graviers

Le calcul de la porosité est donnée par :

$$P (\%) = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

Avec : $V = \frac{M_0}{\rho_{abs}}$; ρ_{abs} est la masse volumique absolue de l'échantillon analysé

On aura donc : $P (\%) = \left(\frac{M_1 - M_0}{M_0} * \rho_{abs} \right) * 100$

Comme on peut déterminer la porosité à partir des mesures effectuées par l'essai de la masse volumique absolue et apparente.

$$P (\%) = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) * 100$$

5. Présentation des résultats : utilisez le tableau ci-dessous pour les résultats d'essai

<i>Matériaux</i>	<i>Essai N°1</i>	<i>Essai N°2</i>	<i>Essai N°3</i>	<i>Moyenne</i>
<i>Sable</i>				
<i>Gravier</i>				

TPN°5 : Coefficient volumétrique et la forme du gravier

I. Coefficient volumétrique

I.1. Définition

Le coefficient volumétrique est une grandeur numérique, qui permet de caractériser un grain ou granulat, et dont la valeur donne une idée précise sur la forme de l'élément considéré et sa possibilité d'emploi.

Le coefficient volumétrique du granulat (coefficient de forme) est le rapport du volume v du grain au volume V de la sphère circonscrite au grain de diamètre d ($V = \pi \cdot d^3 / 6$).

Avec d est la plus grande distance séparant deux plans tangents au grain.

$$C_v = \frac{\sum v}{\sum V}$$

$$\text{Et } \sum v = (v_1 - v_2)$$

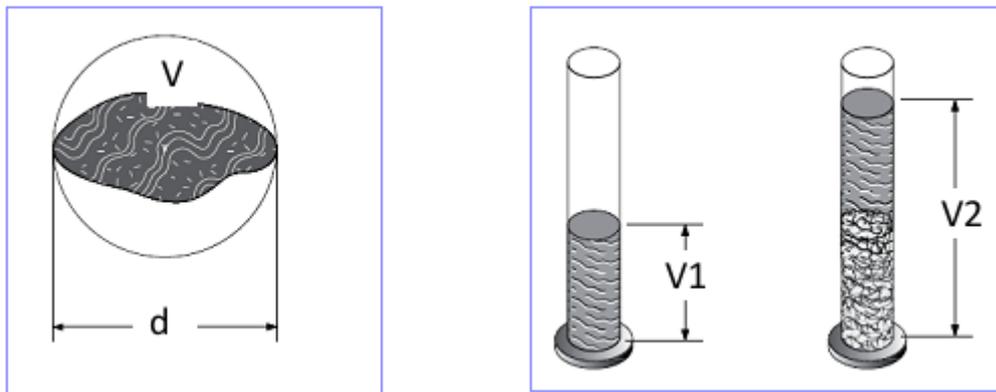


Figure 14. Détermination du volume du grain et le volume de la sphère circonscrite

Sachant que ce coefficient est compris entre [0 et 1]

I.2. Mode opératoire

- 1- tamiser environ 250 g d'échantillon sec sur un tamis de 5 mm, et ne garder que le refus
- 2- rechercher le volume des sphères de chaque grain et calculer ($\sum V$)
- 3- remplir d'eau une éprouvette graduée d'un volume v_1 et y mettre tous l'échantillon

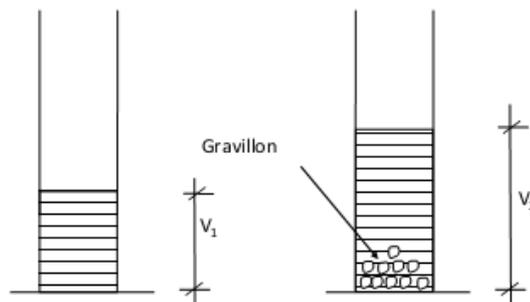
préparé (tous les grains) dans l'éprouvette graduée.

4- lire le nouveau volume v_2 , et calculer $\sum v = (v_2 - v_1)$

N.B : Le coefficient volumétrique moyen d'un granulat est d'autant plus élevé que ce granulat comporte une grande proportion de grains de forme massive. Il est d'autant plus faible que ce granulat comporte une grande proportion de plaquettes et d'aiguillettes.

I.3. Exemple de calcul : le calcul du coefficient volumétrique d'un granulat a donné les résultats suivants :

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volume de la sphère (cm ³)	1	2	3	5	10	15	20	30	40	50



$$v_1 = 503 \text{ cm}^3 ; v_2 = 532 \text{ cm}^3 ; \sum V = 176 \text{ cm}^3$$

$$C_v = \frac{532-503}{176} = 0,16$$

Il s'agit d'un granulat de forme allongée

La forme d'un granulat est définie généralement par trois grandeurs géométriques selon la norme (NF P 18-561) qui sont :

- La longueur L : distance maximale entre deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.

- L'épaisseur E : distance minimale entre deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.
- La grosseur G : dimension minimale de la maille carrée du tamis qui laisse passer le granulat.

II. Coefficient d'aplatissement des granulats (P 18-561)

II.1. But de l'essai

Le coefficient d'aplatissement des granulats permet de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats dont la dimension est comprise entre 4 et 80 mm et de suivre la régularité des fournitures des gravillons.

II.2. Conduite de l'essai

L'essai consiste à effectuer un double tamisage d'abord sur tamis à mailles carrées (4-5-6.3-8-10-12.5-16-20-25-31.5 – 40 -50 – 63 -80) puis passé sur des grilles à fentes parallèles d'une largeur d'écartement égale à D/2 (4/5:2.5, 5/6.3:3.15, 6.3/8: 4, 8/10:5, 10/12.5: 6.3, 12.5/16:8, 16/20:10, 20/25:12.5, 25/31.5:16.31, 5/40: 20, 40/50:25, 50/63: 31.5, 63/80:40).

Le coefficient d'aplatissement des gravillons **A** d'une classe granulaire correspond au pourcentage pondéral des éléments plats passant à travers la grille à fentes correspondante :

$$A = (M_2 / M_1) * 100 \quad \text{Avec :}$$

M_1 : est la masse de chaque granulat élémentaire (d_i / D_i) (en grammes),

M_2 : est la masse de passants sur la grille à fentes correspondante d'écartement ($D_i/2$) (en grammes).



Figure 15. Tamis sur grilles à fente

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles à fente		
Classes granulaires d/D (mm)	R _i (g)	Ecartement des fentes de la grille (mm)	Passant m _i (g)	A _i = (m _i /R _i)*100
.....
.....
.....
$M_1 = \sum R_i$ (g)		$M_2 = \sum m_i$ (g)		$A = (M_2 / M_1) * 100$

II.3. Présentation des résultats de calcul

Les résultats de calcul du coefficient d'aplatissement des différents graviers sont présentés dans les tableaux 8, 9 et 10.

Tableau 8. Détermination du coefficient d'aplatissement pour le gravier (3/8)

Tamisage sur tamis		Tamisage sut grille		
Classes granulaires d/D (mm)	M _{gi} (grs)	Ecartement des grilles (mm)	Passant M _{ei} (grs)	$A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} 100$
8/10	-	-	-	-
6,3/8	882	4	139	15,76
5/6,3	537	3,15	55	10,24
4/5	800	2,5	84	10,50
$M = \sum M_{gi} = 2219 \text{ grs}$		$\sum M_{ei} = 278 \text{ grs}$		
$A = \frac{\sum M_{ei}}{M} 100 = 13$				

Tableau 9. Détermination du coefficient d'aplatissement pour le gravier (8/15)

Tamisage sur tamis		Tamisage sut grille		
Classes granulaires d/D (mm)	M _{gi} (grs)	Ecartement des grilles (mm)	Passant M _{ei} (grs)	$A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} 100$
16/20	169	10	21	12,42
12,5/16	1048	08	148	14,12
10/12,5	1242	6,3	195	15,70
8/10	835	5	153	18,32
6,3/8	590	4	127	21,52
5/6,3	-	3,15	-	-
4/5	-	2,5	-	-
$M = \sum M_{gi} = 3884 \text{ grs}$		$\sum M_{ei} = 644 \text{ grs}$		
$A = \frac{\sum M_{ei}}{M} 100 = 17$				

Tableau 10. Détermination du coefficient d'aplatissement pour le gravier (15/25)

Tamisage sur tamis		Tamisage sut grille		
Classes granulaires d/D (mm)	M _{gi} (grs)	Ecartement des grilles (mm)	Passant M _{ei} (grs)	$A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} \cdot 100$
20/25	1480	12,5	131	8,85
16/20	2636	10	107	4,06
12,5/16	694	08	57	8,21
10/12,5	-	6,3	-	-
$M = \sum M_{gi} = 4810 \text{ grs}$		$\sum M_{ei} = 295 \text{ grs}$		
$A = \frac{\sum M_{ei}}{M} \cdot 100 = 6$				

D'après les résultats de calcul, on peut constater que le coefficient d'aplatissement $A \leq 30\%$ pour tous les graviers testés et selon la norme (NF 18-561), nous pouvons conclure que ces graviers peuvent être utilisé pour la confection du béton hydraulique.

TPN°6 : Essai d'équivalent de sable (NF P 18-597 et NF P 18-598)

1. Introduction

Le sable est un grain minéral dont le diamètre est inférieur à 5 mm. Il est utilisé dans le béton afin de combler les vides entre les grains de gravier.

Le sable se compose à l'état naturel, de grains de diamètre inférieur à 5 mm. Mais il se compose de grains minéraux comme de grains inorganiques (argile). Ces grains inorganiques ont un diamètre inférieur à 0,08 mm. Donc le mot sable désigne deux choses :

Le sable brut composé uniquement de grains minéraux, et le sable à l'état naturel est composé d'un mélange de sable brut et d'argile.

2. Conséquences de la présence d'argile dans le sable

La présence d'argile dans le sable produit des effets sur le béton au-delà d'une certaine quantité, l'argile absorbe une partie de l'eau du béton pour former une boue.

Cette boue empêche l'adhérence du ciment avec granulat. Le béton une fois sec s'effrite et manque de résistance.

L'argile en trop forte quantité, provoque un phénomène de retrait important par l'évaporation de l'eau.

En faible proportion, l'argile permet de faciliter la mise en œuvre du béton sans en altérer la résistance. Donc pour éviter ce phénomène, il faut vérifier que le sable naturel ne contient pas une quantité d'argile nuisible au béton (puisque l'argile dans ce cas est une impureté dans le sable).

3. Le but de l'essai

Le but de l'essai est de permettre d'observer et de mesurer la proportion d'éléments argileux dans le sable.

4. Matériel nécessaire

-Un tamis de 5 mm d'ouverture avec fond

- Une balance de bonne précision
- Un chronomètre
- Bacs pour tamisage
- Réglet de 500 mm, gradué en millimètres
- Éprouvettes cylindriques en plexi glace et transparentes de diamètre intérieur de 32 mm \pm 0,5 mm et d'une hauteur de 430 mm \pm 1 mm.

Chaque éprouvette porte des traits de repères gravés à : 100 mm \pm 0,25 mm et 380 mm \pm 0,25 mm de la base.

L'éprouvette est fermée par un bouchon de caoutchouc ; l'équipement comprend deux éprouvettes et deux bouchons.

- Un piston taré, constitué par :

- une tige de 440 mm \pm 0,25 mm de longueur ;

- une embase de 25 mm \pm 0,1 mm de diamètre, dont la surface inférieure est plate, lisse et perpendiculaire à l'axe de la tige et qui comporte latéralement trois vis de centrage du piston dans l'éprouvette, avec un léger jeu. Ses parties plongeantes sont en métal inoxydable (laiton ou acier inoxydable) ;

- Un manchon de 10 mm \pm 0,1 mm d'épaisseur, qui s'adapte sur l'éprouvette cylindrique et permet de guider la tige du piston, en même temps qu'il sert à repérer l'enfoncement du piston dans l'éprouvette. Ce manchon comporte une vis qui permet de le bloquer sur la tige du piston, ainsi qu'une encoche pour le passage du réglet ;

- Un poids fixé à l'extrémité supérieure de la tige pour donner à l'ensemble du piston taré, hormis le manchon, une masse totale de 1 kg \pm 5 g ;

- Un tube laveur, constitué par un tube rigide (acier inoxydable ou cuivre écroui) de diamètre extérieur de 6 mm \pm 0,5 mm et de diamètre intérieur de 4 mm \pm 0,2 mm.

Ce tube laveur est muni à la partie supérieure d'un robinet, à la partie inférieure d'un embout fileté en métal inoxydable formant dièdre, chaque face du dièdre étant percée d'un trou de $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$;

- Un flacon, transparent en verre ou en matière plastique, d'environ 5 L, muni d'un système de siphon, dont le fond est placé à 1 m au-dessus de la table de travail ;
- Un tube de caoutchouc, ou de plastique, de 1,50 m de longueur environ et de 5 mm de diamètre intérieur environ reliant le tube laveur au siphon ;
- Un entonnoir à large ouverture pour transvaser l'échantillon dans l'éprouvette cylindrique.

5. Produits utilisés

-Une solution concentrée est préparée à partir de :

- de chlorure de calcium cristallisé, qualité produit pur
- de glycérine à 99 % de glycérol, qualité pharmaceutique
- d'eau distillée ou déminéralisée.

-Une solution lavante est préparée, en prenant $125 \text{ ml} \pm 1 \text{ ml}$ de la solution concentrée et en diluant à $5 \text{ l} \pm 0,005 \text{ l}$ avec de l'eau distillée.

6. Préparation de l'échantillon

L'essai s'effectue sur un échantillon de sable humide afin d'éviter les pertes de fines et la ségrégation. Il faut vérifier que les grains de sable ont un diamètre inférieur à 5 mm et que la masse sèche de l'échantillon soit égale à 120 g.

7. Conduite de l'essai

-L'échantillon ensuite versé soigneusement à l'aide de l'entonnoir dans une éprouvette normalisée posée verticalement préalablement remplie de la solution lavante jusqu'au trait repère inférieur.

-L'ensemble est agité à la main pour humidifier le sable et déloger les bulles d'air.

-Laisser reposer dix minutes



Figure 16. Agitateur électrique

- 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 \pm 1 cycle en 30 s \pm 1 s.
- Remettre l'éprouvette en position verticale sur la table d'essai, puis procéder au lavage du sable
- Oter le bouchon de caoutchouc et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la 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.
- Laver le sable pour 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 de façon à ce que le niveau du liquide se maintienne à hauteur du trait repère.
- Arrêter l'écoulement dès la sortie du tube laveur.
- Laisser reposer 20 minutes (temps que tout le floculat argileux se dépose sur le sable brut).



Figure 17 : Lavage du sable à l'aide d'une solution lavante

Maintenant la limite entre le sable brut et l'argile est visible, il est donc possible de mesurer à l'œil et au régle, la hauteur totale du sable et la hauteur de sable brut pour en déterminer la proportion de l'équivalent de sable visuel.

Il est aussi possible de prendre cette mesure à l'aide d'un piston normalisé qui traverse la couche d'argile pour se poser sur le sable brut. La hauteur totale du sable se mesure comme le cas précédent (cas visuel), la longueur de la tige du piston correspond à la hauteur de l'éprouvette. La mesure de la longueur de la tige qui n'a pas pénétrée dans l'éprouvette correspond alors à la hauteur du sable brut.

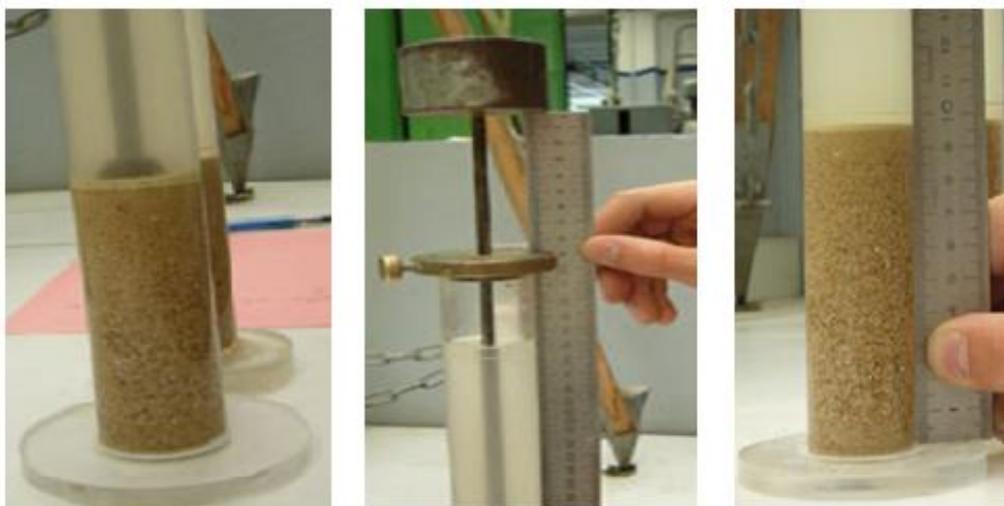


Figure 18 : Mesure de la hauteur du sable brut visuel et par piston

8. Expression des résultats

L'équivalent de sable par piston est donné par la formule : $ESP = 100 * \frac{H2}{H1}$

L'équivalent de sable visuel est donné par la formule : $ESV = 100 * \frac{H'2}{H1}$

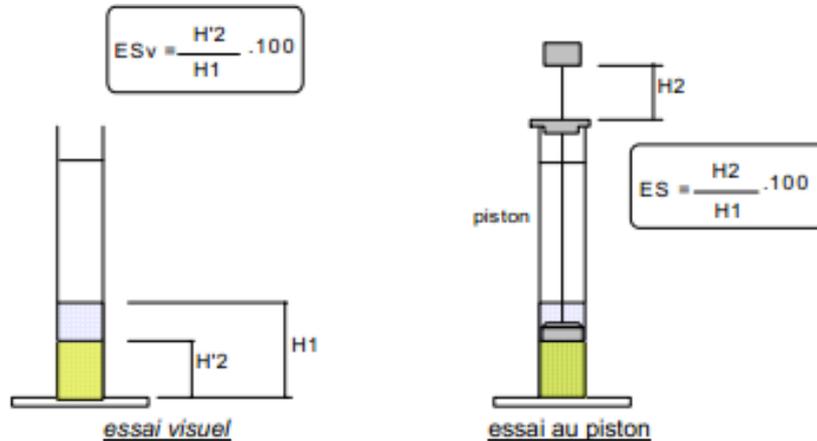


Figure 19. Lecture des différentes hauteurs du sable sur éprouvettes à la fin de l'essai

Discussion rapide des valeurs de l'équivalent de sable

ESV	ESP	Nature et qualité
$ESV < 65$	$ESP < 60$	Sable argileux risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq ESV < 75$	$60 \leq ESP < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq ESV < 85$	$70 \leq ESP < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de qualité.
$ESV \geq 85$	$ESP \geq 80$	Sable très propre : l'absence de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité de béton.

9. Présentation des résultats de mesure

Tableau 11. Résultats de l'équivalent de sable visuel et par piston (sable Ain Roua).

N° d'éprouvette	Hauteur h1 (cm)	Hauteur h2 (cm)	Hauteur h'2 (cm)	ESV %	ESP %	ESV moyen	ESP moyen
Eprouvette1	10,00	8,00	7,40	80	74	80 %	74 %
Eprouvette2	09,90	7,90	7,40	80	75		
Eprouvette3	10,20	8,20	8,60	80	74		

D'après les résultats de calcul : $70 \% \leq ESP \leq 80 \%$ selon la norme (NF P 18-597) le sable utilisé est propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de qualité.

TP N°7 : Essai de consistance et de prise du ciment (EN 196-3)

I. Essai de consistance avec l'appareil de Vicat

I.1. Objectif de l'essai

L'objectif de cet essai est de mesurer l'enfoncement dans la pâte de ciment d'une sonde cylindrique sous l'effet d'une charge constante (tige + sonde + amovible) de 300 g.

La consistance évaluée de cette manière est appelée « consistance de Vicat ».

I.2. Mode opératoire

La quantité d'eau choisie est pesée de préférence directement sur la cuve du malaxeur. On peut commencer au départ avec un poids de $m_e = 25 \% m_c$.

Une quantité de 500 g de ciment est ajoutée à l'eau en 5 à 10 secondes.

Le reste des opérations de malaxage est récapitulé comme suit :

Opérations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment	Vitesse 1	Raclage de cuve	Vitesse 1
Durée des opérations	Le temps de peser la quantité d'eau	5 à 10 s	90 s	15 s	90 s
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Arrêt	Vitesse lente

Après ces opérations, la pâte est rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque en verre, sans tassement ni vibration excessifs.

Il suffit d'enlever l'excès de la pâte par un mouvement de va-et-vient grâce à une truelle maintenue perpendiculaire à la surface du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil Vicat. On amène la sonde à la surface de la pâte et on relâche sans élan. Quand la sonde s'immobilise, ou au plus tard 30 secondes après l'avoir relâchée, on mesure, on mesure la distance **d** entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule. Cette distance **d** caractérise la consistance.

Si : $d = 6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, on a « la consistance normalisée »

Si d n'atteint pas cette valeur il convient de refaire l'essai avec une valeur de m_e jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.

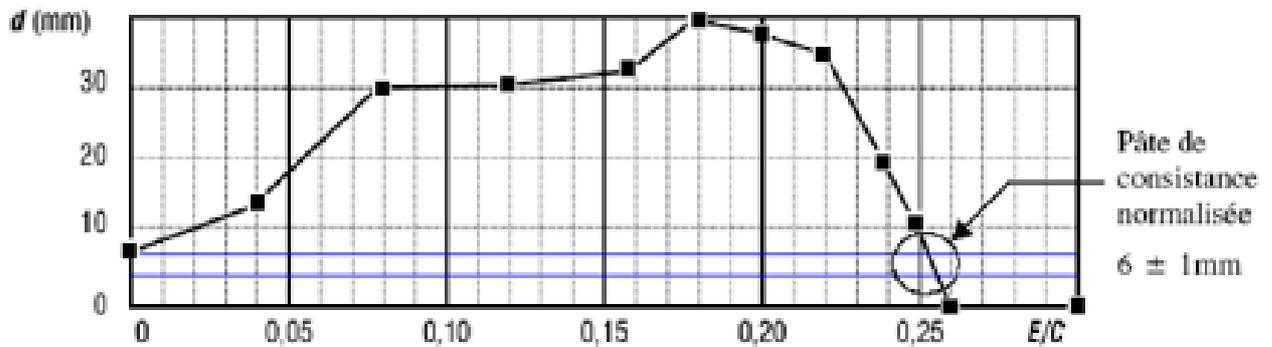


Figure 20. Evaluation d'une pâte de ciment en fonction du rapport E/C

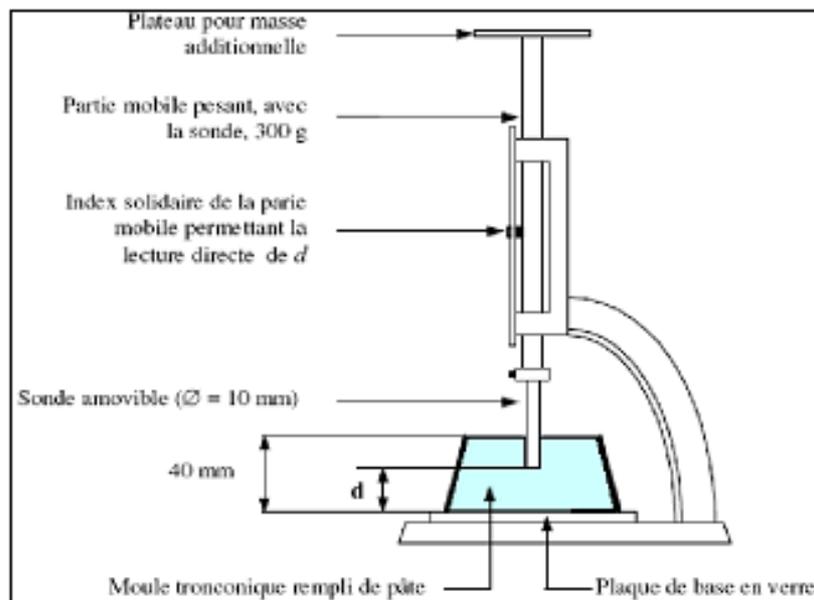


Figure 21. Appareil de Vicat muni de sa sonde de consistance

I.3. Résultats et interprétation

Pour chaque valeur du rapport E/C on détermine la consistance d de la pâte du ciment, puis on trace sur le graphe ci-dessous l'évolution de cette consistance d en fonction du rapport E/C, et à la fin on donne la conclusion concernant l'influence du rapport E/C sur la consistance du ciment.

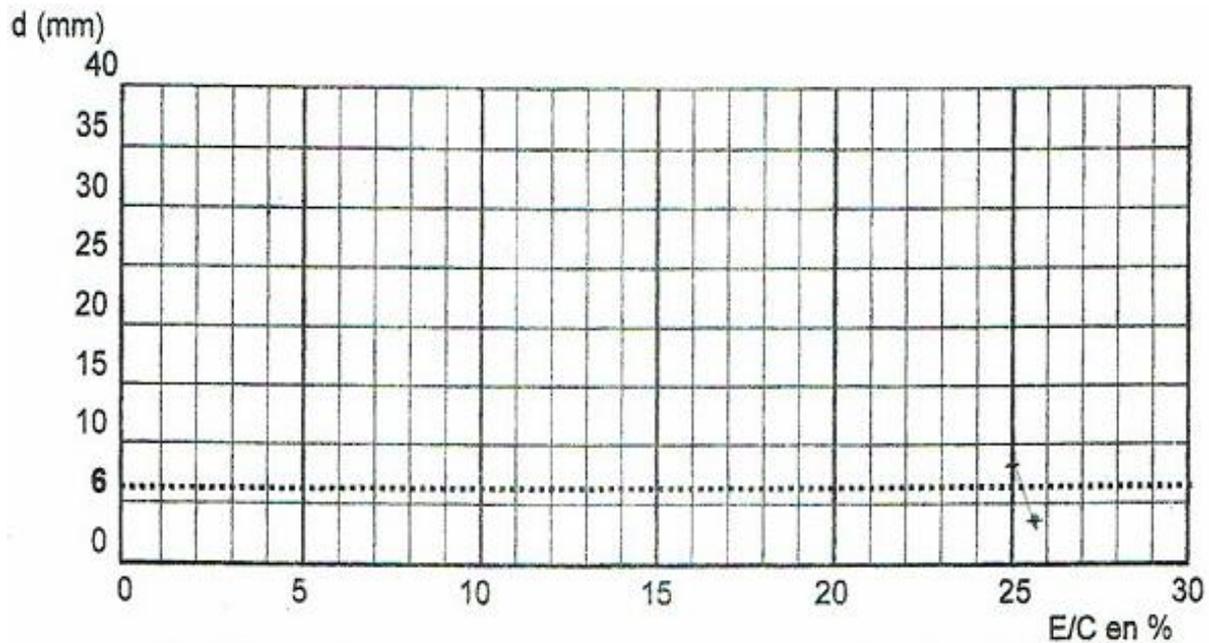


Figure 22. Le graphique de la consistance « d » en fonction du rapport E/C

II. Essai de prise de ciment

L'essai de prise consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée. L'appareil de Vicat est alors équipé d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre. Quand sous l'effet d'une charge constante (tige + aiguille amovible) 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, mesuré à partir du début de malaxage est appelé « temps de début de prise » ce temps est enregistré à 5 minutes près.

Le « temps de fin de prise » est celui au bout duquel l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm dans le moule tronconique retourné. On peut munir l'aiguille d'un accessoire annulaire pour faciliter l'observation précise des faibles pénétrations. Ce temps, enregistré à 15 minutes près, est celui au bout duquel l'accessoire annulaire cesse de laisser une trace sur l'éprouvette.

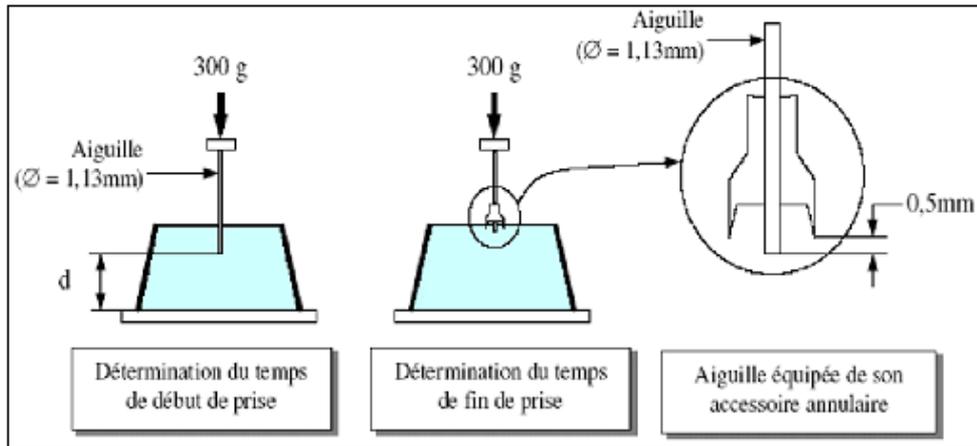


Figure 23. Appareil de Vicat muni d'une aiguille amovible

L'essai doit se dérouler dans une salle dont la température est de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ et dont l'humidité relative soit supérieure à 90 %.

Présentation des résultats de calcul

Au départ pour réaliser des essais de prise de la pâte de ciment, il faut faire un essai de consistance de la pâte, une fois on a la consistance normalisée, on procède à l'essai de prise.

Confectionner une gâchée de pâte de consistance normalisée

Soit 400 grammes de ciment (le ciment utilisé CPJ CMII 42,5) Ain El Kebira (Sétif) et soit 25 à 35 % d'eau.

Soit : $t_0 = 12\text{ h } 10\text{ mn}$ (le temps du début de malaxage)

Les résultats obtenus sont donnés sur le tableau 12 suivant :

Tableau 12. Le temps de début et de fin de prise de ciment (CPJ CMII 42,5)

Temps de début de prise	$t_1 - t_0 = 14\text{ h } 35 - 12\text{ h } 10 = 2\text{ h } 25\text{ mn}$
Temps de fin de prise	$t_2 - t_0 = 16\text{ h } 45 - 12\text{ h } 10 = 4\text{ h } 35\text{ mn}$

D'après les résultats, le ciment utilisé est à prise lente

Références bibliographiques

Toufik BOUBEKEUR, « Matériaux de construction 01 », Institut des Sciences et Technologies, Centre Universitaire de Tissemsilt, Algérie, Mai 2017.

R. LANCHON. Cours de laboratoire 2. "GRANULATS BTEONS SOLS". 1988.

M. GHOMARI F & Mme BENDI-OUIS A, « Science des matériaux de construction, Travaux pratique », Université ABOUBEKR BELKAID, Algérie, année 2007-2008.

F. GHOMARI et A. BEZZAR, « Cours Matériaux de Construction : Les granulats », Université de Tlemcen, Algérie.

M. MAZA, « Fascicule de travaux pratique matériaux de construction », Université Mohamed Bou DIAF M'SILA, Algérie, année 2016/2017.

Normalisation

NF EN 196-3, "Méthodes d'essais – partie 3 : détermination du temps de prise et de stabilité", 1996, 13 p.

NF EN 1097-6 (2001), Essais pour granulats, détermination de la masse volumique AFNOR, 2001.

NF EN 1097-5, Essais pour granulats, détermination de la teneur en eau et foisonnement du sable, Octobre 2008.

NF EN 933-1, Essais pour granulats, Analyse granulométrique

NF EN 1097-3, Essais pour granulats, détermination de la porosité des granulats

P 18-561, Granulats- Mesure du coefficient d'aplatissement, Septembre 1990.

P 18-598, Granulats-Equivalent de sable, Octobre 1991.