
Chapitre II Méthodes d'essais et matériaux utilisés

Introduction :

Dans toute étude sur les bétons ou autres matériaux, la présentation et la caractérisation des différents matériaux et matériels utilisés est une tâche indispensable pour que le travail soit valable, strict et dans les normes.

Dans ce chapitre nous avons défini l'importance des essais appliqués sur le sable, le ciment, et le mortier dans toutes les étapes sur les propriétés mécaniques et sur la durabilité des mortiers confectionnés à base de ciment portland composé (C.P.J CEMII/B 42,5N).

II.1 Présentation de l'échantillon :

Nous avons utilisé pour la confection du mortier des matériaux locaux dont les caractéristiques sont déterminées expérimentalement au laboratoire de génie civil de l'université de M'Sila.

Les matériaux utilisés :

- ❖ Le ciment portland composé (C.P.J CEMII/B 42,5N).
- ❖ Le sable de dune lave et non lave.
- ❖ Le sable concassé lave et non lave.
- ❖ L'eau du laboratoire.

II.2 Caractéristiques des matériaux :

La caractérisation des matériaux de construction nécessite la connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'interprétation des résultats ne pourraient être possible que si les différents constituants sont bien caractérisés.

II.2.1 Le sable :

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs.

II.2.2 Analyse granulométrique:

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

a-But de l'essai :

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.

L'analyse granulométrique a trois buts :

- ☐ Déterminer les dimensions des grains.
- ☐ Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral).
- ☐ En déduire le Module de finesse (M_f).

b-Principe de l'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 de tamis.

c- Matériel nécessaire :

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis **Figure (II.1)**. La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.



Fig(II.1):*tamiseur électrique.*

d-Mode opératoire :

- Prélever (**1,5 kg**) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à **1 g** près, soit m_i la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : **5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125** et éventuellement **0,08mm**. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant **5 minutes**. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- Peser chaque tamis séparément à **1 g** près. Soit M_i la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R_1 , soit R_2 la masse du refus cumuler du tamis 2 ($R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis 2}$).
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_3, R_4, \dots

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante :

$$T = 100 - R_c \dots \dots \dots (1)$$

Où :

- T: Tamisât en %
- R_c : Refus cumulés en %

Tamis (mm)	Le sable	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
			(g)	(%)	
5	l	0	0	0	100
	nl	0	0	0	100
2.5	l	36	36	2.40	97.60
	nl	40.9	40.90	2.73	97.27
1.25	l	79	115	7.67	92.33
	nl	75.7	116.60	7.77	92.23
0.63	l	62	177	11.80	88.20
	nl	61.6	177.70	11.85	88.15
0.315	l	309	486	32.40	67.60
	nl	385.6	563.30	37.55	62.45
0.125	l	783	1269	84.60	15.40
	nl	882.1	1445.40	96.36	3.64
0.08	l	220	1489	99.27	0.73
	nl	47.1	1492.50	99.50	0.50
fond	l	5	1494	99.6	0.4
	nl	4.2	1496.7	99.78	0.22

Tableau(II.1) : Analyse granulométrique du sable de dune lavé et non lavé.

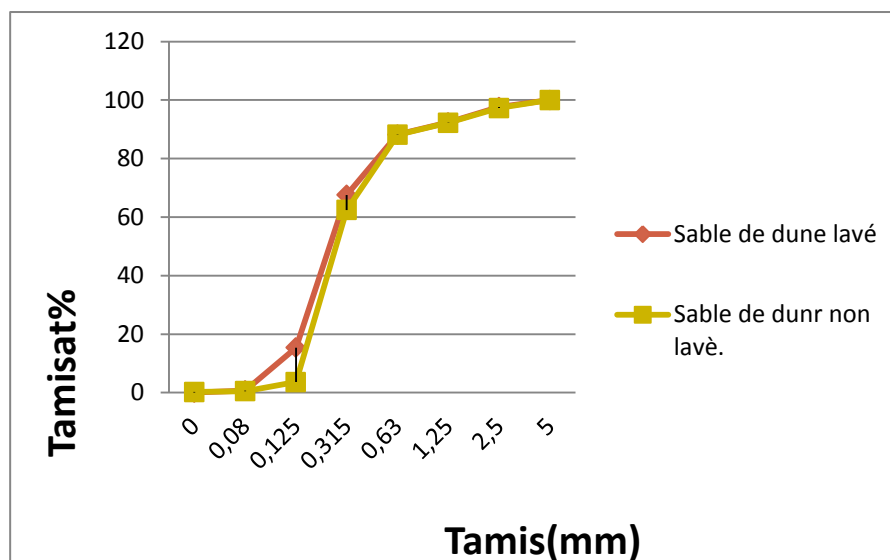
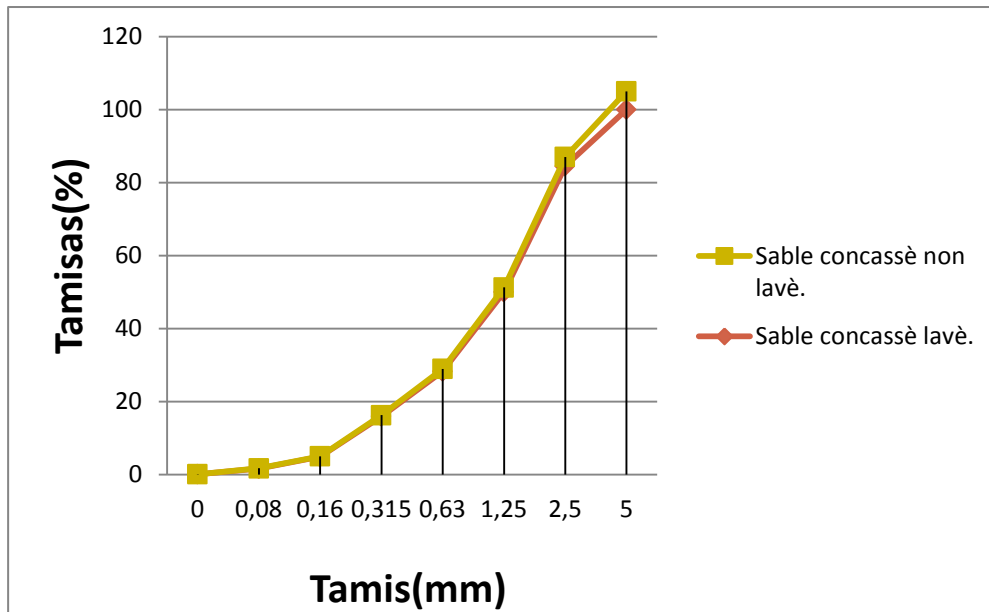


Fig.(II.2) : Courbes analyse de granulométriques du sable de dune.

Tamis (mm)	Le sable	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
			(g)	(%)	
5	l	1.2	0	0	100
	nl	0	0	0	100
2.5	l	231.9	231.90	15.46	84.54
	nl	169	169	11.27	88.73
1.25	l	517.3	749.2	49.95	50.05
	nl	562	731	48.79	51.27
0.63	l	325.6	1074.80	71.65	28.35
	nl	352	1083	72.20	27.80
0.315	l	185.1	1259.90	83.99	16.01
	nl	199	1282	85.47	14.53
0.125	l	166.5	1426.40	95.09	4.91
	nl	170	1452	96.80	3.20
0.08	l	48.5	1474.90	98.33	1.67
	nl	34	1486	99.07	0.93
fond	l	21.8	1497.9	99.86	0.14
	nl	10	1496	99.7	0.3

Tableau(II.2) : Analyse granulométrique du sable concassé lavé et non lavé.



Fig(II.3) : *Courbes analyse de granulométriques du sable concassé.*

e. Module de finesse(M_f) :

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus exprimés en pourcentage pondéral sur les différents tamis de la série suivante :

(5) – (2.5) – (1.25) – (0.63) – (0.315) – (0.16), il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \Sigma RC / 100 \dots \dots \dots (2)$$

- Pour le sable de dune lavé : $M_f = 1.38$
- Pour le sable de dune non lavé : $M_f = 1.56$
- Pour le sable concassé lavé : $M_f = 3.16$
- Pour le sable concassé non lavé : $M_f = 3.14$

Quantité de sable	Modèle de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2.0
Très fin	1.0 à 1.5

Tableau(II.3) : *classement de sable.*

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant:

- Pour le sable de dune lavé : $1.5 < M_f < 2$: C'est un **Sable fin**.
- Pour le sable de dune non lavé : $1.5 < M_f < 2$: C'est un **Sable fin**.
- Pour le sable concassé lavé : $M_f > 2.5$: C'est un **Sable gros**.
- Pour le sable concassé non lavé : $M_f > 2.5$: C'est un **Sable gros**.

II.2.3 Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598):

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fin qui flocculent.

a-But de l'essai :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer 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 normalisé permet de détermination un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

b-Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier .Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'élément fins.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout .Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

$$E_{sv} = h_2 / h_1 \times 100 \dots \dots \dots (3).$$

$$E_s = h_2' / h_1 \times 100 \dots \dots \dots (4).$$

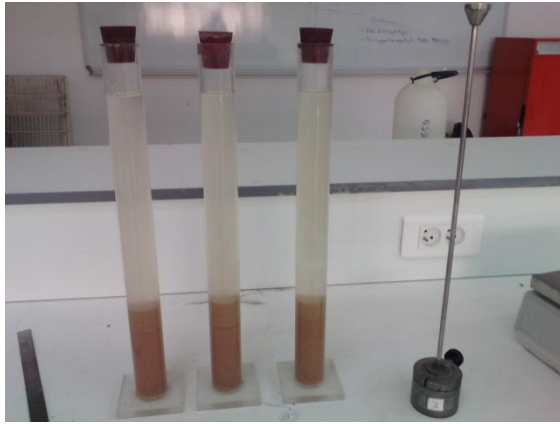
E_s : équivalent de sable mesuré au piston.

E_{sv} : équivalent de sable visuel mesuré visuellement.

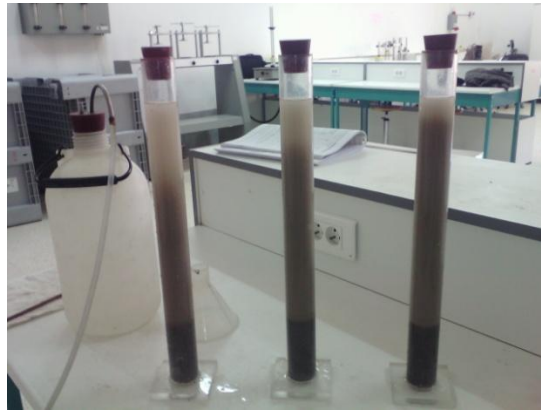
h₁ : Hauteur du sable propre et élément fins.

h₂ : Hauteur du sable propre seulement.

h₂' : Hauteur du sable propre seulement au piston.



Fig(II.4):Essai d'équivalent de sable
De dune.



Fig(II.5):Essai d'équivalent de sable
Concasse.

c- Mode opératoire :

- Remplir l'éprouvette d'une solution la vent jusqu'au premier repère (10 cm).
- A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable (120 g) dans l'éprouvette et tapes fortement à plusieurs reprise avec la paume de la main a fin de chasser toutes les bulles d'air pour favoriser le mouillage d'échantillon.
- Laisser reposé pendant 10 minutes.
- Boucher l'éprouvette à l'aide de bouchon en caoutchouc, et placée l'éprouvette horizontalement dans une machine à vibrer automatique. L'éprouvette est vibrée 90 fois en 30 secondes.
- Retirer le boucher de l'éprouvette, le rincer avec la solution lavent au-dessus de l'éprouvette et rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisons tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un léger piquage.
- Après 20 minutes, de dépôt du sable lire la hauteur H , du niveau supérieur du flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette, mesurer la hauteur h_1 , comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.



Fig(II.6): Agitateur de sable.

ESV à vue	ESP au piston	Nature et qualité du sable
$ES < 65\%$	$ES < 60\%$	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65\% \leq ES < 75\%$	$60\% \leq ES < 70\%$	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75\% \leq ES < 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
$ES \geq 85\%$	$ES \geq 85\%$	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Tableau (II.4): les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

En a répété l'essai 03 fois, les résultats sont regroupés dans le **tableau (II.4)**.

Hauteur (cm)	Le sable	h_1	h_2	ESV (%)	H'_2	ESP(%)
Echantillon (1)	l	10.8	9	83.33	8.5	78.70
	nl	11.6	8.8	75.86	8.4	73.68
Echantillon (2)	l	11.6	9.2	79.31	7.9	68.10
	nl	12.7	9.4	74.01	8	67.77
Echantillon (3)	l	11.5	9.3	80.86	8.2	71.30
	nl	12.35	9.43	75.7	8.2	69.92

Tableau(II.5): Résultats d'essais d'équivalent de sable de dune lavé et non lavé.

Sable de dune lavé.

➤ $(ESV)_{moy} = 75,19\%$

Donc: $75 < ESV < 85\%$.

➤ $(ESP)_{moy} = 70,45\%$

Donc: $70 < ESP < 80\%$.

Sable de dune non lavé.

$(ESV)_{moy} = 81.16\%$

Donc: $75 < ESV < 85\%$

$(ESP)_{moy} = 72.70\%$

Donc: $70 < ESP < 80\%$.

Pour le sable de dune lavé est non lavé : C'est un sable propre, à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour le béton de haute qualité.

Hauteur (cm)	Le sable	h_1	h_2	ESV (%)	H'_2	ESP(%)
Echantillon (1)	l	11.5	7.6	66.08	8	69.56
	nl	15.2	9.1	59.87	8.1	53.29
Echantillon (2)	l	11.4	7.2	63.15	8	70.17
	nl	14.4	9	62.5	7.9	54.86
Echantillon (3)	l	11.7	7.8	66.66	7.9	69.08
	nl	17.8	9	50.56	8	44.94

Tableau (II.6) : Résultats d'essais d'équivalent de sable concassée lavé et non lavé.

Sable concassée lavé.

➤ $(ESV)_{moy} = 65.29\%$

Donc: $65 < ESV < 70\%$.

➤ $(ESP)_{moy} = 70,13\%$

Donc: $70 < ESP < 80\%$.

Sable concassée non lavé.

$(ESV)_{moy} = 57.64\%$

Donc: $ESV < 65\%$

$(ESP)_{moy} = 51.03\%$

Donc: $ESP < 60\%$

Pour le sable lavé concassé : C'est un sable légèrement argileux convenant parfaitement pour le béton de qualité courante.

Pour le sable lavé non concassé: Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.

II.2.4 Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_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 les grains. Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui 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^3 , en kg/dm^3 , ou en g/cm^3 .

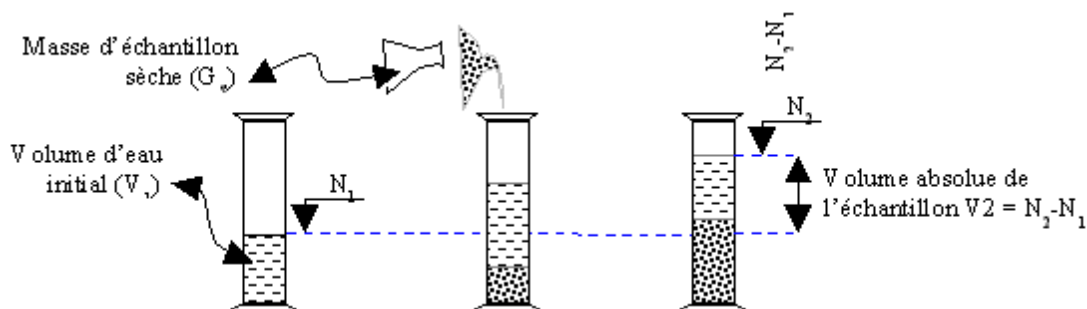
a-But de l'essai :

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

b-Mode d'opérateur :

- Mettre dans une éprouvette graduée un volume V_1 (150ml) d'eau.
- Pesés une masse M du sable (300g), et l'introduire dans l'éprouvette (bien éliminer les bulles d'air).
- Lire le nouveau volume V_2 .
- Le volume absolue est : $V_{abs}=V_2-V_1$ et la masse volumique absolue est :

$$\rho = M / V_{abs} \text{ g/cm}^3 \dots \dots \dots (5).$$



Fig(II.7): Essai de la masse volumique absolue.

a. Résultats obtenus : sable de dune lavé et non lavé

<i>N° d'essai</i>	Le sable	M (g)	V ₁ (cm ³)	V ₂ (cm ³)	V (g/cm ³)	ρ _{ab} (g/cm ³)
1	l	300	150	265	115	2.6
	nl	300	150	270	120	2.5
2	l	300	150	265	115	2.6
	nl	300	150	268	118	2.54
3	l	300	150	262	122	2.6
	nl	300	150	265	115	2.6

Tableau(II.7): Masse volumique absolue du sable de dune lavé et non lavé.

Sable de dune lavé : $\rho_{\text{moy}} \text{ (g/cm}^3\text{)}=2.62$

Sable de dune non lavé : $\rho_{\text{moy}} \text{ (g/cm}^3\text{)}=2.54$

b. Résultats obtenus : sable concassée lavé et non lavé.

<i>N° d'essai</i>	Le sable	M (g)	V ₁ (cm ³)	V ₂ (cm ³)	V (g/cm ³)	ρ _{ab} (g/cm ³)
1	l	300	150	268	118	2.54
	nl	300	150	268	118	2.54
2	l	300	150	265	115	2.6
	nl	300	150	267	117	2.56
3	l	300	150	265	115	2.6
	nl	300	150	260	110	2.72

Tableau(II.8) : Masse volumique absolue du sable concassée lavé et non lavé.

Sable concassée lavé : $\rho_{\text{moy}} \text{ (g/cm}^3\text{)}=2.58$

Sable concassée non lavé : $\rho_{\text{moy}} \text{ (g/cm}^3\text{)}=2.60$

II.2.5 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.

L'essai est répété 3 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.

a. Mode d'opérateur :

- Prendre l'échantillon (sable), dans les deux mains format entonnoir.
- Placer c'est deux mains à **10cm** environ au-dessus d'une mesure d'un litre soit $V_1=900\text{cm}^3$
- Laisser tomber ce sable, ni trop vite, ni trop lentement.
- Verser ainsi le corps, toujours au centre de la mesure, jusqu'à ce qu'il débord tout autour en formant un cône.
- Araser à la règle, et peser le contenu.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$M_{app} = (M_2 - M_1) / V_1 \dots \dots \dots (6)$$

M_1 : la masse de récipient vide.

M_2 : la masse de récipient + le sable.



Fig(II.8): Essai de la masse volumique apparente.

II.2.5.1 Masse volumique a l'état lâche :

On déterminé la masse volumique apparent du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2.5 l

On emplit l'entonnoir avec du sable sec

En pèse le récipient vide de capacité de 0.9 l, soit M_1 ce poids

En place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15cm, et on le remplit avec du sable.

On nivelle la surface du sable et on pèse le tout, soit M_2 ce poids.

a. Résultats obtenus : sable de dune lavé et non lavé.

N° d'essai	Le sable	M_1 (g)	M_2 (g)	$\rho_{app}(g/cm^3)$
1	l	115	1458	1.492
	nl	115	1382	1.407
2	l	115	1463	1.497
	nl	115	1389	1.415
3	l	115	1478	1.514
	nl	115	1390	1.416

Tableau(II.9): Masse volumique apparent du sable de dune lavé et non lavé a l'état lâche.

Sable de dune lavé : $\rho_{moy}(g/cm^3) = 1.50$

Sable de dune non lavé : $\rho_{moy}(g/cm^3) = 1.41$

B. Résultats obtenus : sable concassée lavé et non lavé.

N° d'essai	Le sable	M_1 (g)	M_2 (g)	$\rho_{app}(g/cm^3)$
1	l	115	1397.7	1.425
	nl	115	1351.2	1.373
2	l	115	1403.2	1.431
	nl	115	1363	1.386
3	l	115	1420	1.45
	nl	115	1370	1.394

Tableau(II.10): Masse volumique apparent du sable concassée lavé et non lavé a l'état lâche.

Sable concassée lavé : $\rho_{moy}(g/cm^3) = 1.43$

Sable concassée non lavé : $\rho_{moy}(g/cm^3) = 1.38$

II.2.5.2 Masse volumique à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains. Elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

a.Mode opératoire :

Même procédure que celle de l'état lâche. Après remplissage du récipient et le compactage par tassement à 30 secousses manuelle, jusqu'au remplissage du récipient après on nivelle ce dernier et on le pèse, soit M_2 la masse de l'ensemble (sable+récipient)

La masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivant :

$$\gamma_c = (M_2 - M_1) / V_r \dots \dots \dots (7).$$

M_1 : la masse de récipient vide.

M_2 : la masse de récipient plus le sable.

V_r : volume du récipient.

A. Résultats obtenus : sable de dune lavé et non lavé.

N° d'essai	Le sable	M_1 (g)	M_2 (g)	ρ_{app} (g/cm ³)
1	l	115	1624	1.676
	nl	115	1541	1.584
2	l	115	1626	1.678
	nl	115	1545	1.588
3	l	115	1638	1.692
	nl	115	1550	1.594

Tableau(II.11): Masse volumique apparent du sable de dune lavé et non lavé a l'état compact.

Sable de dune lavé : $\rho_{moy}(g/cm^3) = 1.68$

Sable de dune non lavé : $\rho_{moy}(g/cm^3) = 1.58$

b. Résultats obtenus : sable concassée lavé et non lavé.

N° d'essai	Le sable	M ₁ (g)	M ₂ (g)	$\rho_{app}(g/cm^3)$
1	l	115	1590.7	1.639
	nl	115	1516.8	1.557
2	l	115	1626.2	1.679
	nl	115	1556.7	1.601
3	l	115	1660	1.716
	nl	115	1567.2	1.613

Tableau(II.12): Masse volumique apparent du sable concassée lavé et non lavé a l'état compact.

Sable concassée lavé : $\rho_{moy}(g/cm^3) = 1.67$

Sable concassée non lavé : $\rho_{moy}(g/cm^3) = 1.60$

II.2.6 Porosité et compacité :**a. La porosité:**

La porosité est le rapport du volume vide sur le volume total.

$$P = \text{volume de vide} / \text{volume totale} \dots \dots \dots (8).$$

$$P (\%) = [1 - \rho_{app} / \rho_{abs}] * 100 \dots \dots \dots (9).$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de dune lavé:

- Etat lâche : $P_l = 42.74\%$.
- Etat compacte : $P_c = 35.87\%$.

Pour le sable concassée lavé:

- Etat lâche : $P_l = 42.24\%$.
- Etat compacte : $P_c = 35.27\%$.

Pour le sable de dune non lavé:

- Etat lâche : $P_l = 44.48\%$.
- Etat compacte : $P_c = 37.79\%$.

Pour le sable concassée non lavé:

- Etat lâche : $P_l = 46.92\%$.
- Etat compacte : $P_c = 38.84\%$.

b. compacité:

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_{app} / \rho_{abs}) = 100 - P$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de dune lavé:

- Etat lâche : = **57.26%**.
- Etat compacte : = **64.13%**.

Pour le sable de dune non lavé:

- Etat lâche : = **55.52%**.
- Etat compacte : = **62.21%**.

Pour le sable concassée lavé:

- Etat lâche : Pl = **57.76%**.
- Etat compacte : Pc = **64.73%**.

Pour le sable concassée non lavé:

- Etat lâche : Pl = **53.08%**.
- Etat compacte : Pc = **61.16%**.

II.3 préparation d'éprouvette:

Le travail consiste a prépare un mortier pour la fabrication des éprouvettes sont de forme cubique **Fig (II.9)**. (10 x 10 x 10) Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés jusqu'à la période de l'essai dans l'eau à une température de $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Les résistances mécaniques des mortiers ont été déterminées à l'âge de 28 jours.



Fig (II.9) : Moule d'éprouvettes cubique (10x10x10).

II.4 Conservation des éprouvettes :

Après le démoulage d'échantillons la moitié des cubes sont conservés dans l'eau et l'autre moitié est conservée à l'air libre.

Conclusion :

Dans ce chapitre, les différentes caractéristiques physiques et mécaniques des composants ont été établies, les courbes granulométriques des agrégats sont présentées. La méthode de formulation a été présentée, le calcul des proportions des constituants de notre programme expérimental a été effectué, ainsi que les essais sur bétons et le mortier.