

## ***Chapitre II : Matériaux, Matériels et essais préliminaires***

### **II.1. Introduction :**

Il est indispensable avant tout démarrage de travaux d'avoir une idée des caractéristiques du sol en présence et, ainsi, des problèmes qu'il risque de poser..

Avant de traiter un sol, il est indispensable de connaître les principes généraux régissant leur comportement.

Pour permettre la compréhension du processus de traitement, nous conseillons au lecteur n'ayant pas/peu de connaissance des différents types de sols, de leurs comportements et de leurs caractéristiques.

### **II.2- Matériaux :**

**II.2.1- Description des sols :** Deux composantes principales entrent dans la composition des sols d'essais :

Le sable et l'argile.

#### ***II-2-2- le sable:***

Le sable utilisé pour la reconstitution de notre sol est extrait d'oued **Maitre** de **Boussaâda** dans la wilaya de **M'sila**, très utilisé pour la confection du béton dans les chantiers. Après son passage à l'étuvage (105°C) pendant 24 heures on a procédé au tamisage (2mm) les refus sont rejetés, les particules inférieures à 2mm sont récupérées.

**II-2-3 .L'argile (rouge) :**

L'argile est extraite du gisement d'**Oualtem (Boussaâda)** dans la wilaya de **M'sila**. Pour la fabrication de la brique. Cette argile est de couleur rouge, Voie humide : tamisage (0.08mm) ; l'eau de lavage contenant les particules fines inférieures à 0.08 est recueillie dans des bacs propres.

Voie sèche ; la quantité broyée, séchée à l'étuve (60°C) pendant 24heurs ; puis, on la fait passer à travers le tamis 0.08mm, les particules passant récupérées et les retenus de nouveau séchées, broyées puis passées de nouveau au tamis 0.08mm ; ainsi de suite jusqu'à l'épuisement du stock.



**Fig. II.1.L'argile rouge.**

**II-2-4 Le sol reconstitué :**

Pour la reconstitution des sols affaissables on utilise deux matériaux principaux :

- Le sable ( $0.080 \text{ mm} < D < 2 \text{ mm}$ ).
- Argile ( $D < 0.080 \text{ mm}$ .)

Le sol reconstitué est obtenu en mélangeant les deux matériaux : sable (80%) et argile (20%).

**II.2.5- L'eau d'inondation :**

On a utilisé l'eau distiller commercial : C'est une eau non minéralisée, de conductivité

$6 \mu\text{S}/\text{cm}$  et de PH 6,38.

**II.2.6- Reconstitution des sols d'essais :**

On a reconstitué notre sol en poids comme suit : 80% de sable et 20% d'argile (rouge).

**II.3- Programme d'essais préliminaires :**

Du point de vue géotechnique, il est nécessaire de réaliser les essais préliminaires, qui sont d'une importance vitale.

En plus de la détermination de caractéristiques physiques des sols testés, ils permettent d'identifier les états des sols.

Les essais préliminaires du présent travail sont les suivants :

- L'analyse granulométrique.
- Équivalent de sable (ES).
- Les limites d'Atterberg.
- L'essai Proctor du sol reconstitué.
- L'essai au bleu de méthylène.
- Masse volumique absolue  $\gamma_s$ .

Le matériel utilisé dans cette section est l'appareillage d'usage courant du laboratoire, spécifique à chaque type de manipulation.

**II.3.1- L'analyse granulométrique :**

La granulométrie a pour objet la mesure de la taille des particules élémentaires qui constituent les ensembles de grains de substances diverses, telles que farines, poudres, sables, etc..... et la définition des fréquences statistiques des différentes tailles de grains dans l'ensemble étudié.



Fig. II.2.Série des tamis sur la tamiseuse.

❖ **Granulométries des sables :**

Séparation selon leur **gros**seur des éléments constituent un échantillon, en employant des tamis à maille carrée à fin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

➤ **Sable :**

Tamis (mm)	Poidsrefus (g)	Poidsrefuscumulés (g)	Refuscumulés en%	Tamisât en %
2	0	0	0	100
1.6	10.03	10.03	0.66	99.34
1	62.99	72.36	4.82	95.17
0.8	49.23	121.39	8.1	91.9
0.5	142.4	263.99	17.59	82.41
0.2	856.73	1120.72	74.71	25.29
0.16	231.6	1363.32	90.15	9.81
0.08	133.86	1488.18	99.81	0.79

Tableau II.1 Granulométrie par tamisa sable

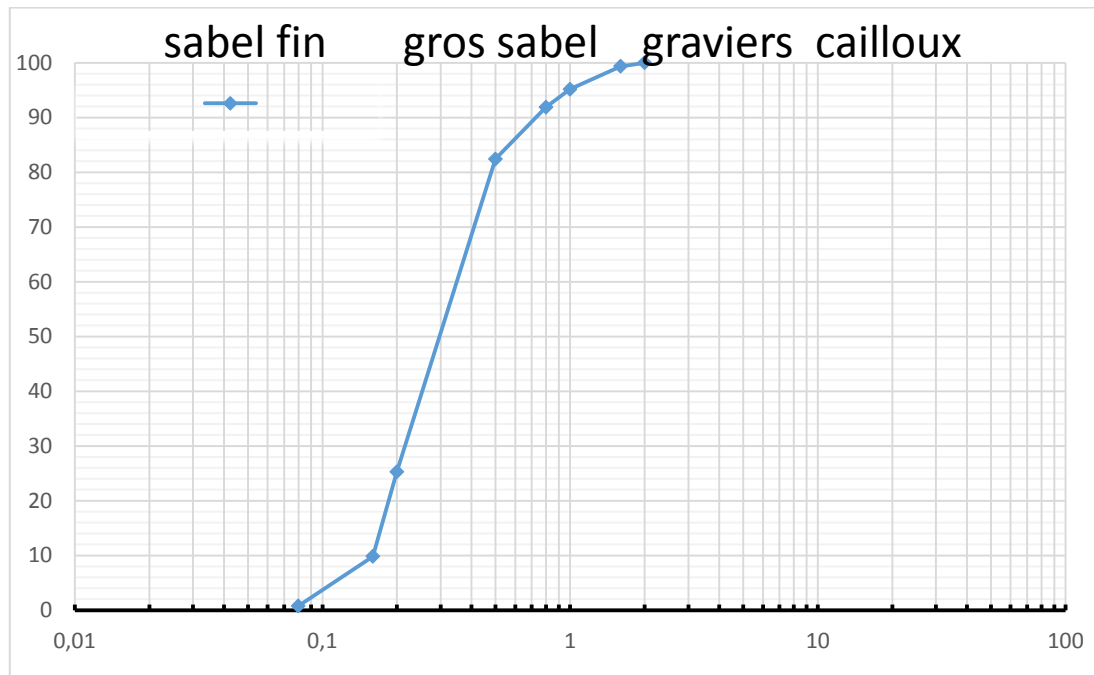


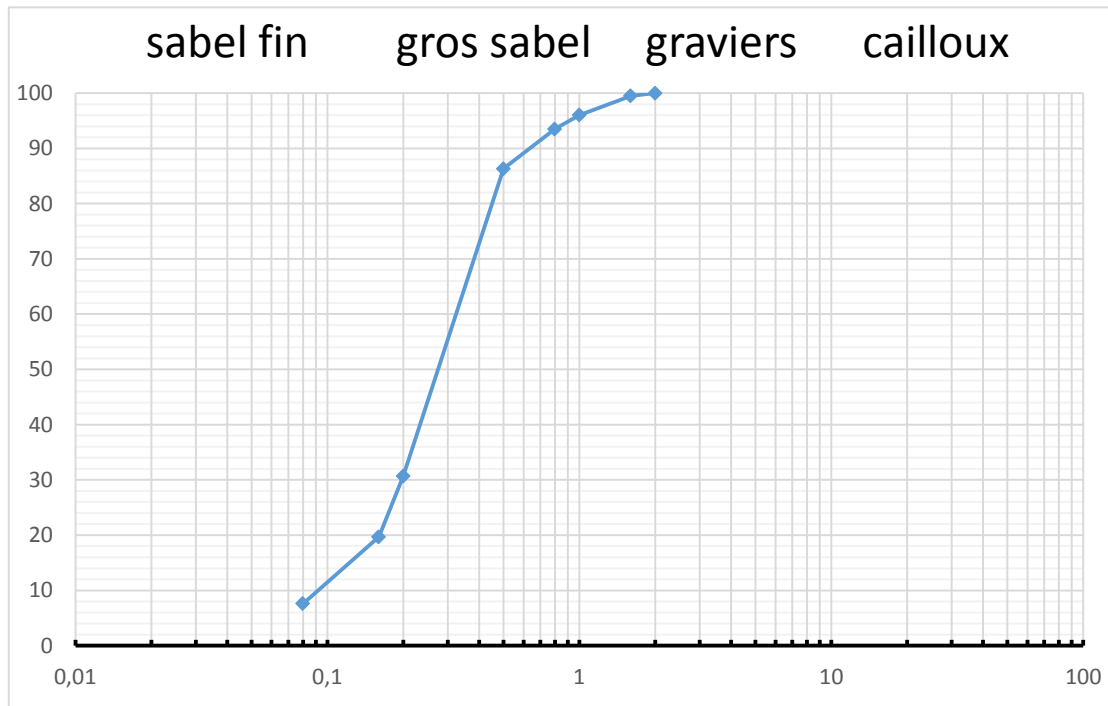
Fig. II.3.Courbe granulométrique de sable

- $C_u = d_{60} / d_{10} = 2.05$
- $C_c = (d_{30})^2 / d_{10} \cdot d_{60} = 0.90$

❖ sol reconstitue

Tamis (mm)	Poids refus (g)	Poids refus cumulés (g)	Refus cumulus en %	Tamisât en %
2	0	0	0	100
1.6	7.66	7.66	0.51	99.49
1	52	59.66	3.97	96.03
0.8	37.66	97.32	6.488	93.51
0.5	108	205.32	13.688	86.31
0.2	834.33	1039.65	69.31	30.69
0.16	165	1204.65	80.31	19.69
0.08	181.33	1385.98	92.39	7.61

Tableau II.2: Granulométrie par tamisa de sol reconstitué



**Fig. II.4 : Courbe granulométrique de sol reconstitué**

❖  $C_u = d_{60} / d_{10} = 3.44$

❖  $C_c = (d_{30})^2 / d_{10} \cdot d_{60} = 1.43$

### II.3.2-Équivalent de sable (ES) :

Essai d'équivalence de sable est spécifique aux sols grenue, il nous permette de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible argileux dans les sols ou les agrégats fins : il est effectuée sur des éléments de diamètre (2 mm) son importance est capitale car la présence des éléments fins peut modifier le comportement rhéologique du matériau et pour pouvoir interpréter correctement les résultats et les indispensables de répéter l'essai au moins deux fois. Il est essentiel pour le choix et le contrôle.

Les valeurs de l'équivalent de sable indiquent la nature du sable en fonction du moyen de mesure et permettent d'apprécier la qualité pour composer un béton.

Es à vue	Es au piston	Nature et qualité du sable
ES<65%	ES<60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité
65%<ES<75%	60%<ES<70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton
75%<ES<85%	70%<ES<80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
ES>85%	ES>80	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Tableau II.3:Caractéristique de sable (ES).

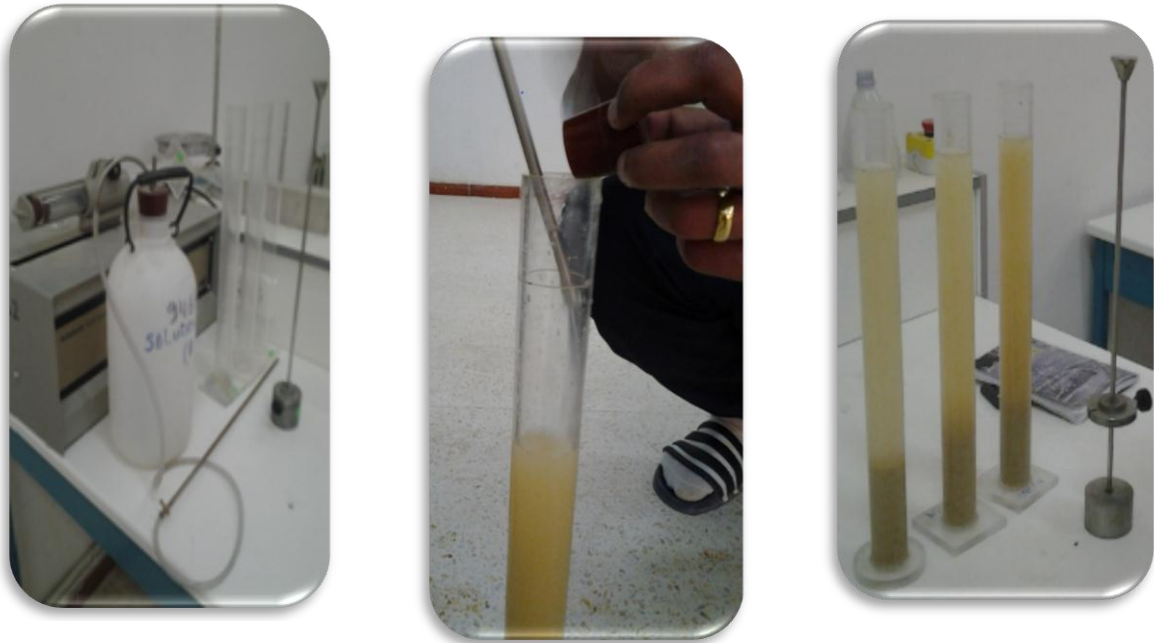


Fig. II.5 : Appareillage équivalent de sable

## ❖ Résultats

❖ **Equivalent de sable** : sable.

$$ESP = h_3/h_2 \times 100$$

$$ESV = h_1/h_2 \times 100$$

N° de l'essai	1	2	3
La hauteur $H_1$ (cm)	8.4	7.8	8
La hauteur $H_2$ (cm)	13.3	12.4	12.8
La hauteur $H_3$ (cm)	6.1	7.2	6.8
ESV (%)	63.15	62.90	62.50
ESP (%)	45.86	58.06	53.12
ESV moyenne	62.85		
ESP moyenne	52.34		

Tableau.4 : Equivalent de sable



**Conclusion :**

Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité

**II.3.3- Limite d'Atteberg :****❖ But de l'essai :**

On détermine par cet essai les limites de liquidité et de plasticité d'un sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 0.4mm. Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état.



**Figure (II.6): Appareille de Casa grande.**

- **Limite de liquidité :**

Le sol est mélangé à une quantité d'eau. La pâte obtenue est placée dans une coupelle de 100 mm de diamètre environ. On trace sur la pâte lissée une rainure normalisée avec un outil spécial. À l'aide d'une came, on fait subir une série de chocs à la coupelle.

On observe en fin d'expérience le contact des deux lèvres de la rainure. La limite de liquidité est la teneur en eau en (%) qui correspond à une fermeture en 25 chocs.



**Fig. II.7 : Les étapes de la limite de liquidité.**

- **Limite de plasticité :**

On mélange l'échantillon avec des quantités variables d'eau; on façonne avec la pâte un rouleau de 6 mm de diamètre pour une centaine de mm de longueur. Puis on atteint 3mm de diamètre en le roulant (souvent avec les doigts), après 5 à 10 allers-retours maximum. La limite de plasticité est la teneur en eau en % du rouleau qui se fissure et se brise lorsqu'il atteint un diamètre de 3 mm

La précision de l'essai est de l'ordre du demi-point de teneur en eau pour la détermination de la limite de liquidité et du point de teneur en eau pour la détermination de la limite de plasticité.



Fig. II.8: Les étapes de la limite de plasticité.

- **Indice de plasticité ( $I_p$ ) :**

Différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique.  $I_p = W_L - W_P$

Résultats d'essai :

Nombre de coups	17		24		27		32	
Masse de la tare $m_t$ (g)	52.66	50.402	48.08	53.646	45.714	51.261	52.314	44.02
Masse du sol humide+tare ( $m_h+m_t$ ) (g)	62.16	60.42	66.50	68.711	58.729	67.437	69.126	53.342
Masse (du sol sec+tare):( $m_d+m_t$ ) (g)	59.19	57.17	60.974	63.994	55.17	62.047	63.714	55.808
Masse d'eau :( $m_w$ ) (g)	6.53	6.768	12.894	10.348	9.456	10.786	11.427	9.788
Masse du sol sec : ( $m_d$ ) (g)	2.97	3.59	5.596	4.717	3.559	5.39	5.385	3.534
Tenure en eau : W%	45.48	53.04	43.4	45.58	37.63	49.97	47.12	36.1
$W_{moy}$ (%)	49.26		44.49		43.8		41.61	

Tableau II.6 : la limite de liquidité de l'argile rouge.

Masse de la tare $m_t$ (g)	51.453	52.622	49.534	51.351	48.143	51.595	43.782	49.887
Masse du sol humide+tare ( $m_h+m_t$ ) (g)	52.667	53.421	50.24	52.133	48.774	52.174	44.723	50.617
Masse (du sol sec+tare):( $m_d+m_t$ ) (g)	52.063	52.744	49.639	51.462	48.233	51.675	43.911	49.982
Masse d'eau :( $m_w$ ) (g)	0.604	0.677	0.601	0.671	0.541	0.449	0.812	0.635
Masse du sol sec : ( $m_d$ ) (g)	0.11	0.122	0.105	0.111	0.09	0.08	0.129	0.095
Tenure en eau : W%	18.21	18.02	17.47	16.54	16.53	16.03	15.88	14.96
$W_{moy}$ (%)	18.115		17.005		16.33		15.42	

Tableau II.7 : La limite de plasticité de l'argile rouge.

**Conclusion :**

Sols de classement Plastique

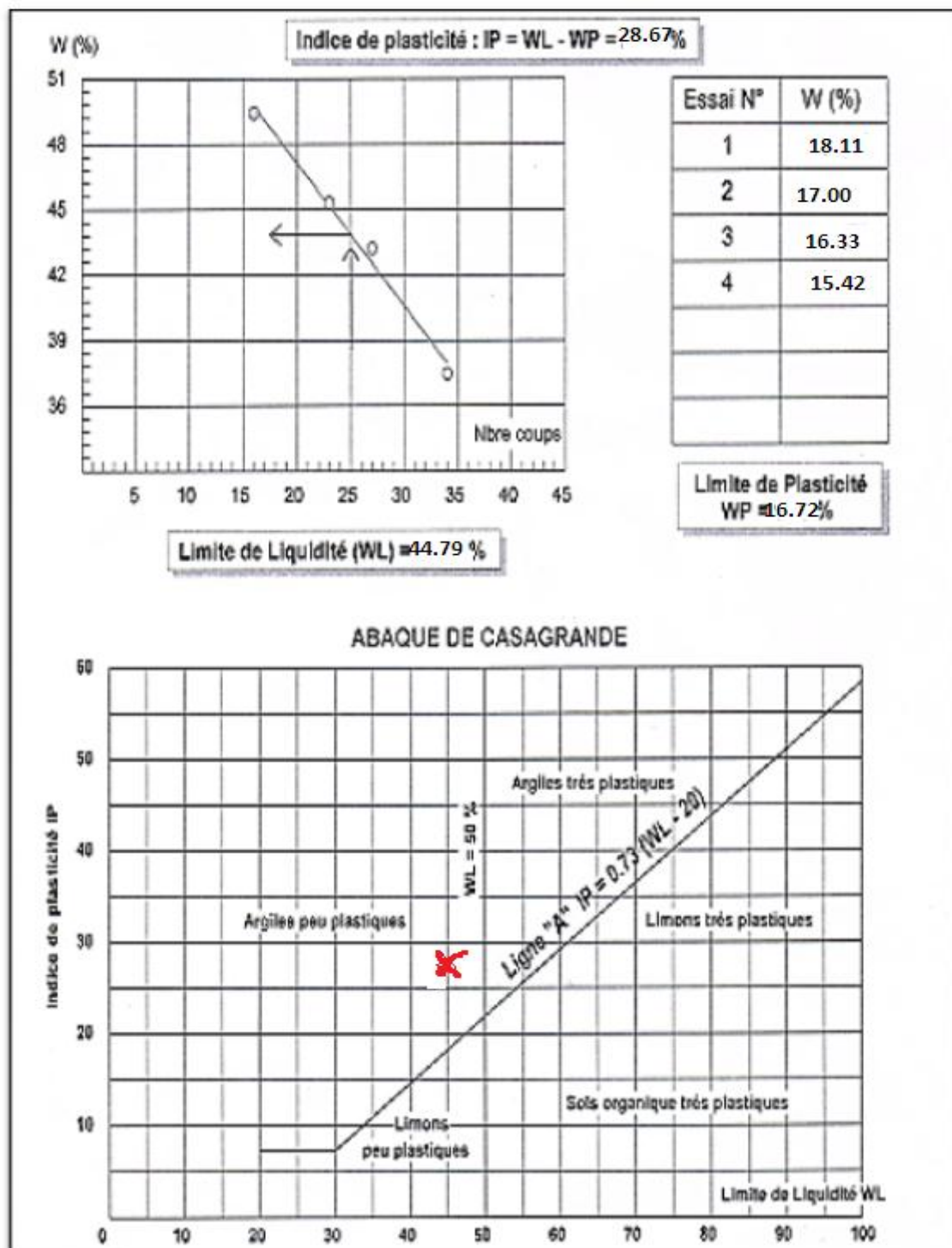


Fig. II.9 : Position de l'argile rouge dans l'abaque Casa grande

Suivant la valeur de leur indice de plasticité. Les sols peuvent se classer comme

Suit :

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

**Tableau II.8 : Classement de sol par rapport leur indice de plasticité.**

Courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton

### II.3.4- Essais Proctor :

#### ❖ Définition :

Il y a plusieurs possibilités pour améliorer les propriétés mécaniques d'un sol remanié. Le procédé le plus économique, toujours utilisé dans la construction des remblais, est le compactage. Ce procédé a pour but d'augmenter la qualité de solides par unité de volume (la masse spécifique du sol sec) à fin d'améliorer certaines propriétés des sols ou remblais: améliorer la résistance mécanique (stabilité), diminuer la compressibilité (tassement) et diminuer la perméabilité.

**❖ But de l'essai Proctor :**

Il existe une teneur en eau particulière  $w_{opt}$  notée  $W_{opt}$  pour l'essai Proctor normal et  $W_{opt}$  pour l'essai Proctor modifié pour laquelle le compactage conduit à une masse volumique sèche  $\gamma_d$  (ou un poids volumique) maximum.

- ✓ La masse volumique maximale correspond donc à un état de compacité maximum et à une capacité de résistance maximum.
- ✓ L'essai Proctor permet de déterminer ces conditions particulières.

**❖ Principe de l'essai Proctor :**

Le principe de l'essai consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et à la compacter selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

D'une manière générale, cette courbe appelée courbe Proctor présente une valeur maximale de la masse volumique sèche, elle est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces 2 valeurs qui sont appelées caractéristiques de compactage Proctor Normal ou Proctor Modifié suivant l'essai réalisé.



**Fig. II.10 : Appareillage spécifique pour essais de compactage**

**❖ Matériel spécifique Proctor :**

- ✓ Moule Proctor avec embase et hausse.
- ✓ Ou moule CBR avec embase et hausse.
- ✓ Dame Proctor normal.
- ✓ Ou dame Proctor modifié.
- ✓ Règle à araser.
- ✓ Balance de portée supérieure à 6 kg.

**❖ Matériel connexe pour essai Proctor :**

- ✓ Eprouvette graduée et burette d'eau pour humidifier le sol.
- ✓ Four, balance de précision, petits récipients pour mesurer la teneur en eau à postériori.



**Fig. II-11:préparation d'essai Proctor**

**❖ Mode opératoire pour essai Proctor :**

- ✓ On dispose d'un échantillon de masse  $m = 4\text{kg}$  et dont la teneur en eau initiale est supposée égale à 2%.
- ✓ On mesure le poids du moule à vide. On trouve  $M_0 = 1713\text{ g}$ .
- ✓ Ajouter par respectivement considéré les teneurs en



Eau suivantes : 02% ; 03% ; 04% ; 05% et 07%.

- A chaque étape, on procède comme suit :
- On remanie le sol jusqu'à ce que la teneur en eau soit supposée uniforme
- Une première fraction est introduite dans le moule et celle-ci est compactée à l'aide de 25 coups de la dame.
- On suit la même procédure pour une 2ème puis une 3ème fraction
- On enlève la hausse amovible du moule
- La couche supérieure débordant la partie inamovible du moule est rasée.
- On pèse le moule et son contenu.
- On prélève du centre de l'échantillon, une fraction d'environ 100g placée dans une tasse et introduite dans l'étuve. La tasse et la fraction du sol ont été préalablement pesées. Après 24h de séjour dans l'étuve, on pèse à nouveau la fraction de sol. Ces différentes valeurs sont récapitulées dans le tableau.

- **Résultats d'essai :**

masse d'eau ajoutée à chaque compact	2%	3%	4%	5%	7%
masse total humide	6795	7018	7261	7542	7463
masse du moule	2869	2869	2869	2869	2869
masse du sol humide	3926	4149	4392	4673	4594
masse du sol sec	3864	4015	4215	4453	4362
volume moule	2339.62	2339.62	2339.62	2339.62	2339.62
Masse volumique humide	1.67	1.77	1.87	1.99	1.96
masse volumique sèche	1.64	1.70	1.79	1.89	1.81
tare N°	1	2	3	4	5
masse de la tare	23.69	32.59	26.93	31.27	24.11
masse (sol humide+tare)	63.92	69.69	65.68	67.59	82.13
masse (sol sec+tare)	63.02	68.46	64.19	65.88	77.33
masse d'eau	0.9	1.23	1.49	1.71	4.80
masse du sol sec	39.33	35.87	37.26	34.61	50.22
teneur en eau W%	2.28	3.42	3.99	4.94	9.55

**Tableau II.9 :Résultat d'essai Proctor sur le sol reconstitué**

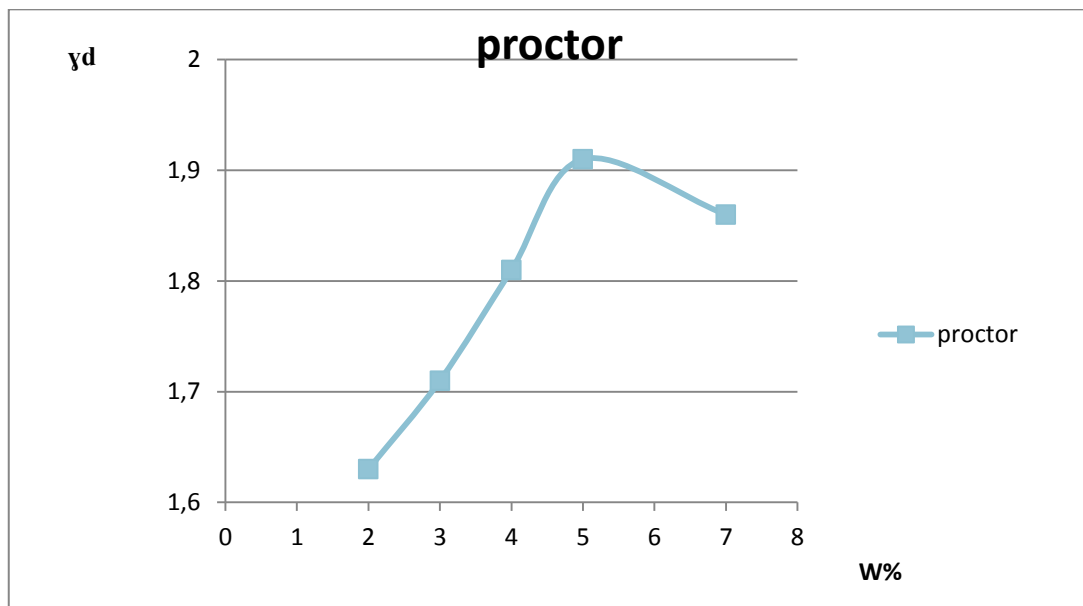


Fig. II.12 : Courbes Proctor de sol reconstitué

### II.3.5. L'essai au bleu de méthylène :

#### ➤ Définition :

L'essai au bleu de méthylène a pour but de révéler la présence de fines de nature argileuse et d'en déterminer la concentration.

On appelle «valeur de bleu VBS d'un sol, la quantité en gramme de bleu de méthylène adsorbé par 100g de sol (5mm).

#### ➤ Appareillage spécifique :

- ✓ Pipette d'Andréasen.
- ✓ Papier filtre blanc.
- ✓ Baguette en verre.
- ✓ Récipient cylindrique en verre.
- ✓ Agitateur magnétique.



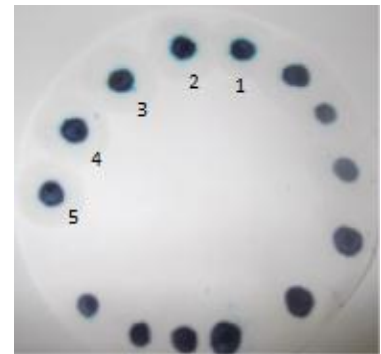
Figure (II.13) : Appareillage Bleu de méthylène

➤ **Mode opératoire**

- ✓ On prend 30g de sol.
- ✓ Après inhibition de 5 minutes de la prise d'essai.
- ✓ on procède au dosage au bleu de méthylène.
- ✓ Nous avons commencé par introduire dans la suspension, maintenue en agitation, 5cm<sup>3</sup> de bleu, puis prélever une goutte de liquide, qu'on dépose sur le papier filtre.
- ✓ Le test s'avérant négatif, nous avons continué le dosage jusqu'à 15 cm<sup>3</sup>, ensuite nous avons ajouté 5 cm<sup>3</sup> de bleu, le teste est positive.

➤ **Définition du test à la tache :**

Après chaque injection de bleu ce test consiste à prélever, à l'aide de la baguette de verre, une goutte de suspension que l'on dépose sur le papier filtre. La tache ainsi formée se compose d'un dépôt central de matériau, coloré d'un bleu généralement soutenu, entouré d'une zone humide incolore.



Le test est dit positif si, dans la zone humide, autour du dépôt central une auréole bleu clair persistante

**Figure (II.14) : Test à tâche.**Apparaît

Il est dit négatif si l'auréole est incolore.

➤ **Expression des résultats:**

- ✓ Masse sèche de la prise d'essai:  $M_0 = M_1 / (1 + w)$ .
- ✓ Masse de bleu introduite  $B = 0,01 \times V$ .
- ✓ L'expression des résultats est (en g de bleu pour 100g de sol sec) :

$$VBS = 100 \times B / M_0.$$

Il est effectué sur la fraction 0.2 mm du sol et on distingue les valeurs suivantes :

- $VBS < 0.1$  : sol insensible à l'eau.
- $0.2 \leq VBS < 1.5$  : sol sablo limoneux, sensible à l'eau.
- $1.5 \leq VBS < 2.5$  : sol sablo argileux, peu plastiques.
- $2.5 \leq VBS < 6$  : sol limoneux de plasticité moyenne.
- $6 \leq VBS < 8$  : sol argileux.
- $VBS > 8$  : sols très argileux.

➤ les résultats de bleu méthylène présenté dans les tableaux suivants:

	Essai 01	Essai 02	Essai 03
<b>Volume de bleu méthylène (ml).</b>	160	165	170
<b>VBS</b>	5.33	5.50	5.66

Tableau II.10 : Valeur de bleu méthylène d argile

	Essai 01	Essai 02	Essai 03
<b>Volume de bleu méthylène (ml).</b>	15	10	15
<b>VBS</b>	0.5	0.33	0.5

Tableau II.11 : Valeur de bleu méthylène du sable

**Conclusion:** sol limoneux de plasticité moyenne.

### II.3.6. Masse volumique absolue :

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.

un pycnomètre désigne un instrument de laboratoire utilisé pour mesurer, à une température déterminée, la masse volumique d'un produit liquide, pâteux (mastic, adhésif, peinture, etc.) ou solide (poudre, par exemple). La formule utilisée pour calculer le poids spécifique est

$$\gamma_s = \frac{(M_1 - M_0) \cdot \rho_{eau}}{M_3 + M_1 - M_0 - M_2} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Avec :}$$

- $M_0$  : Masse de pycnomètre.
- $M_1$  : Masse de (pycnomètre + grains solides).
- $M_2$  : Masse de (pycnomètre + grains solides + eau).
- $M_3$  : Masse de (pycnomètre + eau).

**❖ Appareillage:**

- 03 Pycnomètre en verre de 100 cm<sup>3</sup>.
- -Une balance de précision : force de 4 à 5 kg sensibilités 1 à 2 cg.
- Un entonnoir à long col.
- Tige en verre pour l'agitation.



**Lafigure(II.15):Appareillage de la masse volumique absolue**

**✓ Mode opératoire :**

- ❖ Préparer un échantillon de sable, sèche a l'étuve et refroidi.
- ❖ Peser le pycnomètre vide (sec et propre) M0.
- ❖ Peser une masse de 25 g des matériaux de sable et remplir la bouteille à moitié avec de l'eau et remuer énergiquement avec la tige en verre pour chasser les bulles d'aires.
- ❖ Ajouter de l'eau jusqu'à 2 cm du bord supérieur, visser à fond le couvercle et remplir à l'aide d'une pissette par le trou supérieur.
- ❖ Secouer le pycnomètre en rebouchant avec un doigt le trou du couvercle. Laisser reposer un bon moment.
- ❖ Sécher les parois extérieures du pycnomètre et peser l'ensemble, soit M2.
- ❖ Vider le pycnomètre, laver et le remplir d'eau jusqu'au niveau du trou supérieur.
- ❖ Sécher les parois extérieures du pycnomètre et peser l'ensemble, soit M3.
- ❖ Reprendre mêmes étapes pour deux autres échantillons non utilisés.

## ✓ Resultantsd'essais :

N° d'essai	M <sub>0</sub> (g)	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	M <sub>3</sub> (g)	γ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>smoy</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
P <sub>1</sub>	69.31	103.254	196.475	176.39	2.45	2.5
P <sub>2</sub>	68.265	100.014	197.541	178.15	2.57	
P <sub>3</sub>	68.47	105.81	198.145	175.86	2.48	

Tableau II.12 : Poids spécifique du sable

N° d'essai	M <sub>0</sub> (g)	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	M <sub>3</sub> (g)	γ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>smoy</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
P <sub>1</sub>	68.33	88.03	188.25	175.96	2.66	2,68
P <sub>2</sub>	68.112	87.458	186.487	174.31	2.7	
P <sub>3</sub>	69.441	88.392	188.004	174.12	2.68	

Tableau II.13 :Poids spécifique d'argile

N° d'essai	M <sub>0</sub> (g)	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	M <sub>3</sub> (g)	γ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>smoy</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
P <sub>1</sub>	68.4	101.22	198.486	178.69	2.52	2.64
P <sub>2</sub>	69.01	104.17	200.01	178.12	2.65	
P <sub>3</sub>	68.13	105.701	202.25	178.34	2.75	

Tableau II.14 : Poids spécifique de sol reconstitué