

III. Introduction

Les essais d'identification ont été réalisés au laboratoire de mécanique des sols du département de génie civil de Tiaret, les essais de cisaillement ont été réalisés au laboratoire des travaux publics de l'ouest (L.T.P.O) de Tiaret. Les mélanges sont fabriqués à partir d'un sable d'oued Chlef et du kaolin. Toutes les caractéristiques physiques de ces matériaux sont déterminées à partir des essais d'identification.

III.2. Matériaux utilisés

III.2.1. Sable de Chlef

Le sable de Chlef comme son nom l'indique provient du lit de l'Oued-Chlef dont le cours d'eau passe dans la région de Chlef (Ville sévèrement touchée par le séisme du 10 Octobre 1980; évalué par une magnitude de 7.3 à l'échelle de Richter). Le sable de Chlef de couleur grise et à granulométrie moyenne a été tamisé à 2mm (figure III.1). Il est composé de grains quartzueux homogènes lisses solides et résistants à la rupture. La composition chimique de ce sable est donnée comme suivant (Tableau III.1):

Tableau III.1: Composition chimique du sable de d'oued Chlef

Composition chimique	Pourcentage (%)
Silice total	55.89
Alumine (Al ₂ O ₃)	5.58
Oxyde de fer (Fe ₂ O ₃)	7.58
Chaux (CaO)	15.42
Sulfates (SO ₄)	0.28
Chlorure CL soluble dans l'eau	0.14
Carbonates (CaCO ₃)	24.60
Matières organiques	Conforme
Avec des traces de Potasse, Oxyde de Sodium et Magnésie	



Figure III.1: Photo du sable d'Oued Chlef

III.2.2. Argile (kaolin)

Les kaolins sont des argiles blanches, friables et réfractaires, composées principalement de kaolinite, soit des silicates d'aluminium. Découverts à l'origine en Chine, ils sont à la base de la fabrication de la porcelaine, mais sont aussi utilisés dans l'industrie du papier, la médecine et la cosmétique (Figure III.2).



Figure III.2: Echantillon du kaolin utilisé

III.2.3. Préparation des mélanges (Sable-kaolin)

Le sable naturel d'Oued de Chlef a été tamisé dans le tamis 2mm. Le tamisât de ce sable a été lavé et fractionné en deux classes (le sable propre et la fraction des fines).

Sable propre: $0.08\text{mm} < D < 2\text{mm}$.

Fraction des fines: $D < 0.08\text{mm}$.

Les mélanges sable-kaolin sont obtenus en ajoutant une proportion de kaolin au sable propre selon un pas constant de teneur en kaolin de la façon suivante: Sable propre plus (0, 5, 10, 15 et 20%) (Figure III.3).



Figure III.3: Exemple d'un mélange sable-kaolin

III.3. Caractérisation des matériaux

III.3.1. Analyse granulométrique (Sable propre d'oued Chlef)

III.3.1.1. Définition

L'essai granulométrique permet de déterminer les pourcentages des grains selon leurs diamètres, en tamisant un sol sec sur une cascade de tamis de diamètres connus. Dans cet essai nous procédons à l'analyse granulométrique d'un échantillon dont les particules ont un diamètre $D > 80\mu\text{m}$.

III.3.1.2. But de l'essai

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 80mm, à l'exclusion des fillers.

III.3.1.3. 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 décroissances du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration des colonnes de tamis.

III.3.1.4. Matériels utilisés

Le matériel utilisé est composé de (Figure III.4 et III.5):

1. Série de tamis.
2. Une balance;
3. Un sol de masse 500g;
4. Un couvercle pour fermer les tamis;
5. Un fond de tamis;
6. Une tamiseuse mécanique.



Tamiseuse avec une série de tamis



Une balance.

Figure III.4: Matériel utilisé dans l'analyse granulométrique

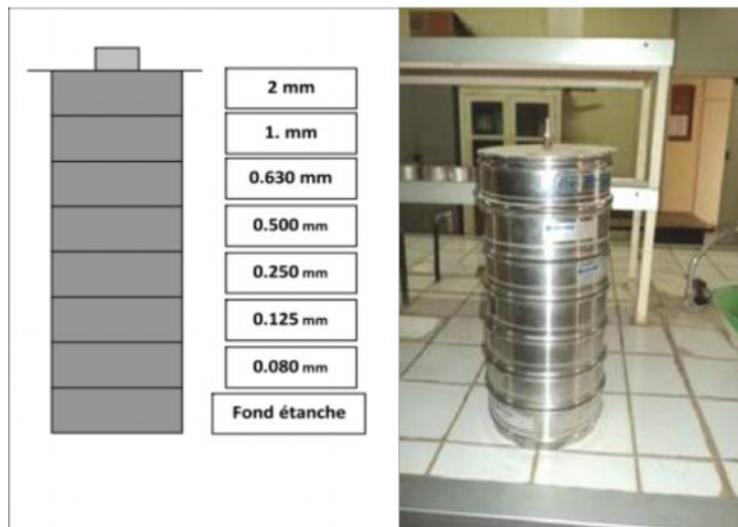


Figure III.5: Série des tamis utilisés dans l'analyse granulométrique

Pour un travail aisé et aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui travaille par un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses

verticales, à la colonne de tamis. Les dimensions les plus utilisés se suivent par une progression géométrique depuis le tamis 0.08mm jusqu'au tamis 2mm (Figure III.5). Pour des ouvertures inférieures à 0.063mm, l'analyse granulométrique n'est pas adaptée et l'on peut procéder par l'analyse granulométrique par sédimentométrie. L'analyse granulométrique consiste à classer en classe granulaire un échantillon d'essai, la sédimentation est la suite de cette analyse et a pour objet de déterminer la distribution pondérale de la taille des particules fines d'un sol.

III.3.1.5. Préparation des échantillons

Il faut une quantité convenable pour que l'échantillon soit représentatif et que la durée d'essai soit acceptable. On prend pour cela une valeur de m égale à 500g.

III.3.1.6. Conduite de l'essai

La masse de sable séchée est versée dans la série de tamis choisis de manière telle que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. Toute la colonne est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique, en fixant l'amplitude pendant une durée de 10 minutes minimum. On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibration de la tamiseuse. Les résultats des refus sont exprimés en pourcentage de la masse sèche de départ.

III.3.1.7. Résultats obtenus

III.3.1.7.1. Courbe granulométrique du sable propre d'Oued Chlef

Les résultats des essais granulométriques sont représentés dans le tableau III.2 et figure III.1.

Tableau III.2: Résultat de l'analyse granulométrique par tamisage du sable de d'oued Chlef

Diamètre des grains (mm)	Refus (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
2	0	500	100
1	100	400	80
0.63	170	230	46
0.25	170	60	12
0.15	40	20	4
0.08	20	0	0

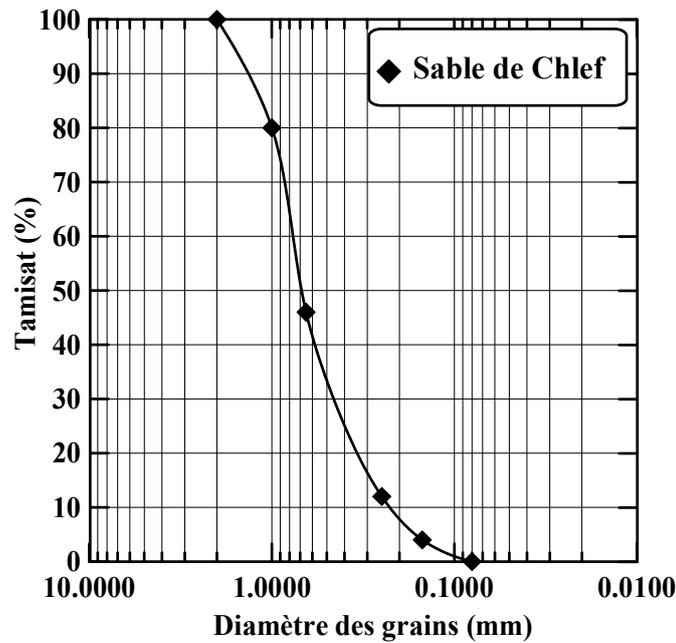


Figure III.6: Courbe granulométrique sable propre d'Oued Chlef.

D_{10} : Diamètre efficace ou diamètre pour lequel 10% en masse des particules constituant le sol ont un diamètre inférieur ou égale à D_{10} ;

D_{30} : Diamètre pour lequel 30% en masse des particules constituant le sol ont un diamètre inférieur ou égale à D_{30} ;

D_{50} : Diamètre moyen ou diamètre pour lequel 50% en masse des particules constituant le sol ont un diamètre inférieur ou égale à D_{50} ;

D_{60} : Diamètre pour lequel 60% en masse des particules constituant le sol ont un diamètre inférieur ou égale à D_{60} .

• **Coefficient d'uniformité (C_u) ou coefficient de Hazen:**

Exprimé par le rapport: $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

Si $C_u > 6$ le sable est dit propre bien gradué

• **Coefficient de courbure (C_c):**

Donné par la formule suivante: $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10}) * (D_{60})}$

Si C_c est compris entre 1 et 3 ($1 < C_c < 3$) le sable est dit propre bien gradué.

III.3.1.7.2. Détermination des différents diamètres

D'après la courbe granulométrique du sable naturel nous pouvons déterminer: **D₁₀, D₃₀ D₅₀ et D₆₀** (Tableau III.3)

Tableau III.3: Différents diamètres de la courbe granulométrique du sable propre d'Oued Chlef.

Notation	Valeur en (mm)
D ₁₀	0.22
D ₃₀	0.45
D ₅₀	0.68
D ₆₀	0.78

III.3.1.7.3. Détermination du coefficient d'uniformité ou de Hazen (C_u):

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.78}{0.22} = 3.55$$

C_u = 3.55 < 6. Donc le sable est propre mal gradué.

III.3.1.7.4. Détermination du coefficient de courbure (C_c):

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10}) * (D_{60})} = \frac{(0.45)^2}{(0.22) * (0.78)} = 1.18$$

1 < C_c = 1.18 < 3. Donc le sable est propre et mal gradué.

III.3.2. Analyse granulométrique par sédimentométrie de l'argile (kaolin)

III.3.2.1 Introduction

La sédimentométrie a pour objectif de déterminer la répartition en poids des grains du sol suivant leur dimension pour des fines particules inférieures à 0.08mm, En effet, lorsque le diamètre des particules est faible, le tamisage ne permet plus d'obtenir des résultats précis. Cette méthode est basée sur le fait que les grains de diamètre différent sédimentent dans un milieu liquide au repos à vitesses différentes. La relation entre diamètre des grains et vitesse de sédimentation est donnée par la loi de Stokes.

III.3.2.2. Principe de l'essai

Il faut s'assurer, avant de commencer l'essai, que la tige du densimètre est parfaitement propre, Avant de plonger le densimètre, agiter vigoureusement la suspension pour obtenir une concentration

uniforme sur toute la hauteur de l'éprouvette Retirer l'agitateur et déclencher au même moment le chronomètre puis plonger lentement le densimètre, faire la lecture au sommet de ménisque.

Les lectures sont faites à: 30 secondes, 1, 2, 5, 10, 20, 40, 80, 240 minutes (et éventuellement à 1440 minutes, soit après 24 heures), ces temps étant tous comptés, à partir du début de l'essai. Les 3 lectures à 30 secondes, 1 et 2 minutes se font sans retirer le densimètre de la suspension.

Ce n'est qu'après les lectures à 2 minutes que la température de la suspension est relevée au 1/10 de degré près. Pour les autres lectures, plonger le densimètre 1.5 à 20 secondes avant la lecture. Noter la température après chaque lecture.

III.2.3. Résultat obtenu

Le **Tableau III.4** montre les résultats obtenus pour l'essai de sédimentométrie du kaolin.

Tableau III.4: Résultat de l'analyse granulométrique par sédimentométrie du sable d'oued Chlef

Diamètre (mm)	Tamisât (%)
0.08	100
0.06	98
0.04	92
0.03	88
0.02	87.7
0.019	87.6
0.009	87.5
0.006	85
0.004	77
0.0025	63
0.001	40
0.0004	20

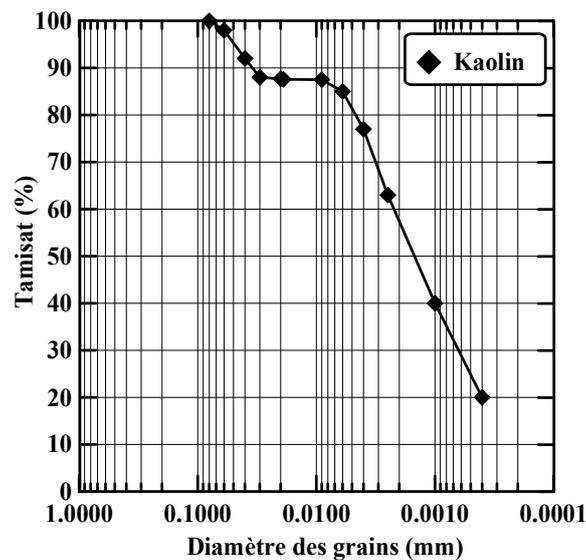


Figure III.7: Courbe granulométrique du kaolin

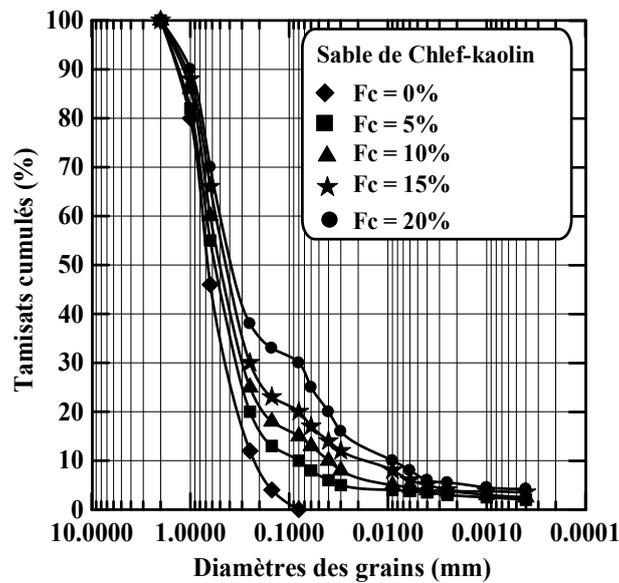


Figure III.8: Courbes granulométriques du mélange sable de Chlef-kaolin

III.3.3. Limites d'Atterberg de l'argile (Kaolin)

III.3.3.1. Introduction

Les limites d'Atterberg sont des essais qui permettent de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol, et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau. Notons que cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément, en observant sa consistance, ce qui permet de faire une classification du sol.

III.3.3.2. But des essais

Les limites d'Atterberg ont été élaborées au début du XXe siècle par A. Atterberg, un pédologue suédois, qui s'intéressait à la plasticité des argiles en vue de la fabrication des produits céramiques. Les essais mis au point à cette époque ont été repris et modifiés par Casagrande, afin que leur interprétation puisse permettre d'établir un lien entre la teneur en eau du sol et son comportement. Les résultats obtenus à partir de ces essais permettent de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau.

III.3.3.3. Définitions et terminologie

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau pondérales, caractéristiques du sol. Elles correspondent à des comportements particuliers de celui-ci sous l'action des variations de la teneur en eau. Ces limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis 0.4mm. Les deux limites utilisées sont:

- **W_L**: Limite de liquidité (Teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état liquide - le sol est humide et déformable - et un état plastique).
- **W_P**: Limite de plasticité (Teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état plastique et un état solide - le sol durcit et se fissure).
- **I_P**: Indice de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité.

W_n: Teneur en eau à l'état naturel.

I_P: Indice de plasticité ($I_P = W_L - W_P$).

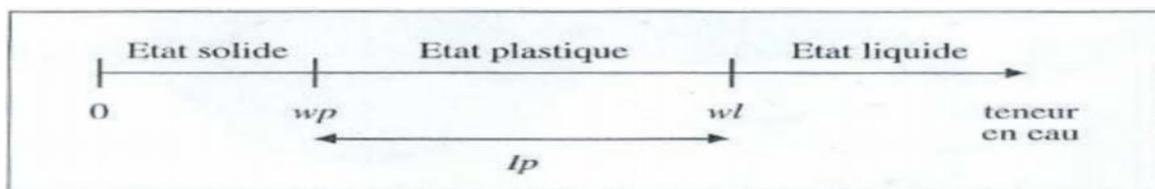
Avec l'indice de plasticité on peut classer un sol suivant son degré de plasticité dans le tableau III.5 et III.6.

Tableau III.5: Etat du sol en fonction de l'indice de plasticité

I_P (%)	Degré de plasticité du sol
0 à 5	Sol non plastique
5 à 15	Sol peu plastique
15 à 40	Sol plastique
> 40	Sol très plastique

Tableau III.6: Type de sol en fonction de l'indice de plasticité

Type de sol	Indice de plasticité I_P (%)
Argile	$I_P > 30$
Argile limoneuse	$20 < I_P < 30$
Limon	$10 < I_P < 20$
Sable argileux	$5 < I_P < 20$
Sable limoneux	$5 < I_P < 15$



Indice de consistance (I_c): Cet indice prend en compte la teneur en eau w du sol à l'état naturel pour la fraction inférieure à 0.4mm. La comparaison entre la teneur en eau naturelle du sol w_n et les limites d'Atterberg, permet d'avoir une idée de l'état du sol en place. On définit pour cela l'indice de consistance:

III.3.3.4. Principe de l'essai:

L'essai s'effectue en deux phases:

1. Recherche de la **teneur en eau w** pour laquelle une rainure de dimension normalisée, pratiquée dans le sol disposé dans la coupelle de Casagrande, se ferme sous l'action de 25 chocs (coups) appliqués de manière normalisée;
2. Recherche de la **teneur en eau w** pour laquelle un cylindre de sol de diamètre 3mm, confectionné manuellement, se fissure lorsqu'on le soulève.

III.3.3.4.1. Détermination de W_L :

Appareil de Casagrande (Figure III.9). Il est constitué d'une coupelle normalisée, montée sur un support métallique avec manivelle, le tout étant fixé sur un socle en bois bak élise. L'ensemble permet de faire tomber la coupelle d'une hauteur de 1cm sur le bloc de bois dur, chaque choc entraînant la fermeture progressive de la rainure pratiquée dans l'échantillon de sol, celle-ci ayant été effectuée à l'aide de l'outil à rainure.



Figure III.9: Appareil de Casagrande et outil à rainure.

III.3.3.4.2. Détermination de W_p :

- Une plaque lisse en marbre pour le malaxage du sol et la confection des rouleaux de sol.
- Une plaque de verre et sa cale pour l'évaluation du diamètre du rouleau de sol (Figure III.10)

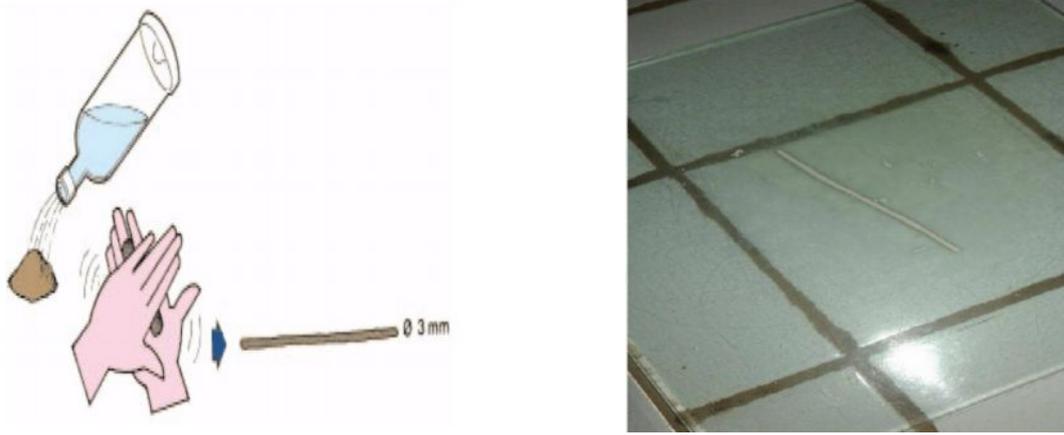


Figure III.10: Système d'évaluation du diamètre du rouleau de sol

III.3.3.4.3. Mesure des teneurs en eau w

Une étuve de dessiccation pouvant être réglée à 105°C et à 50°C, une balance permettant les pesées avec une incertitude maximale de 1/1000 de la pesée, des capsules en verre ou boîtes de Pétri, des spatules.

a. Détermination de la limite de liquidité W_L

Mise en place de l'échantillon. Il est mis en place à la spatule, de façon bien homogène. L'épaisseur au centre est de 15 à 20mm, le pourtour étant sensiblement horizontal (Figure III.11).

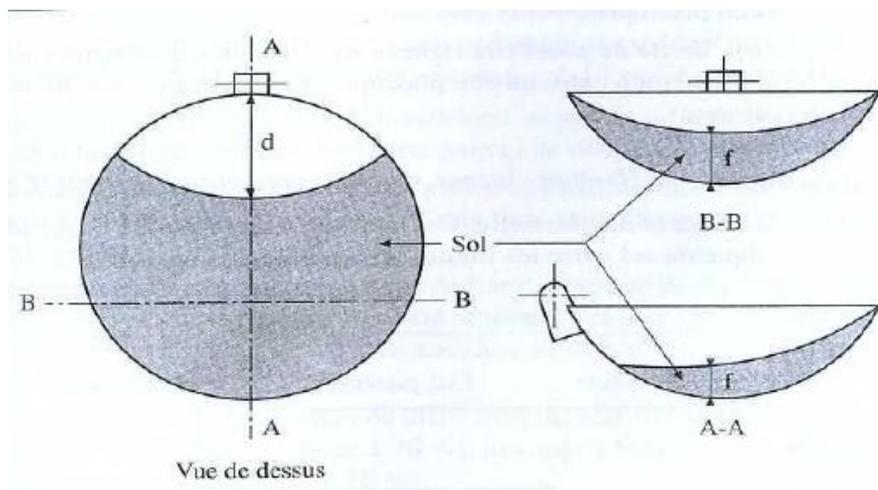


Figure III.11: Mise en place de l'échantillon dans la coupelle

A l'aide de l'outil à rainurer, on creuse ensuite une rainure dans le mortier contenu dans la coupelle. Puis on tourne la manivelle afin de provoquer le choc de celle-ci sur le bloc de bois dur. Par définition, la **limite de liquidité** est la teneur en eau qui correspond à la fermeture de la rainure sur 1cm de longueur en 25 chocs.

L'échantillon doit être à une teneur en eau légèrement supérieure à la limite de la liquidité, afin de pouvoir commencer l'essai avec une fermeture de sillon en 15 coups environ.

III.3.3.5. Description de l'essai

1. Faire une rainure dans l'axe de la coupelle, l'outil étant sensiblement perpendiculaire à celle-ci (Figure III.12).

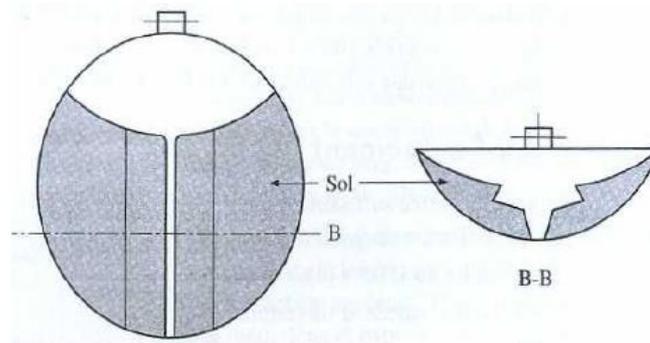


Figure III.12: Schéma d'une rainure.

III.3.3.6. Résultats obtenu

Limite de liquidité W_L du kaolin: $W_L = 58.12\%$

Limite de plasticité W_P du kaolin: $W_P = 24.25\%$

Indice de plasticité I_P (%) du kaolin: $I_P = 33.87\% > 15\%$ Il s'agit d'une argile plastique.

III.3.4. Analyse minéralogique et chimique du kaolin

L'analyse minéralogique, est généralement un essai qui apporte beaucoup d'information, Car le comportement des sols fins est fonction de leurs compositions minéralogiques. Le sol fin utilisé dans notre étude est un kaolin. Sa composition minéralogique est (Tableau III.7):

Tableau III.7: Composition minéralogique de l'argile (kaolin)

Composition minéralogique	Pourcentage (%)
Quartz	8 à 9
Muscovite	16
Kaolinite	73
Feldspath	1 à 2
Fer	1

La composition chimique de l'argile est (Tableau III.8):

Tableau III.8: Composition chimique du sable de l'argile (kaolin)

Composition chimique du kaolin	Pourcentage (%)
SiO ₂	48.95
Al ₂ O ₃	34.08
FeO ₃	1.43
CaO	0.2
MgO	0.42
K ₂ O	2.26
Na ₂ O	0.06
Pf	0.85

III.3.5. Essai au pycnomètre

III.3.5.1. But d'essai

Le but de l'essai au pycnomètre est de déterminer le poids volumique de la matière constituant les grains solides d'un sol qui est désigné par (γ_s) puisque on a plusieurs type de sols et chacun à une composante différente de l'autre en déterminant la valeur du poids spécifique on peut savoir de quelle matière sont formés ses grains.

III.3.5.2. Utilisation de poids spécifique

En connaissant le poids volumique (γ_s) on peut avoir d'autre paramètre qu'en ne peut pas les déterminées par essai en appliquant la formule qui les définit en fonction de (γ_s) et d'autre paramètres connus.

III.3.5.3. Principe de l'Essai

En utilisant le principe de la poussée d'Archimède (le poids du liquide déplacé égale au poids du corps plongé dans le liquide). Donc on mesure le volume d'eau déplacé lors de l'introduction d'un certain poids de sol Sec la connaissance du poids des grains solides et de leur volume permet de calculer le poids volumique (γ_s).

III.3.5.4. Appareillage utilisé

On a utilisé dans cet essai:

- Un pycnomètre.
- Une balance de précision.
- Un flacon d'eau distillé.
- Sol sec.



Figure III.13: Essai au pycnomètre



Figure III.14: Une balance électronique

III.3.5.5. Exécution de l'essai

Le sol utilisé dans cet essai a un diamètre de ses grains solides inférieur à 0.1mm parce qu'il était tamisé. Pour réaliser cet essai on a commencé par mettre de l'eau distillée dans le pycnomètre et on pèse l'ensemble (pycnomètre + eau) et on note le poids (P_1).

Puis on met une quantité de sol dans le pycnomètre qui était rempli d'eau et on pèse le tout (pycnomètre + eau + sol) et note le poids (P_2).

On agite le contenu du pycnomètre à la main pour séparer les grains solides car nous n'avons pas de l'ammoniaque et le chauffage. Après un certain temps on ajoute de l'eau distillée jusqu'au repère fixe et on pèse l'ensemble et on note le poids (P_3).

Puis on verse tout le contenu du pycnomètre et on nettoie bien ce dernier avec de l'eau pour que les grains ne restent pas sur ces côtes. Enfin on remplit de nouveau le pycnomètre jusqu'au repère fixe (choisit pour mesurer (P_3)) et on pèse l'ensemble (eau + pycnomètre) le poids obtenu est (P_4).

Remarque

- Le poids spécifique des grains solides est (P_s) tel que:

$$P_s = P_2 - P_1$$

- Le volume ces grains solides est:

$$V_s = V_w = \frac{P_s}{\gamma_w} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma_w} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma_w}$$

$$\text{Donc: } \gamma_s = \frac{P_s}{V_s} = \frac{P_2 - P_1}{\frac{P_2 - P_1}{\gamma_w}} * \gamma_w$$

$$\text{Avec: } \gamma_w = 1g/cm^3$$

III.3.5.6. Résultat obtenu

Tableau III.9: Poids spécifique des mélanges sable-kaolin

F _c (%)	0	5	10	15	20
γ _s (g/cm ³)	2.650	2.651	2.652	2.653	2.654

III.3.6. Détermination des indices des vides minimale et maximale (e_{max} et e_{min})

III.3.6.1. Description de l'essai

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne. En effet, l'eau ou l'air incluse dans le granulat provoque un certain écartement entre ces grains appelé l'indice des vides.

a. Indice des vides maximal (e_{max})

C'est l'indice des vides le plus grand possible, correspondant à la compacité naturelle la plus faible, obtenu par simple diversement sous faible hauteur.

b. Indice des vides minimal (e_{min})

C'est l'indice des vides le plus faible, correspondant au plus grand serrage possible, c'est l'indice des vides du sol considéré.

III.3.6.2. But de l'essai

L'essai consiste à déterminer l'indice des vides d'un échantillon de sol en évaluant à chaque fois le pourcentage de bentonite.

III.3.6.3. Méthode de calcul

Le moule utilisé dans la détermination de e_{max} et e_{min} a un volume de **354.27 cm³**. L'indice de densité (I_D) ou degré de compacité des sols sableux est donné par:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \dots\dots\dots(1)$$

Poids du moule à vide est de **671.90grammes**

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e} \Rightarrow e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 \dots\dots\dots(2)$$

-A l'état dense:

$$\gamma = \frac{P_{\max}}{354.27} \dots\dots\dots(3)$$

-A l'état lâche:

$$\gamma = \frac{P_{\min}}{354.27} \dots\dots\dots(4)$$

- Le moule est rempli par cinq couches, chacune de ces couches est compactée par 25 coups en utilisant une petite dame. On pèse le moule avec l'échantillon, soit (P).

$$\gamma_{d \max} = \frac{\gamma_s}{1 + e_{\min}} \Rightarrow e_{\min} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{d \max}} - 1 \dots\dots\dots(5)$$

- On met l'échantillon de sol dans le moule à l'aide d'un cône à une vitesse très lente et hauteur de chute très petite (quasi nulle), puis on pèse le moule avec l'échantillon soit (P).

$$\gamma_{d \min} = \frac{\gamma_s}{1 + e_{\max}} \Rightarrow e_{\max} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{d \min}} - 1 \dots\dots\dots(6)$$

III.3.6.4. Résultats obtenus

Les valeurs des indices des vides minimales et maximales après la répétabilité des essais sont représentées dans le **Tableau III.10**.

Tableau III.10: Valeurs de e_{\max} et e_{\min} pour les mélanges sable-kaolin

F_c (%)	0	5	10	15	20
e_{\min}	0.617	0.517	0.514	0.557	0.623
e_{\max}	0.932	0.926	1.004	1.053	1.292

La figure III.15 et III.16 montrent l'évolution des indices des vides (e_{\max} et e_{\min}) et de l'indice des vides correspondant à $D_r = 16\%$ et 90% avec la teneur en kaolin. On constate que l'indice des vides maximal et minimal ainsi que les indices des vides à $D_r = 16\%$ et 90% diminuent avec l'augmentation de la fraction des fines de kaolin de 0% jusqu'à 5% après ils augmentent avec l'augmentation de kaolin de 5% à 20%.

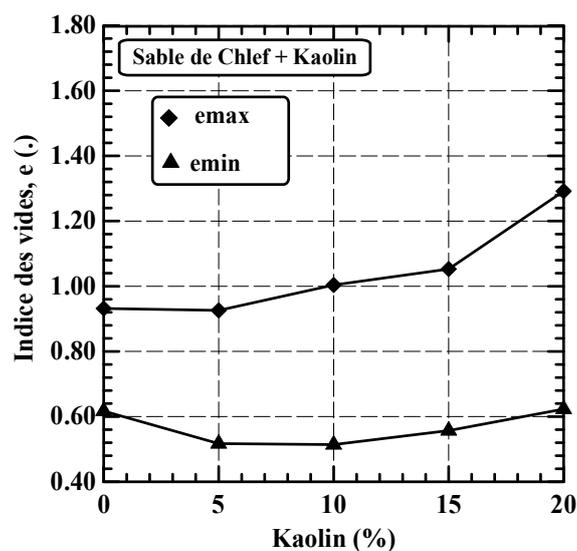


Figure III.15: Variation de l'indice des vides maximal et minimal en fonction de la teneur en Kaolin.

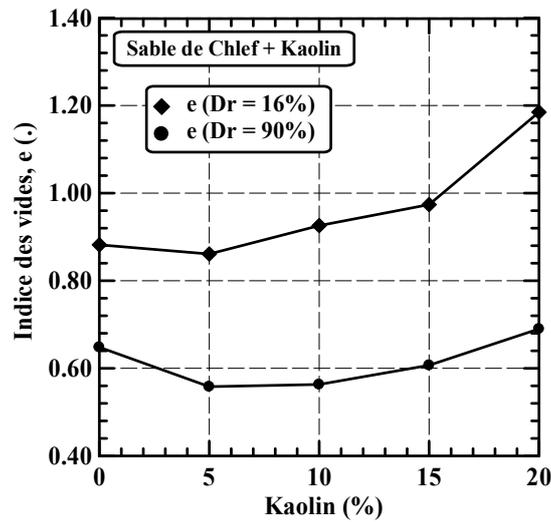


Figure III.16: Variation de l'indice des vides en fonction de la teneur en Kaolin.

La figure III.17 et III.18 montrent l'évolution de la densité sèche maximale et minimale et de la densité correspondante à $D_r = 16%$ et 90% avec la teneur en kaolin. On constate que ces densités augmentent avec l'augmentation de la fraction des fines de kaolin ensuite une diminution de cette densité.

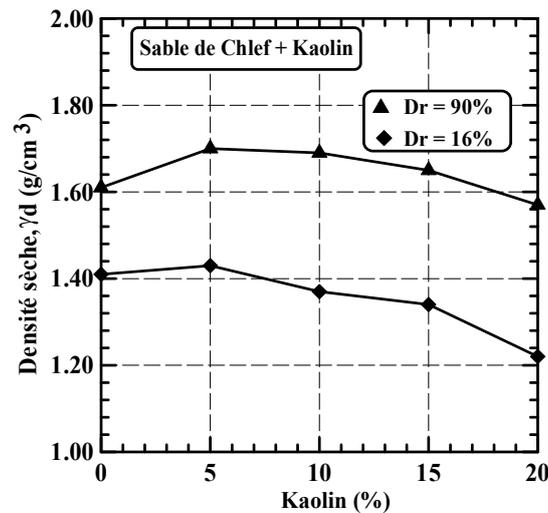


Figure III.17: Variation de la densité sèche en fonction de la teneur en Kaolin.

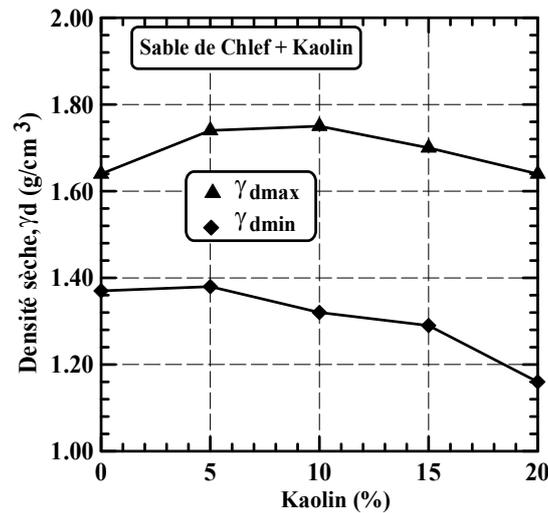


Figure III.18: Variation de la densité sèche maximale et minimale en fonction de la teneur en Kaolin.

III.4 Essai de cisaillement

III.4.1 Introduction

Les premiers types d'essai sont historiquement les essais de cisaillement direct (Coulomb en 1776). Lors de cet essai, une contrainte verticale (contrainte normale) est appliquée à l'échantillon ainsi qu'un effort de cisaillement. Les résistances au cisaillement des sols sont déterminées en utilisant l'approche rigide-plastique. En revanche, les tenseurs de contraintes et de déformations sont inconnus en raison de leur non uniformité et le volume ne peut plus être considéré comme homogène. Le «simple shear test» est une amélioration du dispositif à la boîte directe de cisaillement car les tenseurs sont uniformes. Les dispositifs «ring shear» de cisaillement annulaire appartiennent également à cette catégorie d'essai: Le cisaillement est contrôlé par la torsion. L'intérêt de ce dernier essai est de pouvoir suivre le comportement aux grandes déformations (plusieurs rotations sont possibles), et d'obtenir les valeurs de cisaillement résiduel qui interviennent, notamment dans les glissements de terrains, selon un plan de cisaillement prédéterminé (Figure III.19).



Figure III.19: Boîte de cisaillement carrée de Casagrande

III.4.2. Description de dispositif

Le dispositif est constitué comme suit (Figure III.20):

- Pierre poreuse: Elles permettent de drainer l'échantillon et elles assurent une bonne adhérence entre l'échantillon et les demi-boîtes;
- Demi-boîte supérieure: formée d'un cadre et d'un piston elle permet de respecter la charge verticale N sur l'échantillon seulement;
- Demi-boîte inférieure: Elle est fixe et elle sert de moule;
- Dispositif à contrainte contrôlée: Il entraîne la demi boîte inférieure à vitesse constante la mesure de la contrainte de cisaillement T s'effectue par un dynamomètre.

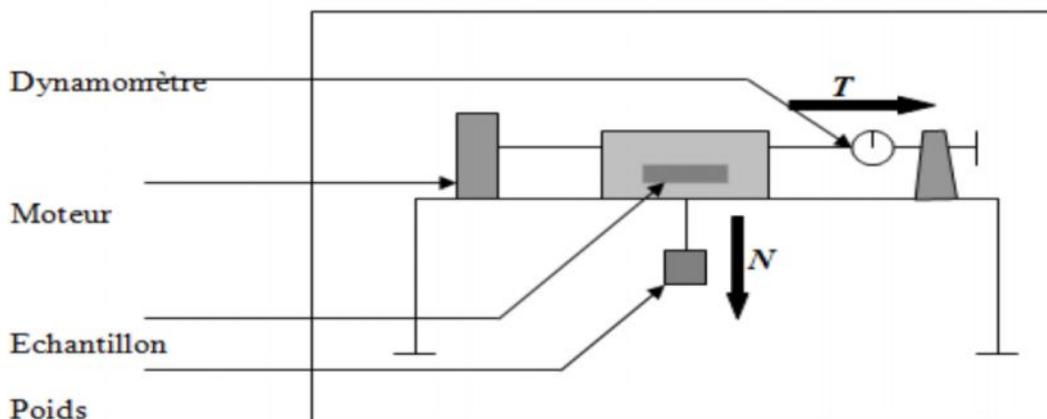


Figure III.20: Schéma de disposition

III.4.3. Principe d'essai

Nous essayons d'obtenir l'échantillon suivant un plan imposé, l'échantillon à la forme d'une plaque carrée ($6 \times 6 \times 2\text{cm}^3$) est placé entre deux demi boîtes indépendantes. On applique un effort N de compression et un effort T de traction suivant le plan de symétrie de la boîte (Figure III.21).

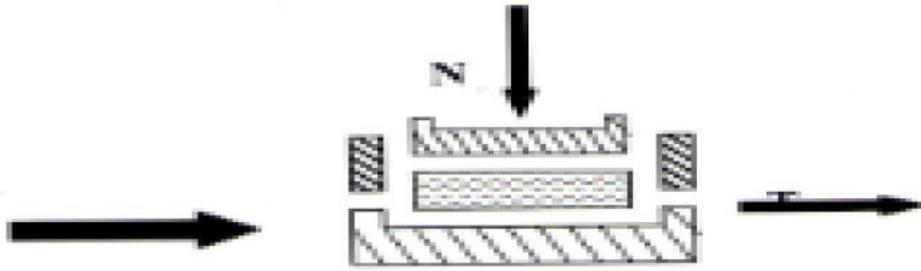
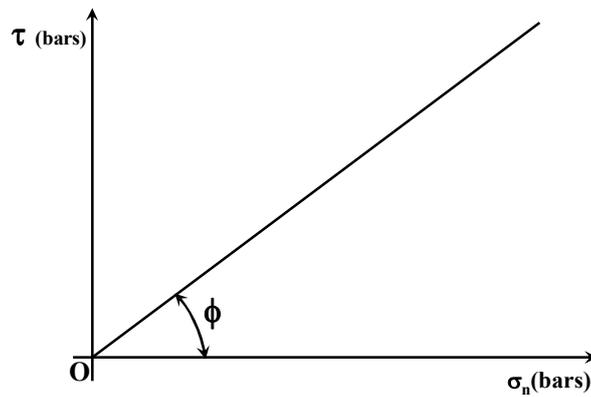
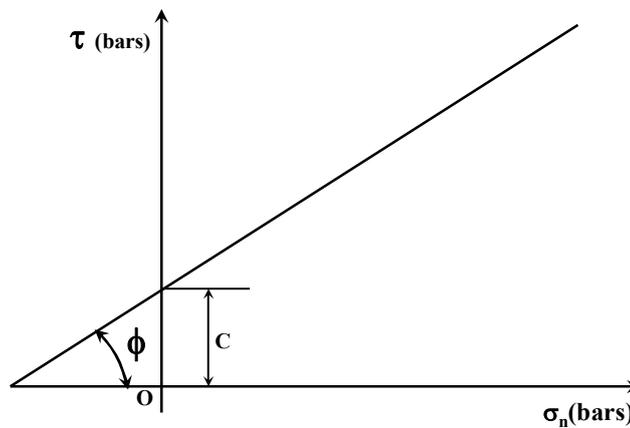


Figure III.21: Plan de la contrainte normale et tangentielle.

La connaissance de N et T permet la détermination d'un point de la courbe intrinsèque. En répétant plusieurs fois l'expérience, on peut ainsi tracer la courbe intrinsèque du sol appelé droite de Coulomb ou Mohr-Coulomb. La courbe intrinsèque du sol qui sépare le domaine plastique dépend de la nature du sol, on distingue (Figure III.22):



Courbe intrinsèque des sols pulvérulents



Courbe intrinsèque des sols cohérents

Figure III.22: Détermination de C et ϕ .

III.4.5. Mode opératoire

- La surface initiale de la boîte: $6 \times 6 \times 2 = 72\text{cm}^3$

- La surface corrigée: $(L - \Delta L) \times L$

$\Delta L = \Delta L_{pic} = \text{vitesse de déformation} \times \text{temps} = \text{Déformation} \times \text{temps}$

N.B: La vitesse de déformation appliquée est fixe durant tout l'essai.

Les sols pulvérulents: **1mm/min**

Les sols cohérents UU (non consolidé non drainé) ou CU (**Consolidé non drainé**): **1.5mm/min**

T = Lecture de comparateur et ont convertie dans un tableau qui correspond d'après la fiche technique de l'appareil.

La contrainte de cisaillement **T** est égale au rapport de l'effort tranchant **T** appliqué à la boîte à celui de la surface corrigée ($A_{corrigée}$) soit $\tau = T/A_{corrigée}$.

Pour tracer la courbe intrinsèque du sol (Droite de Coulomb), il est nécessaire d'avoir au moins deux points. Pour plus d'exactitude refaire l'essai autant de fois que possible pour avoir le maximum de point. En vue de déterminer la quantité de matériau correspondant aux différents états de sols, on calcule e en fonction de D_r , e_{min} et e_{max} .

$$D_r = \frac{(e_{max} - e)}{(e_{max} - e_{min})} \Rightarrow e = e_{max} - D_r * (e_{max} - e_{min})$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + e}$$

$$\gamma_d = \frac{W_{sol}}{V_{moule}} \Rightarrow W_{sol} = \gamma_d * V_{moule} \text{ (Le volume du moule est } 72\text{cm}^3\text{)}.$$

III.5. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'étude des paramètres d'identification, afin de mieux présenter les aspects physiques des matériaux étudiés. Ils présentent une grande importance pour l'étude expérimentale des mélanges sable-kaolin que nous verrons dans la suite de ce travail.