



*Université de Ghardaïa*

N° d'ordre :  
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département des Sciences et Technologie

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologies*

**Filière :** *Hydraulique.*

**Spécialité :** *Hydraulique urbaine.*

**Par :** **BENRAHAL Kenza et BOUHAMIDA Meriem**

**Thème**

**Influence de la nature de l'eau sur certaines caractéristiques géotechnique des mélanges de la région de Ghardaïa**

**Soutenu publiquement le : 21/06/2018**

**Devant le jury :**

**CHEBIHI Lakhdar**

Univ. Ghardaïa

**Président**

**DAHEUR Elhadj Gusmia**

Univ. Ghardaïa

**Examineur**

**SAITI Aissam**

Univ. Ghardaïa

**Examineur**

**AZZOUZ Fatima Zohra**

Univ. Ghardaïa

**Encadreur**

**AMIEUR Abed Anacer**

Univ. Ghardaïa

**Co-Encadreur**

**Année Universitaire : 2017/2018**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail en premier lieu à mes chers parents, ma cher grand-mère, mes frères (Mouhamed, Ben Abdel Sahe, Yacine Abou Elkaceme), belles sœurs (Hadda El djalissa et Aicha).*

*À toute la famille Bouhamida, mes oncles et leurs fils.*

*À tous mes enseignants.*

*À tous mes chers amis (Hinde, Kawther, Om Elkhire, Amel, Nawal, Habiba, Kanza, Djallila, Djhade, Nouer Elhouda, Souad, Fatima, Ibrahim, Abdelhakim, Abdelraouf, Yacine, Elsaarbi, Abdelshadi, Ahmed, Abdelrazzake, Mouhamed, Messacoude Djassel, Abdelkateh, Yazid, Lidane, Saleh).*

*À la promo de la 2ème année Master Hydraulique.*

*À tous ceux et toutes celles qui ont été disponibles pour répondre à mes questions à ce travail.*

*Meriem Bouhamida*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste mémoire qui est la conséquence de longues années d'études, en premier lieu à :*

*Ma très chère MERE, à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien afin de me voir parvenir à ce que je suis devenu aujourd'hui.*

*Mon cher PERE qui m'a donnée la volonté de réaliser et de finir ce travail.*

*A mes très chère sœur Kaoutar.*

*A mes très chers frères Moussa et Younes.*

*A mon chère cousine Kholoud.*

*Je dédie également ce travail à tous mes amis (Hinde, Nawal, Haliba, Mereim, Djallila, Djhade, , Souad, Yacine, Elaarbi, Abdelhadi, Ahmed, Abdelrazzake, Mouhamed, Messaoud, Djallel, Abdelfatch, ,).*

*A la promo de la 2<sup>ème</sup> année Master Hydraulique Urbaine.*

*avec lesquels je partage tous les souvenirs inoubliables.*

**BENRAJAL Kenza**

# *Remerciement*

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : **AZOUZ Fatima Zohra**, son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nous remercions également Mr. **AMIEUR Abed Anacer** Directeur technique dans LTPS, Ghardaïa pour l'effort qu'ils ont déployés, pour nous aider.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions aussi tout le corps enseignant et administratif de la faculté des Sciences et de la Technologie qui ont contribué à notre formation universitaire.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis pour le tout soutien moral et matériel...

## LISTE DES TABLAUX :

N°	titre	page
Tableau I-1	Interprétation des résultats de perméabilité.....	24
Tableau II-1	Types d'appareillages utilisés pour les différentes analyses.....	34
Tableau II-2	Types de solution et produite utilisés pour les différents analyses.....	34
Tableau III -1	Climatologie de Ghardaïa 2016.....	40
Tableau III -2	Essais d'identification des deux argiles et de sable de dune.....	42
Tableau III-3	Analyse chimique des argiles étudiées.....	42
Tableau III-4	Les paramètres trouver de l'essai au bleu à la tâche.....	43
Tableau III-5	Valeur de bleu des quelques sols.....	44
Tableau III-6	La classification par CaCO <sub>3</sub> de quelques sols.....	45
Tableau III-7	Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique D'Argile Bouhraoua et Oued Nechou.....	47
Tableau III-8	Résultats des essais des limites pour les deux argiles.....	48
Tableau III-9	Analyse chimique du sable de dune étudié.....	50
Tableau III-10	Paramètres d'identification de sable étudiées.....	51
Tableau III-11	Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune.....	52
Tableau III-12	Résultats des essais des limites pour les deux mélanges.....	53
Tableau III-13	Résultats des essais de bleu méthylène pour les mélanges.....	54
Tableau III- 14	Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique pour les deux mélanges.....	56
Tableau III-15	Caractéristiques physico-chimique des quatre types utilisé dans notre étude.....	58
Tableau IV-1	Valeurs des limites d'Atterberg des échantillons.....	67
Tableau IV-2	Valeurs de coefficient de perméabilité selon le type d'eau.....	76
Tableau IV-3	Valeurs de coefficient de perméabilité selon le type d'eau.....	77
Tableau IV-4	Tableau récapitulatif générale des caractéristiques de mélange (30%ArgileBouhraoua+70% Sable de dune) en fonction des types d'eau.....	79
Tableau IV-5	Tableau récapitulatif générale des caractéristiques de mélange (30%Argile Oued Nechou+70% Sable de dune) en fonction des types d'eau...	80

## LISTE DES FIGURE :

N°	titre	Page
Figure I-1	La courbe granulométrique.....	5
Figure I-2	Etat liquide.....	6
Figure I-3	Etat plastique.....	7
Figure I-4	Etat solide avec retrait.....	7
Figure I-5	Etat solide sans retrait .....	8
Figure I-6	Schéma de la consistance d'un sol.....	9
Figure I-7	L'équivalent de sable.....	11
Figure I-8	Schéma du dosage de l'essai bleu méthylène.....	12
Figure I-9	Courbe de l'essai du Proctor.....	14
Figure I-10	Détermination du droit intrinsèque d'un sol.....	18
Figure I-11	Schéma perméamètre à Charge constant.....	22
Figure I-12	Schéma perméamètre à Charge variable.....	23
Figure III-1	Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.....	37
Figure III-2	Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.....	38
Figure III-3	Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.....	39
Figure III-4	Courbe granulométrie des Argiles utilisé.....	46
Figure III-5	Diagramme de Casagrande pour les argiles.....	49
Figure III-6	Courbe granulométrie de sable de dune.....	52
Figure III-7	Diagramme de Casagrande pour les mélanges.....	53
Figure III-8	Courbe granulométrie pour les mélanges (Bouhraoua, Oued Nechou).....	55
Figure IV-1	Histogrammes montrant la variation de la limite de liquidité en fonction de type d'eau.....	62
Figure IV-2	Histogrammes montrant la variation de la limite de plasticité en fonction de type d'eau.....	63
Figure IV-3	Histogrammes montrant la variation de l'indice de plasticité en fonction de type d'eau.....	64
Figure IV-4	Histogramme montrant la variation de la limite liquidité en fonction de type d'eau.....	65
Figure IV-5	Histogramme montrant la variation de la limite plasticité en fonction de type d'eau.....	65
Figure IV-6	Histogramme montrant la variation de l'indice de plasticité en fonction de type d'eau.....	66
Figure IV-7	Histogramme montrant la variation de la densité sèche en fonction de type d'eau.....	68
Figure IV-8	Histogramme montrant la variation de la densité sèche en fonction de type d'eau.....	69
Figure IV-9	Histogramme montrant la variation de l'indice CBR immédiat en fonction de type d'eau.....	70
Figure IV-10	Histogramme montrant la variation de l'indice CBR immédiat en fonction de type d'eau.....	71
Figure IV-11	Histogramme montrant la variation de la cohésion en fonction de type d'eau.....	72
Figure IV-12	Histogramme montrant la variation de la cohésion en	

fonction de type d'eau.....	73
Figure IV-13 Histogramme montrant la variation de l'Angle de frottement en fonction de type d'eau.....	74
Figure IV-1 Histogramme montrant la variation de l'Angle de frottement en fonction de type d'eau.....	75

## LISTE DES PHOTOS

N°	titre	page
Photo I-1	Appareille de tamisage.....	4
Photo I-2	Appareille de casagrande.....	6
Photo I-3	Appareille de l'essai Proctor modifie.....	15
Photo I-4	La dame de Proctor normal.....	15
Photo I-5	Moule de Proctor normal.....	15
Photo I-6	Appareille de l'essai CBR.....	17
Photo I-7	Appareille de l'essai cisaillement direct.....	20
Photo I-8	Appareille de l'essai de perméabilité .....	24
Photo III-1	Massif du site Oued Nechou.....	40
Photo III-2	Massif du site Bouhraoua.....	40
Photos III-3	Sable de dune du site Sabsab.....	40

## Liste des abréviations

<b>W<sub>L</sub></b>	Limite de liquidité.
<b>W<sub>P</sub></b>	Limite de plasticité.
<b>I<sub>P</sub></b>	Indice de plasticité.
<b>At</b>	Argiles très plastiques.
<b>Ap</b>	Argiles peu plastiques.
<b>Lt</b>	Limons très plastiques.
<b>Lp</b>	Limons peu plastiques.
<b>V<sub>b</sub></b>	Valeur de bleu.
<b>SST</b>	Surface spécifique totale.
<b>DBO<sub>5</sub></b>	La demande biologique d'oxygène
<b>DCO</b>	La demande chimique d'oxygène
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	Teneur en carbonate de calcium.
<b>LCPC</b>	Laboratoire central des ponts et chaussées.
<b>ES</b>	Equivalent de sable.
<b>Cc</b>	Coefficient de courbure.
<b>Cu</b>	Coefficient d'uniformité.
<b>CBR</b>	Californian Bearing Ratio.
<b>ICBR<sub>imed</sub></b>	Indice CBR immédiat
<b>Φ</b>	Angle de frottement.
<b>LTPS</b>	Laboratoire des travaux publics du sud.
<b>SA</b>	Sable et Argile
<b>SM</b>	Silt et Mélange
<b>C</b>	Terme de cohésion.
<b>Σ</b>	Contrainte normale.

# SOMMAIRE

Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Signale et abréviations.....	V
Introduction Générale.....	1

## *Premier partie : Partie théorique*

### *CHAPITER I : Les essais géotechniques des sols.*

I-1-Introductin.....	3
I-2-Analyse granulométrique.....	3
I-2-1-Analyse granulométrique par tamisage.....	3
I-2-2-Analyse granulométrique par sédimentation.....	4
I-3-Les limites d'Atterberg.....	6
I-4-L'équivalent de sable.....	10
I-5-Essai au de bleu méthylène.....	11
I-6-Essai Proctor.....	12
I-7-Essai CBR.....	15
I-8-Essai de cisaillement direct.....	17
I-9-Essai de perméabilité (NFP -512-11).....	20
I-10-Conclusion.....	25

## ***CHAPITER II : Les paramètres physico-chimiques de l'eau.***

II-1-Introduction.....	26
II-2-Les paramètres physico-chimiques.....	26
II-2-1-1-Les paramètres physique.....	26
II-2-1-2-Température (T °C).....	26
II-2-1-2 Dureté.....	26
II-2-1-3 Résidu sec (RS).....	27
II-2-1-4-Turbidité.....	27
II-2-1-5-Conductivité électrique (CE).....	27
II-2-1-6-Résistivité électrique.....	28
II-2-2-Paramètres chimique.....	28
II-2-2-1-Le potentiel Hydrogène (PH).....	28
II-2-2-2-Le sulfate.....	29
II-2-2-3-Calcium (Ca <sup>2+</sup> ).....	29
II-2-2-4-Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ).....	29
II-2-2-5-Chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	29
II-2-3-Paramètres relatives ou pollution.....	30
II-2-3-1-La Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ).....	30
II-2-3-2-La Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	30
II-2-3-3-Matière en suspension (MES).....	31
II-2-3-4-Le Phosphore.....	31
II-2-3-5-L'azote.....	31
II-2-3-6-Les Nitrates (NO <sup>3-</sup> ).....	31
II-2-3-7-Les Nitrites(NO <sup>2-</sup> ).....	32
II-3-Mesure des paramétrés physico-chimiques.....	32
II-3-1-L'échantillonnage.....	32
II-3-2- Mesures en site.....	33
II-3-3-Mesures en laboratoire.....	33
II-4-Conclision.....	35

## *Deuxième partie : Partie Experimental*

### *CHAPITRE III: Etude d'indentification.*

III-1- Introduction.....	36
III-2-localisation des sites.....	36
III-2-1-Argile Bouhraoua .....	36
III-2-2- Argile Oued Nechou.....	37
III-2-3- Sable dune.....	38
III-3-Climatologie de Ghardaïa.....	40
III-4-Geologie de la région.....	41
III-5-Essai d'identification.....	41
III-5-1-Identification et classification des argiles.....	42
III-5-1-1-Analyse chimique.....	42
III-5-1-2-Essai ou bleu de méthylène.....	42
III-5-1-3-Teneur en carbonate de calcium.....	44
III-5-1-4-Analyse granulométrique.....	45
III-5-1-5-Essai Limite Atterberg.....	48
III-5-2-Identification et classification de Sable de dune.....	49
III-5-2-1-Analyse chimique.....	49
III-5-2-2-Analyse granulométrique.....	50
III-5-2-3-Equivalon de sable.....	50
III-5-2-4-Bleu de Méthylène.....	50
III-5-3-Identification et classification des mélanges.....	53
III-5-3-1-Essai Limite Atterberg.....	53
III-5-3-2-Essai Blue Méthylène.....	54
III-5-3-3-Essai granulométrique.....	55
III-6-Les caractéristiques physico-chimiques.....	57
III-7-Conclision.....	59

## ***CHAPITRE IV: Influence de la nature de l'eau sur les caractéristiques du sol***

IV-1-Introductin.....	60
IV-2-Choix des matériaux a étudié.....	60
IV-3-Etude de l'influence de la nature de l'eau sur les caractéristiques de sol.....	61
IV-3-1- Influence de la nature de l'eau sur Les limites d'Atterberg.....	61
IV-3-1-1-Influence des types d'eau sur la limite de mélange Bouhraoua.....	62
IV-3-1-2-Influence des types d'eau sur la limite de mélange d'Oued Nechou....	65
IV-3-2-Influnece de la nature de l'eau sur les Essai Proctor Modifié.....	67
IV-3-3-Influnece de la nature de l'eau sur les Essai CBR (immédiat).....	70
IV-3-4-Influnece de la nature de l'eau sur les caractéristiques de cisaillement...	71
IV-3-5-Influnece de la nature de l'eau la perméabilité.....	75
IV-3-5-1-Influence de la nature de l'eau sur la perméabilité de mélange (70%Sable de dune +30%Argile Bouhraoua) .....	76
IV-3-5-2- Influence de la nature de l'eau sur la perméabilité de mélange (70%Sable de dune +30%Argile Oued Nechou).....	77
IV-4-Conclusion.....	81

**INTRODUCTION**

**GÉNÉRALE**

# Introduction générale

---

Dans le domaine des travaux publics ou les ouvrages (génie civil, hydraulique) le sol est considéré comme l'élément de base en termes de caractéristiques: si l'on parle du sol et de ses caractéristiques, l'eau est utilisée dans la plupart des essais liés aux caractéristiques du sol.

Cependant, l'eau utilisée dans ces essais est soit l'eau de robinet, soit l'eau distillée. Contrairement au champ pratique, l'eau utilisée peut être différente, elle se trouve sous plusieurs aspects et dans différentes conditions (caractéristiques physico-chimiques différentes).

Supposons que nous sommes dans des zones isolées, nous ne pouvons pas fournir l'eau de robinet et nous sommes obligés d'utiliser l'eau existante, donc le problème posé :

## **Est que la nature d'eau peut influencer sur les caractéristiques géotechniques de sol ?**

Dans ce cas notre étude est basée sur l'influence de la nature d'eau sur certaines caractéristiques géotechniques.

On a choisi cinq types d'essais géotechniques les plus utilisés, dans le domaine génie civil et l'hydraulique.

Notre travail consiste à étudier quelques caractéristiques géotechniques des deux mélanges optimaux (30% Argile Bouhraoua+70% Sable de dune Sebseb) et de (30% Argile Oued Nechou+70% Sable de dune Sebseb) en utilisant quatre types d'eau: Eau de robinet, Eau de Zelfana (Eau de la nappe phréatique), Eau de robinet+10% sel et l'eau épurée.

Le travail est divisé en deux parties à savoir :

- ❖ **Une recherche bibliographique** : elle permet de récolter les différentes informations et définitions ainsi que les essais faites par les chercheurs, cette partie est divisée en deux chapitres :
  - Le premier chapitre concerne les essais géotechniques du sol ;
  - Le deuxième chapitre se traite sur propriétés physico-chimiques de l'eau.
- ❖ **Une étude expérimentale** : elle concerne l'étude des cas pratiques, elle est divisée en deux chapitres :
  - Le premier chapitre concerne l'identification des matériaux utilisés dans cette étude ;

## Introduction générale

---

- Le deuxième chapitre concerne de l'influence la nature d'eau sur les caractéristiques géotechniques du sol, ainsi que l'interprétation et la discussions des résultats ;

En fin une conclusion générale, sur l'ensemble de travail qui permet de résumer les différents résultats obtenus à partir des expérimentations faites et de tirer des recommandations pour des futures exploitations.

**PARTIE I**  
**THEORIQUE**

**CHAPITRE I**  
**LES ESSAIS GEOTECHNIQUES**  
**DES SOLS**

## **I-1-INTRODUCTION :**

Les essais utilisés nous aident à la caractérisation des sols, c'est-à-dire à la description de la composition des sols et à la détermination de leurs propriétés physico-chimique.

La détermination de ces caractéristiques constitue une des premières étapes de la campagne de reconnaissance géotechnique ; elles permettent de déterminer à quelle famille de terrains appartient le sol d'assise et peuvent donner des informations, par corrélations, sur certaines de ces propriétés hydrauliques et mécaniques. Les essais qui constituent cette série sont effectués au laboratoire sur des échantillons de sol prélevés sur place.

Le premier chapitre de cette mémoire porte donc sur la mesure et la description des caractéristiques géotechniques des sols, notions indispensables pour classer les sols et prévoir leur comportement.

## **I-2-Analyse granulométrique :**

### **Définition :**

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau.(**LCPC 1973**)

### **I-2-1-Analyse granulométrique par tamisage :**

#### **Objet :**

L'essai consiste à laver les granules du matériau puis leur poids est distribué par une série de tamis après séchage le refus de chaque tamis.(**Ishak 2016**)

#### ***Mode Opératoire :***

Procéder à un quartage afin que l'échantillon soit représentatif, ensuite procéder à une prise d'essai conformément à la formule :  $200D < P < 600D$ , avec D : diamètre moyen estimé du plus gros grain.

- Peser l'échantillon dans un récipient ;

- Imbiber l'échantillon dans un récipient ;
- Eliminer les fines par lavage continu (tamis 0.08 mm) ;
- Tamiser l'échantillon avec lavage en versant ce dernier au sommet d'une série de tamis et en les agitant ;
- Recueillir le refus de chaque tamis puis les sécher dans une étuve réglée à 105 c° pour les matériaux insensibles à la chaleur et à 50 c° pour ceux sensible à la chaleur ;
- Peser le refus de chaque tamis dans une balance de portée pesant au g près et compatible avec les masses à peser ;
- Rapporter les pois des différents refus au poids initiaux de matériau ;
- Calculer les pourcentages des tamisas ;
- Etablir la courbe granulométrique.(Ishak 2016)



*Photo I-1-Appareille de tamisage.*

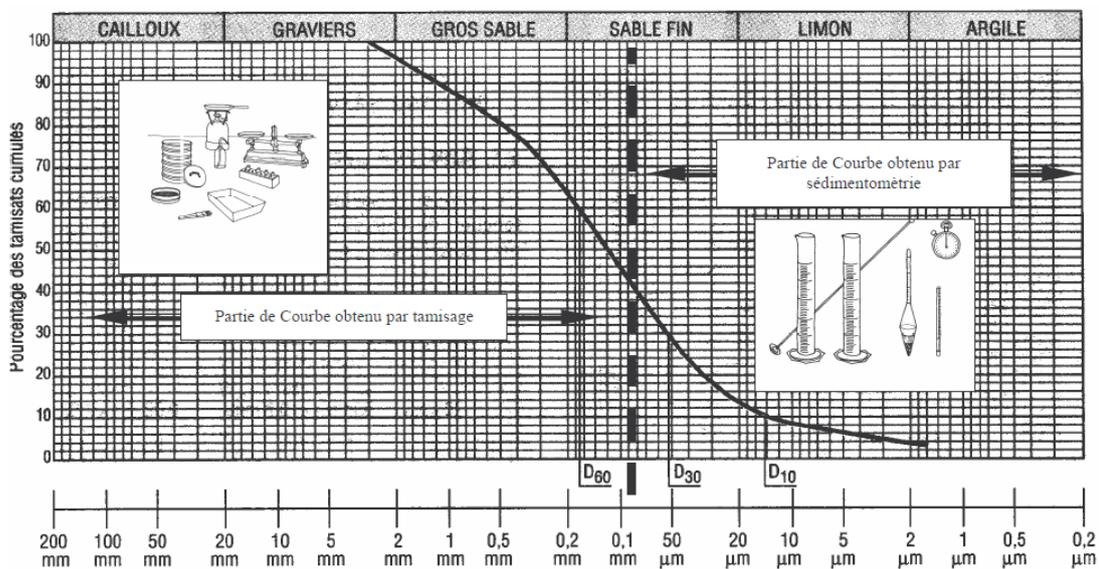
### **I-2-2-Analyse granulométrique par sédimentation :**

#### **Objet :**

La sédimentometrie, pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimension inférieure à 0.08 mm (LCPC 1973)

**Mode Opératoire :**

- Tamiser l'échantillon de sol par lavage (passant au tamis 0.08 mm), et récupérer le tamisât ;
- Sécher l'échantillon dans une étuve jusqu' au poids constant ;
- Préparer la prise d'essai de 80 g + 10g de tamisât sec ;
- Pilonner l'échantillon, et le tamiser au 0.08mm, puis prendre 80g ;
- Imbiber la prise d'essai dans une éprouvette cylindrique en verre de 2 litre contenant un mélangeur d'eau distillée ou déminéralisée et une solution à 5% d'hexamétaphosphate de sodium ( $\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6, 10\text{H}_2\text{O}$ ) ;
- Laisser imbiber pendant au moins 15 heures à température ambiante ;
- Agiter vigoureusement la suspension au moyen d'un agitateur manuel ;
- Retirer l'agitateur manuel et déclencher au même instant le chronomètre (début de l'essai) ;
- Plonger le thermomètre et le densimètre avec précaution dans la suspension immédiatement après le déclenchement du chronomètre ;
- Procéder à la prise des lecteurs du densimètre et de la température aux temps suivant (en minutes) : 0.5-1-2-5-10-20-80-240-1440 ;
- Calculer le pourcentage des tamisats et complète la courbe granulométrique.(Ishak 2016)



**Figure I-1-La courbe granulométrique.**

**I-3-Les limites d'Atterberg (NFP 94-051) :****Objet :**

Son but est la détermination l'état du sol.

**Définition :**

En fonction de la teneur en eau, un sol remanié se présente suivant des consistances variables pour lesquelles on peut distinguer quatre états : liquide, plastique, solide avec retrait et solide sans retrait. En réalité, le sol passe graduellement d'un état à l'autre et les frontières respectives ne sont définies que conventionnellement par les limites d' Atterberg. (LCPC 1973)

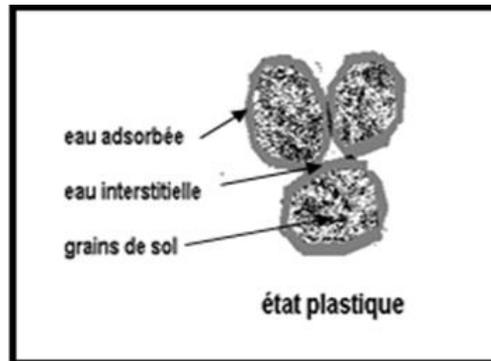


L'état liquide caractérisée par :

- Consistance de sol très faible.
- Il a l'aspect d'un fluide, il tend à s'écouler et se niveler suivant l'horizontale.
- Les grains sont indépendants les uns de l'autre.

**b)-Etat plastique :**

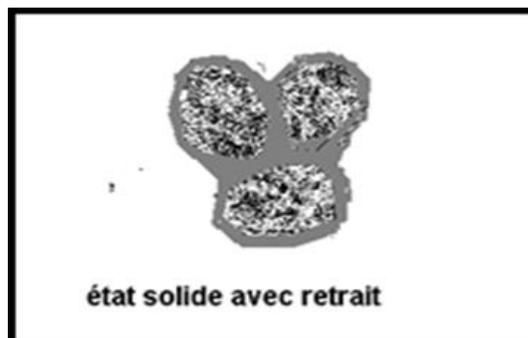
- Consistance plus importante ne tend plus à se niveler lorsqu'il est soumis à des faibles charges, il se déforme sans se rompre.
- Les grains se sont rapprochés et ont mis en commun leurs couches adsorbées.



*Figure I-3-Etat plastique.*

**c)-Etat solide avec retrait :**

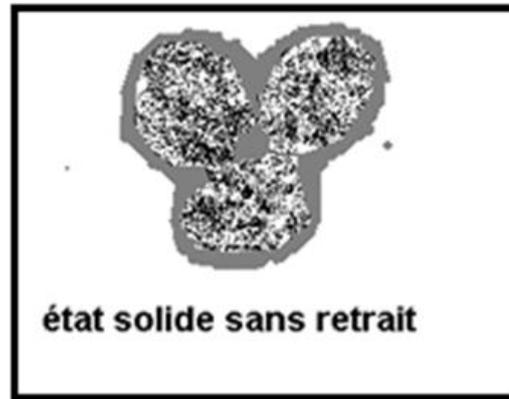
- Déformabilité du sol est beaucoup plus faible.
- Perd une partie de son eau interstitielle.



*Figure I-4-Etat solide avec retrait.*

**d)-État solides sans retrait :**

La déformabilité du sol diminue encore et il ne change plus de volume quand sa teneur en eau diminue, les grains sont encore plus près les uns des autres et arrivent même au contact en quelques points.



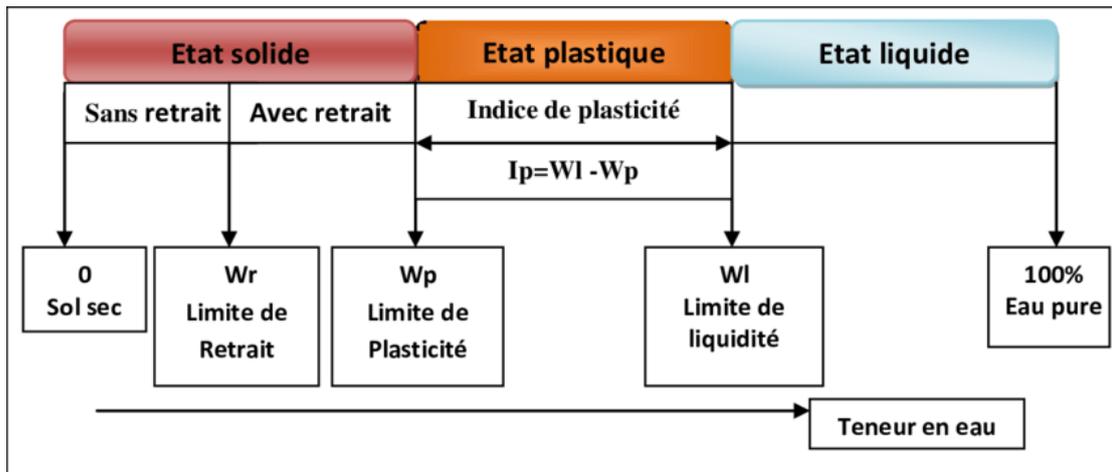
*Figure I-5-Etat solide sans retrait.*

WL: limite de liquidité (wl): teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique

WP : limite de plasticité (wp): teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.

IP : indice de plasticité: différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique.

$$IP = WL - WP$$



*Figure I-6-Schéma de la consistance d'un sol.*

**Mode Opératoire :**

- Procéder à un quartage afin que l'échantillon soit représentatif ;
- Imbiber l'échantillon dans un récipient ;
- Tamiser l'échantillon au tamis de 0.40 mm (passant 0.40 mm), et récupérer le tamisât ;
- Sécher le matériau dans une étuve réglée à 105 c° pour les sols non gypseux et à 55 c° pour les sols gypseux ;
- Placer l'échantillon de sol dans la coupelle et tracer un sillon avec l'outil à rainurer. Par convention, la limite de liquidité est la teneur en eau du matériau qui correspond à fermeture de 1 cm des lèvres de la rainure après 25 chocs.
- Prélever à l'aide d'une spatule deux échantillons des levers de la rainure dans des godets qu'on pèse puis le porter à l'étuve ;
- Calculer la limite de liquidité.
- Limite de plasticité p :

A partir d'une boulette qu'on roule, sur un marbre, à la main, en forme un rouleau aminci jusqu' à 3 mm de diamètre sur une longueur de 10 à 15 cm.

La limite de plasticité est atteinte lorsque le rouleau soulevé par le milieu de 1 à 2 cm se fissure.

- Prélever les échantillons qu'on pèse puis on les porte à l'étuve ;
- Peser l'échantillon après séchage ;

- Déterminer la limite de plasticité ;
- Calculer l'indice de plasticité :  $IP = WL - WP$

#### **I-4-L'équivalent de sable (NFP 18-598) :**

##### **Définition :**

L'équivalent de sable est le rapport entre les hauteurs, la hauteur de la partie sédimentée (grains solides) et la hauteur totale (hauteur de flocculat plus la hauteur de la partie sédimentée), multiplié par 100. (Noel 2011)

##### **Objet :**

L'essai est utilisé pour déterminer le pourcentage des éléments fins dans le matériau.

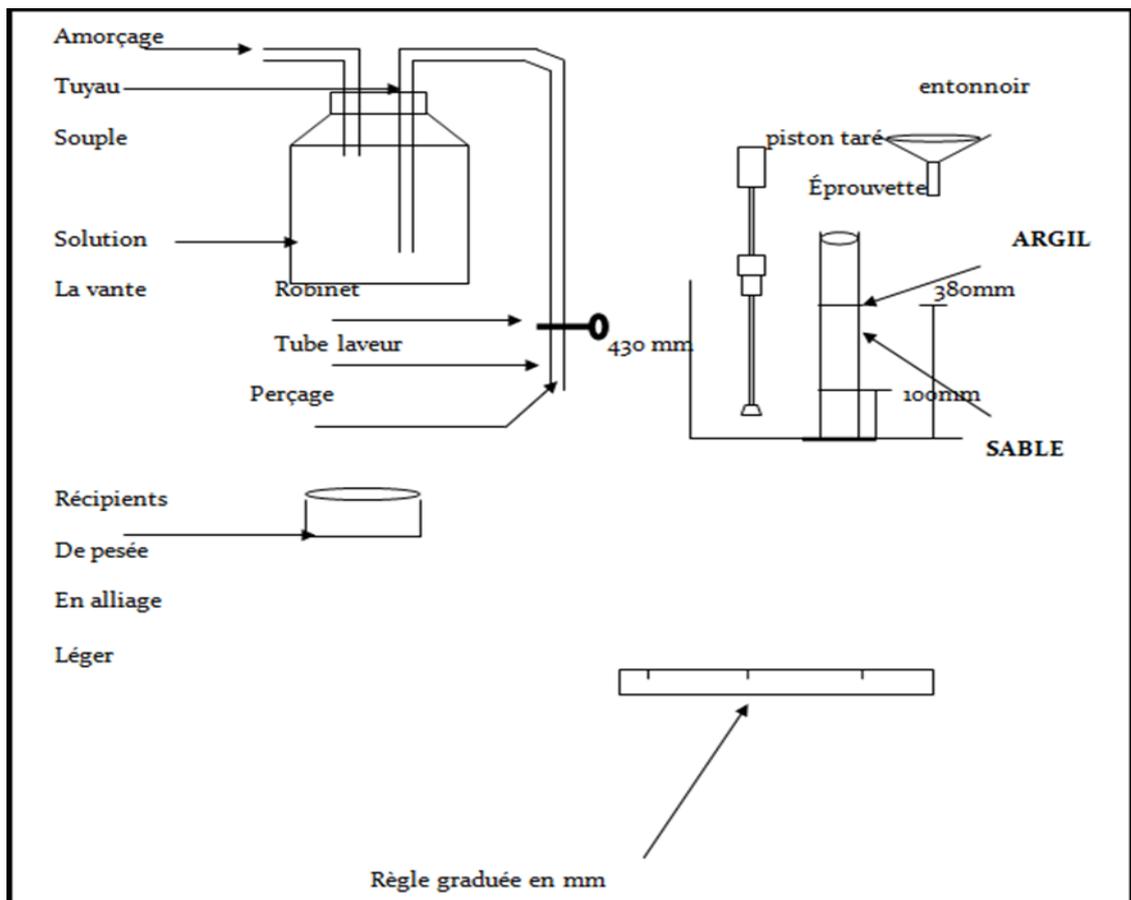
##### **Principe :**

Sédimentation du matériau dans une solution lavant.

##### **Mode Opérateur :**

- Faire passer l'échantillon du sol par l'échantillonneur, dans le but de l'homogénéiser.
- Amorcer le siphon puis siphonner la solution lavant dans l'éprouvette cylindrique jusqu'à la hauteur du trait de repère inférieur, c'est à dire  $h = 10$  cm.
- Verser la mesure de l'échantillon (environ 120g) de sol, au préalable peser à la balance.
- Taper la base du cylindre fortement sur la paume de la main pour évacuer les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon, puis laisser reposer pendant 10 mn.
- Les 10 mn passées, on ferme l'éprouvette à l'aide du bouchon à liège avant de la secouer puis on met cette dernière sur la machine d'agitation pour le faire subir 90 cycles en 30 secondes environs tout en sachant qu'un cycle représente un aller-retour (un conteur intégré dans la machine nous indique le nombre de cycle), et que le travail se fait avec les avant-bras.
- Laver bien le sable en effectuant des montées et des descentes, en tournant l'éprouvette de même qu'en roulant le tube laveur entre les doigts. Dès que le niveau du liquide atteint le trait de repère supérieur ( $h=38$  cm), on ressort lentement le tube sans arrêt de l'écoulement pour maintenir le volume intact au niveau du trait supérieur.
- Laisser reposer pendant 20 mn.

- Au bout de ces 20 minutes, mesurer à l'aide de la règle graduée le niveau en haut de la suspension c'est à dire du floculat par rapport au fond et le noter H1. Puis procéder à la mesure de la hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée toujours par rapport au fond, on la note H2.
- Descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose parfaitement sur le sédiment. Une fois en contact avec le sédiment, immobiliser le manchon coulissant. Lire la hauteur HP au niveau de la face supérieur du manchon.



*Figure I-7-L'équivalent de sable.*

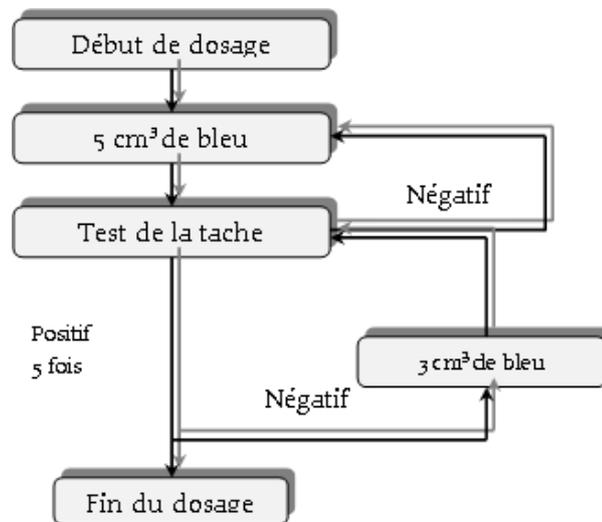
### **I-5-Essai au de bleu méthylène (NFP 94-068):**

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins du sol à adsorber du bleu de méthylène, cette capacité d'adsorption rend compte globalement de l'activité de

surface des argiles (c à d de leur surfaces spécifiques) qu'il contient d'avantage d'argile. Le test est dit positif si dans la zone humide, il apparaît autour du dépôt central une auréole bleu clair celle-ci traduit le début d'excès de bleu dans la suspension et donc la saturation des particules argileuses du sol

**Mode Opérateur :**

- Additions successives de bleu à grands pas (5cm<sup>3</sup> à 5cm<sup>3</sup>) suivies immédiatement du test de la tache
- Additions successives de bleu à pas fins (2 cm<sup>3</sup> à 2 cm<sup>3</sup>) suivies toujours immédiatement du test de la tache
- Fin de dosage : répétition de minute en minute du test de la tâche qui doit rester positif pendant 5 min consécutives.



**Figure I-8-Schéma du dosage de l'essai au bleu.**

**I-6-Essai Proctor (Norme NF P 94-093) :**

**Définition :**

C'est l'ensemble des opérations mécaniques qui conduisent à accroître la densité en place d'un sol. Il augmente la compacité du sol, donc réduit ses possibilités de déformation et

améliore sa capacité portante. Il agit en réduisant presque instantanément le volume du sol, essentiellement par réduction de volume des vides remplis d'air.

Le compactage est gouverné par quatre facteurs :

- Le poids volumique sec du sol.
- La teneur en eau du sol.
- L'énergie de compactage.
- Le type de sol .

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

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale ( $\omega$ ) pour un sol de remblai donné et à laquelle doit être compactée cette sol pour obtenir la densité sèche maximum ( $\gamma_d$ ) et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

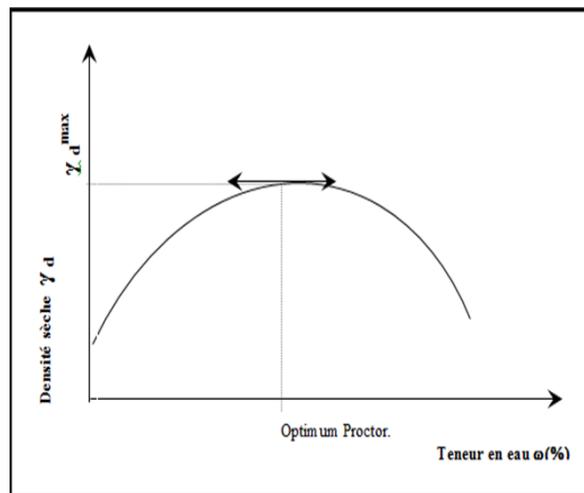
Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir des essais dits : Essai Proctor normal est réalisé en trois couches de plus ou moins 4 cm d'épaisseur qui reçoivent chacune 25 coups, ou Essai Proctor modifié est réalisé en cinq couches de plus ou moins 2,5 cm d'épaisseur qui reçoivent chacune 56 coups. (**Ishak 2016**)

### **Mode Opératoire :**

Le matériau à étudier est tamisé « granulométrie < 20mm par tamisage ».

- Prendre environ 5,5Kg de notre matériau
- Ajouter pour chacun une quantité d'eau pour avoir le teneur en eau (6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18%).
- Placer la hausse sur le moule et donner 55coups pour chaque couche.
- Compacter le sol en trois 05 couches de marnes à avoir la dernière débordant légèrement le haut de moule.
- Enlever la hausse et araser soigneusement le haut du moule.
- Peser le moule avec le sol.
- On prend de chaque cotés (au-dessus et au-dessous) de ce moule une quantité (environ de 150g) pour la détermination de la teneur en eau.

- Répéter l'essai pour des teneurs en eau croissante.
- Mettre les tares dans l'étuve de 105°C pendant 24heures.
- On fait l'essai 3 fois.
- Après compactage, on pèse le moule et on détermine la teneur en eau du matériau, ce qui permet de calculer le poids volumique sec. Le résultat de l'essai se traduit par un point de la courbe.
- Après ces calculs on passe à la construction de la courbe représentative de la variation du poids volumique sec  $\gamma_d$  en fonction de la teneur en eau  $f(\omega) = \gamma_d$  (voir la courbe) et on tire  $\gamma_{dmax}$  et  $\omega_{opt}$ . (Ishak 2016)



*Figure I-9-Courbe de l'essai du Proctor.*



*Photo I-3-Apparaille de l'essai Proctor modifié.*



*Photo I-4-La dame de Proctor normal.*



*Photo I-5-Moule de Proctor normal*

### **I-7-Essai de CBR (NFP 94-078) :**

#### **Objet :**

L'essai CBR dépend de la détermination de la résistance du poinçonnage d'un matériau immédiatement ou après immersion.

#### **Définition :**

L'essai permettant la détermination de : CBR immédiat d'un sol, CBR imbibé, indice portant immédiat (IPI).

Indice CBR après immersion, indice CRB immédiat : grandeur utilisée pour caractériser un sol, en tant que support ou constituant d'une structure de chaussée.

Indice portant immédiat IPI : grandeur utilisée pour évaluer l'aptitude d'un sol ou d'un matériau élaboré à supporter directement sur sa surface la circulation des engins de chantier.

**Mode Opératoire :**

- **L'exécution de l'essai :** il convient tout d'abord de choisir les différents ensembles de conditions d'état du sol (Masse volumique séchée, teneur en eau, état de saturation) pour lesquels on veut réaliser l'essai,

Lorsque la dimension maximale des éléments du sol à étudier est inférieure à 20 mm, l'intégralité du sol est soumise à l'eau

Si le sol contient des éléments supérieurs à 20 mm dans une proportion inférieure à 20%, ils sont éliminés par tamisage. L'essai est réalisé cette fraction.

Si le sol contient une proportion supérieure à 25% d'éléments supérieures à 20 mm, il ne se prête plus en règle à l'essai.

Pour chaque ensemble de conditions d'état considéré, il convient de préparer 5.5 Kg de matériau dans le cas où l'on recherche l'indice CBR immédiat ou l'IPI et 07 Kg de matériau dans le cas de l'indice CBR immersion.

Pour ce dernier le surplus du matériau restant après confection de l'éprouvette (soit 1 et 1.5 kg) est peser et séché à l'étuve pour détermination de la teneur en eau de confection.

- **Exécutions de poinçonnement :** Placer l'ensemble (plaque de base, moule, éprouvette) sur la presse en position centrée par rapport au piston de poinçonnement et procéder au poinçonnement de manière suivant :

Approcher, la surface supérieure de l'éprouvette vers le piston, jusqu'à ce que le piston vienne affleurer le matériau

Régler la mise à zéro du dispositif dynamométrique et celle du comparateur, mesurer l'enfoncement du poinçon

Exécuter le poinçonnement en maintenant la vitesse de pénétration à 1.27 mm / min

Enregistrer les lecteurs obtenus du poinçonnement.

L'éprouvette après son démoulage est pesée et introduite dans l'étuve pour déterminer la teneur en eau.

- **Résultats** : à partir de l'enregistrement de la courbe : l'indice recherché est par convention la plus grande de ces deux valeurs. (Ishak 2016)



*Photo I-6-Appareille de l'essai CBR.*

### **I-8-Essai de cisaillement direct :**

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

Il s'agit de déterminer expérimentalement la courbe intrinsèque d'un sol pulvérulent puis d'en déduire les paramètres de cisaillement qui permettent d'estimer par exemple la contrainte de rupture sous une fondation superficielle.

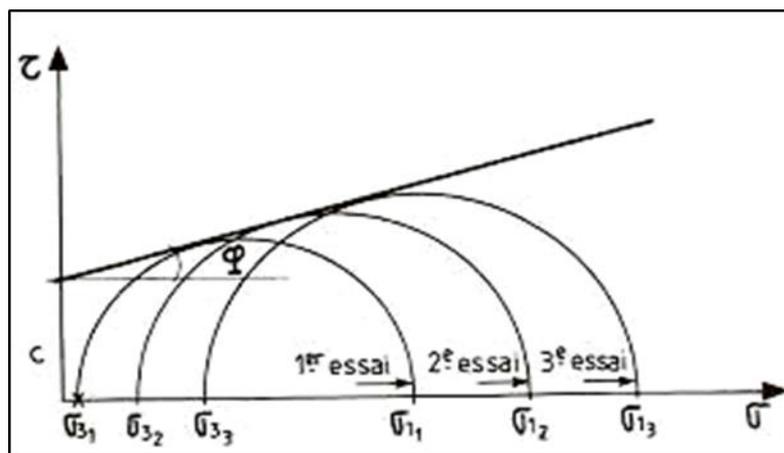
**Définition :**

Cet essai est probablement le plus ancien puisque Coulomb a utilisé une boîte de cisaillement, il y'a plus de 200 ans, pour déterminer expérimentalement les paramètres utilisés dans son équation.

L'essai est relativement simple. On confine l'échantillon dans une boîte formé de deux parties divisé par un plan horizontal .Une partie est fixe tandis que l'autre peut se mouvoir horizontalement. On applique une charge normale constante sur l'échantillon à l'aide d'un capuchon de chargement et on mesure, en cours d'essai, la force de cisaillement de même que les déformations horizontales et verticales. On peut ensuite calculer la contrainte de cisaillement et la contrainte normale. On ne doit pas oublier qu'avec cet appareil le plan de rupture est prédéfini. La résistance mobilisée par l'échantillon augmente jusqu'à atteindre une valeur limite ou l'échantillon commence à se rompre. Cette valeur représente la résistance au cisaillement maximal ou de pic.

L'essai de cisaillement direct comporte des avantages et des inconvénients, Essentiellement, l'essai est économique, rapide et simple, en particulier avec les matériaux granulaires.

Cependant il est difficile de contrôler les conditions de drainages, en particulier dans le cas des sols à grains fin.



*Figure I-10-Détermination du droit intrinsèque d'un sol.*

Trois types d'essais pourront être utilisés qui sont :

**a)-Essai consolidé - drainé (C.D) :**

L'essai C.D est toujours réalisable et permet de mesurer les paramètres  $\phi_d$  et  $C_d$ . L'échantillon est consolidé sous un effort  $N$  constant, dans des conditions similaires à celle de l'odomètre. La vitesse de cisaillement est de l'ordre de micron par minute, doit être choisie en fonction de la perméabilité du sol testé. L'essai peut, dans les cas les plus défavorables, durer jusqu'à une semaine. La saturation est assurée par immersion de la boîte, dès la phase de consolidation. (Ishak 2016)

**b)- Essai consolidé-non drainé (C.U) :**

Comme l'essai précédent, et pour les mêmes raisons, l'essai C.U ne convient que pour les sols de faibles perméabilités. La phase de consolidation est identique à celle de l'essai C.D (Ishak 2016)

**C)-Essai non consolidé-non drainé (U.U) :**

Cet essai ne peut convenir que pour étudier les sols peu perméables. Si ce n'est pas le cas, le drainage a le temps de s'effectuer partiellement pendant la phase de cisaillement, et les résultats obtenus ont tendance à se rapprocher de ceux de l'essai drainé. Même pour les matériaux peu perméables, il est important d'opérer très vite, et de choisir une vitesse de cisaillement élevée, de l'ordre de 1 mm/mn. (Ishak 2016)



*Photo I-7-Appareille de l'essai cisaillement direct.*

### **I-9-Essai de perméabilité:**

#### **Définition :**

L'essai de perméabilité consiste à mesurer le temps nécessaire à un volume de fluide pour parcourir la longueur de l'échantillon, sous une pression d'injection donnée (à charge constante) ou sous une pression d'injection variable (à charge variable).(géotechnologie)

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

L'essai a pour but de déterminer en laboratoire, le coefficient de perméabilité à l'eau du sol saturé. Ce coefficient encore appelé coefficient de Darcy, peut se déterminer suivant deux méthodes : à charge constante ou à charge variable décroissante.

***Principe de la méthode :***

L'essai consiste à soumettre au laboratoire, des éprouvettes de sols à un écoulement d'eau l'échantillon de sol sont soumises à une charge hydraulique connue, constante ou variable. On mesure alors la différence de hauteur d'eau qui traverse l'échantillon pendant un temps donné.

Les résultats obtenus servent à calculer le coefficient de perméabilité ou coefficient de DARCY.

***Mode Opératoire :*****• Préparation de l'échantillon :**

Reconstruire les conditions du sol en place au niveau du laboratoire, en remplissant le sol homogénéisé dans la perméamètre en couches fines, et compacter le matériau en appliquant une pression uniforme afin d'obtenir une densité bien déterminée, l'éprouvette peut être en préparée sous la condition de Proctor normal ou modifier ( $\gamma_d$  max, opm),

Araser le surplus avec une arase métallique, poser le seconde disque perforé et la toile à maille 0.08mm.

Fermer le perméamètre et les deux écrous à oreilles,

Régler l'appareillage, branché la tuyauterie, et remplir le réservoir d'eau. . (L'archives de LTPS, fich technique).

**• Saturation du système :**

- Placer le perméamètre dans la table du panneau,
- Connecter le robinet inferieur du panneau à l'orifice d'entrée du perméamètre, Pui l'orifice de sortie au réservoir de récupération de l'eau, (la circulation de l'eau dans l'échantillon doit être de façon ascendante),

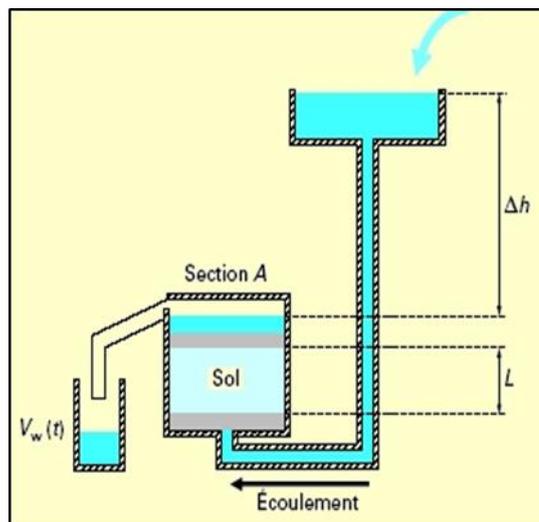
Ouvrir le robinet du réservoir d'eau, du panneau et de perméamètre,

- L'eau s'écoule dans l'échantillon, lorsqu'un régime permanent s'établie à la sortie de perméamètre, on peut considérer que l'échantillon est saturé,
- Fermer les robinets,

- *Déroulement de l'essai :*

**1)-Perméabilité à charge constante (sols grenus) :**

- Ouvrir les robinets du panneau et de perméamètre, et alimenter le tub piézométrique de manière à y maintenir constant le niveau de l'eau,
- Dès que le niveau d'eau dans le tube est stable, déclencher le chronomètre, après quelques minutes stopper le chronomètre et mesurer le volume d'eau sortant de perméamètre,
- Fermer les robinets et nettoyer le perméamètre.



*Figure I-11- Schéma perméamètre à Charge constant.*

**2)-Perméabilité à charge variable (sols fins) :**

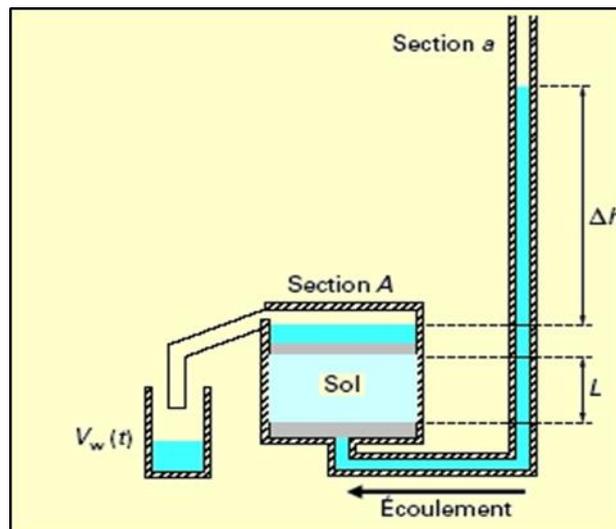
- Remplir le tub piézométrique jusqu'à le niveau 0, et fermer le robinet de réservoir,
- Ouvrir le robinet inférieur de panneau, de l'orifice d'entrée du perméamètre et déclencher le chronomètre, après certains temps stopper le chronomètre et relever le niveau sur le réglet,
- Fermer les robinets et nettoyer le perméamètre,

**CALCULS ET EXPRESSION DES RESULTATS :*****a)-Pour un essai à charge variable :***

Soit:

- $h_1$ : niveau initial de l'eau (100) dans le tube (ou charge hydraulique initiale).
- $h_2$ : niveau final de l'eau dans le tube (ou charge hydraulique finale).
- $t$ : tempe pour passer de  $h_1$  à  $h_2$
- $s$ : section du tube piézométrique ( $cm^2$ )
- $S$ : section de l'échantillon ( $cm^2$ )
- $L$ : hauteur entre les orifices d'entrée et de sortie du perméamètre
- $K$ : Coefficient de perméabilité ( $m/s$ )

$$\text{On a: } K = \left(\frac{L}{t}\right) \times \left(\frac{S}{s}\right) \times \text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$



**Figure I-12-** Schéma perméamètre à Charge variable

***b)-Pour un essai à charge constante:***

Soit:

- $h_0$ : niveau constant de l'eau (100) dans le tube(ou charge hydraulique constante)
- $V$ : Volume d'eau ayant traversé l'échantillon pendant le temps  $t$

- t: temps pour recueillir le volume d'eau.
- S: section de l'échantillon ( $cm^2$ )
- L: hauteur entre les orifices d'entrée et de sortie du perméamètre.
- K: Coefficient de perméabilité ( $m/s$ )

On a:  $k = (L/t) \times (V/S) / h_0$  (Archive de LTPS, fich technique)



*Photo I -8-Appareille de l'essai de perméabilité.*

*Tableau I-1- Interprétation des résultats de perméabilité :*

K (cm/s)	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
<b>Drainage</b>	Bon					Mauvais		Pratiquement Imperméable			
<b>Type de sol</b>	Gravillon		Sable			Silt et mélange Sable et argile				Argiles	
<b>Travaux génie civile</b>	Zones perméables					Zones imperméables					

**I-10-CONCLUSION:**

Les essais géotechniques ont pour objectifs :

- Classer les sols en fonction de leur granularité, l'indice de plasticité, le pourcentage des particules argileuses, la valeur de l'essai au bleu de méthylène et la limite de retrait ...
- Calculer les indices de vides, le degré de saturation, la porosité, la teneur en eau.....
- Connaître la nature et la structure des particules du matériau et de déterminer leurs propriétés physico-chimiques, les caractéristiques mécaniques et hydrauliques.

**CHAPITRE II**  
**LES PARAMETRE**  
**PHYSICO-CHIMIQUE**  
**DE L'EAU**

## II-1-INTRODUCTION :

L'eau est l'élément essentiel à la vie, il représente un pourcentage très important dans la constitution de tous les êtres vivants, la molécule d'eau est l'association d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène sous le symbole H<sub>2</sub>O. L'eau en tant que liquide est considérée comme un solvant universel, il se congèle à 0 °C, il peut devenir vapeur à 100°C qui est sa température d'ébullition, mais ces principales caractéristiques sont qu'il est inodore, incolore et sans goût. (Mahmoud, Akram et al. 2012)

Dans ce chapitre ils faux citait des autres caractéristiques (paramètres) physico-chimique d'eau.

## II-2-LES PARAMETER PHYSICO-CHIMIQUES :

### II-2-1-Les paramètres physique :

#### II-2-1-1-Température (T °C) :

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Les vitesses des réactions chimiques et biochimiques sont accrues par la température d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C. Dès que l'on augmente la température de l'eau, l'activité métabolique des organismes aquatiques est alors accélérée. (Kenza 2015 - 2016)

#### II-2-1-2-Dureté :

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques calcium, magnésium, aluminium, fer, strontium etc. présents dans l'eau, les deux premiers cations (Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup>) étant généralement les plus abondants. Comme le calcium est un des ions les plus abondants, il devient donc un bon indicateur de la dureté de l'eau.

Une eau à titre hydrotimétrie élevée est dit « dure » dans le cas contraire il s'agit d'une « douce » (Mahmoud, Akram et al. 2012)

La dureté s'exprime souvent en degré français (f °) selon le classement suivant :

- 0 à 7° : eau très douce,
- 0 à 14° douces,
- 14 à 20° eaux moyennement dures,
- 20 à 30° eaux assez dure,
- 30 à 50° eaux dures,

#### **II-2-1-3- Résidu sec (RS) :**

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux). Suivant le domaine d'origine de l'eau cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000 mg/l. (Mahmoud, Akram et al. 2012)

#### **II-2-1-4-Turbidité :**

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique, limons...), elles forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs.

Pour la sécurité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU. (Mahmoud, Akram et al. 2012)

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique.

#### **II-2-1-5-Conductivité électrique (CE) :**

La conductivité électrique d'eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. (Kenza 2015 - 2016)

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca<sup>2+</sup>), le magnésium (Mg<sup>2+</sup>), le sodium (Na<sup>+</sup>), le potassium (K<sup>+</sup>), le

bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et le chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (Mahmoud, Akram et al. 2012)

La qualité de l'eau en fonction de la conductivité est définie de la manière suivante :

- Conductivité de 50 à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  .....Qualité excellente
- Conductivité de 400 à 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  .....Bonne qualité
- Conductivité de 750 à 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  .....Qualité médiocre mais eau utilisable
- Conductivité > de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ..... Minéralisation excessive.

La mesure est effectuée sur le terrain par un conductimètre. (Ishak 2015/2016)

#### **II-2-1-6-Résistivité électrique :**

La résistivité est l'inverse de la conductivité et permet de mesurer la minéralisation globale de l'eau. (Mahmoud, Akram et al. 2012)

#### **II-2-2-Paramètres chimique :**

La qualité chimique de l'eau est l'ensemble des propriétés générales de l'eau et des concentrations de minéraux dissous dans l'eau. Elle dépend des types de matériaux présents dans le sol et du temps de contact de l'eau avec ces matériaux. (Mahmoud, Akram et al. 2012)

##### **II-2-2-1-Le potentiel Hydrogène (PH) :**

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en  $\text{H}_3\text{O}^+$  (noté  $\text{H}^+$  pour simplifier). De manière à faciliter cette expression ; on utilise le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ion  $\text{H}^+$  : c'est le pH.  
 $\text{pH} = \log 1/ [\text{H}^+]$  (Nadjet 2011) ; il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de la signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous (Mahmoud, Akram et al. 2012) pour les pays de l'union européenne et Algérie et des doses inférieures à 1 mg/l l'OMS (Mahmoud, Akram et al. 2012)

**II-2-2-2-Le sulfate :**

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/L, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg / L) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé.

La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalinoterreux de la minéralisation.(**Nadjet 2011**)

**II-2-2-3-Calcium (Ca<sup>2+</sup>) :**

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous formes de carbonates.

Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure...etc.(Mahmoud, Akram et al. 2012) la présence des ions de calcium dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, soit la dissolution des formations carbonatées CaCO<sub>3</sub>(**Ishak 2015/2016**)

**II-2-2-4-Magnésium (Mg<sup>2+</sup>) :**

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. Il est un élément indispensable pour la croissance. Il intervient comme élément plastique dans l'os et comme élément dynamique dans les systèmes enzymatique et hormonaux. Le magnésium constitue un élément significatif de dureté de l'eau. A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau potable.(**Mahmoud, Akram et al. 2012**)

**II-2-2-5-Chlorures (Cl<sup>-</sup>) :**

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables. Ils peuvent avoir plusieurs origines :

- Percolation à travers des terrains salés.
- Infiltration d'eaux marines dans les nappes phréatiques.

- Activités humaines et industrielles.

Les normes Algériennes préconisent pour les chlorures une concentration maximale acceptable de 200 mg/l et une concentration maximale admissible de 500 mg/l.

Une présence excessive des chlorures dans l'eau d'alimentation, la rend corrosive pour les réseaux de distribution et nocive pour les plantes. Une forte fluctuation des chlorures dans le temps peut être considérée comme indice de pollution (Mahmoud, Akram et al. 2012)

### **II-2-3-Paramètres relatives ou pollution :**

#### **II-2-3-1-La Demande biochimique en oxygène (DBO5) :**

La DBO5 est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes présents dans un milieu pour oxyder (dégrader) les substances organiques contenues dans un échantillon d'eau maintenu dans l'obscurité, pendant 5 jours. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire. Deux échantillons sont nécessaires : le premier sert à la mesure de la concentration initiale en oxygène, le second à la mesure de la concentration résiduaire en oxygène au bout de 5 jours. La DBO5 est la différence entre ces 2 concentrations. Plus la différence est grande et plus le milieu est demandeur en oxygène et donc mal équilibré car les déchets à transformer sont trop importants. (Djihad, 2016-2017)

#### **II-2-3-2-La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :**

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait-la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présente dans l'eau quel que soit leur origine organique ou minérale.

La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation.

La DCO est la concentration, exprimée en mg.L-1, d'oxygène équivalente à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme. (Nadjet, 2011)

**II-2-3-3-Matière en suspension (MES) :**

Les matières en suspension contenues dans les eaux résiduaires constituent un paramètre important qui marque généralement le degré de pollution. Ce sont des matières qui ne sont ni colloïdales, ni solubilisés et elles-peuvent être organique ou minérales. La présence des matières en suspension, diminue la concentration en oxygène dissous, ce qui rend les activités des micro-organismes faibles et par conséquent diminution du phénomène d'autoépuration (Djihad, 2017)

**II-2-3-4-Le Phosphore :**

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectre photométrique sont considérés comme étant des ortho phosphates. L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et minéralisation, le phosphore organique. Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en ortho phosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique.

Suivant les cas, la teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO<sub>4</sub> ou de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1mg/L PO<sub>4</sub> = 0,747 mg/L P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 0,326 mg/L P (Nadjet, 2011)

**II-2-3-5-L'azote :**

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total. (Nadjet, 2011).

**II-2-3-6-Les Nitrates (NO<sup>3-</sup>) :**

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou, des engrais de synthèse ou naturels.

Les nitrates proviennent aussi de l'oxydation de l'azote organique et de l'oxydation de l'azote inorganique (ammonium). Des teneurs élevées favorisent la croissance des algues et favorisant l'eutrophisation. (BENGAIBONA 2009-2010).

**II-2-3-7-Les Nitrites(NO<sup>2-</sup>):**

Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Comme les nitrates, les nitrites sont répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Les nitrites résultent de la réaction de nitrification des nitrates. (BENGAIBONA 2009-2010) Les valeurs limitent recommandées pour les nitrites dans l'eau de boisson, sont 0,1mg/l

**II-3-MESURE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES:**

Les études des analyses des eaux comportent trois étapes:

- l'échantillonnage;
- l'analyse;
- L'interprétation.

**II-3-1 -L'échantillonnage :**

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser.

Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.

Les prélèvements se font à une profondeur de 15 à 30 cm de la surface de l'eau, en évitant la pénétration de l'air. Le transport des échantillons depuis le point de prélèvement jusqu'au laboratoire a été effectué dans une glacière à 4 °C (Djihad, 2016-2017).

**II-3-2-Mesures en site :**

La température, le pH, la conductivité, l'alcalinité et l'oxygène dissous doivent être mesurés in situ. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu et susceptible de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site.

L'idéal est d'effectuer les mesures en continu (sauf l'alcalinité qui se mesure par titration), en plein courant s'il s'agit d'une rivière, ou dans un seau placé au refoulement de la pompe s'il s'agit d'eau souterraine. Il faut veiller à ne pas aérer l'eau (risque de précipitation d'éléments en solution, oxygénation...).

**II-3-3-Mesures en laboratoire :**

Les autres paramètres mesurer au laboratoire par des réactifs (solution, produits chimiques), ou par des appareils.

Comme exemple nous avons voir le type d'appareillage et le type de produits utilisés pour les différentes analyses dans les tableaux suivants :

**Tableau II-1:** Types d'appareillages utilisés pour les différentes analyses. (Djihad, 2016-217)

Paramètre mesurés	Types d'appareils
Température	Multi-paramètre
Ph	
Conductivité ( $\mu\text{s} / \text{cm}$ )	
Salinité (%)	
Oxygène dissous (% , mg/l)	
Matière en suspension (MES mg/l) et résidu Sec	Etuve à 105C°
DBO5 (mg/l)	DBO5 mètre
Turbidité	Turbidimètre

**Tableau II-2:** Types de solution et produite utilisés pour les différents analyses (Djihad 2017)

Paramètres mesurés	Types de solutions et produits
Chlorures	Chromate de potassium, Nitrates d'argent
TA et TAC	Phénolphtaléine et méthyle d'orange HCl
Ca <sup>2+</sup> et Dureté Totale	NaOH, Murexide et solution Tampon pH=10, Noir eriochrome, EDTA

**II-4-CONCLUSION :**

L'eau c'est un élément contenu d'un grand nombre des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

Donc, impossible de dénombrer tous leurs paramètres dans un seule chapitre ainsi que nous citent les plus important paramètres.

Les paramètres d'eau à analyser sont choisir en fonction de l'objectif recherché et les analyses ont été interprétées pour la plupart à partir des grilles d'appréciation de la qualité des eaux.

**PARTIE II**  
**EXPERIMENTAL**

**CHAPITRE III**  
**ETUDE D'IDENTIFICATION**

**III-1- INTRODUCTION :**

Avant de commencer les essais de l'influence de la nature d'eau sur les matériaux, il a été procédé à l'identification physico-chimique de deux types d'argiles, la détermination des caractéristiques physiques et chimiques de sable de dune proposé pour l'étude et puis et les analyses d'eau utilisée pour les essais.

Ces essais ont été réalisés au niveau du service d'identification du laboratoire de travaux publics du sud à Ghardaïa(LTPS) selon les normes françaises.

Les analyses d'eau prendre au niveau de ADE (Algérie De L'eau).

**III-2-LOCALISATION DES SITES :****III-2-1-Argile Bouhraoua :**

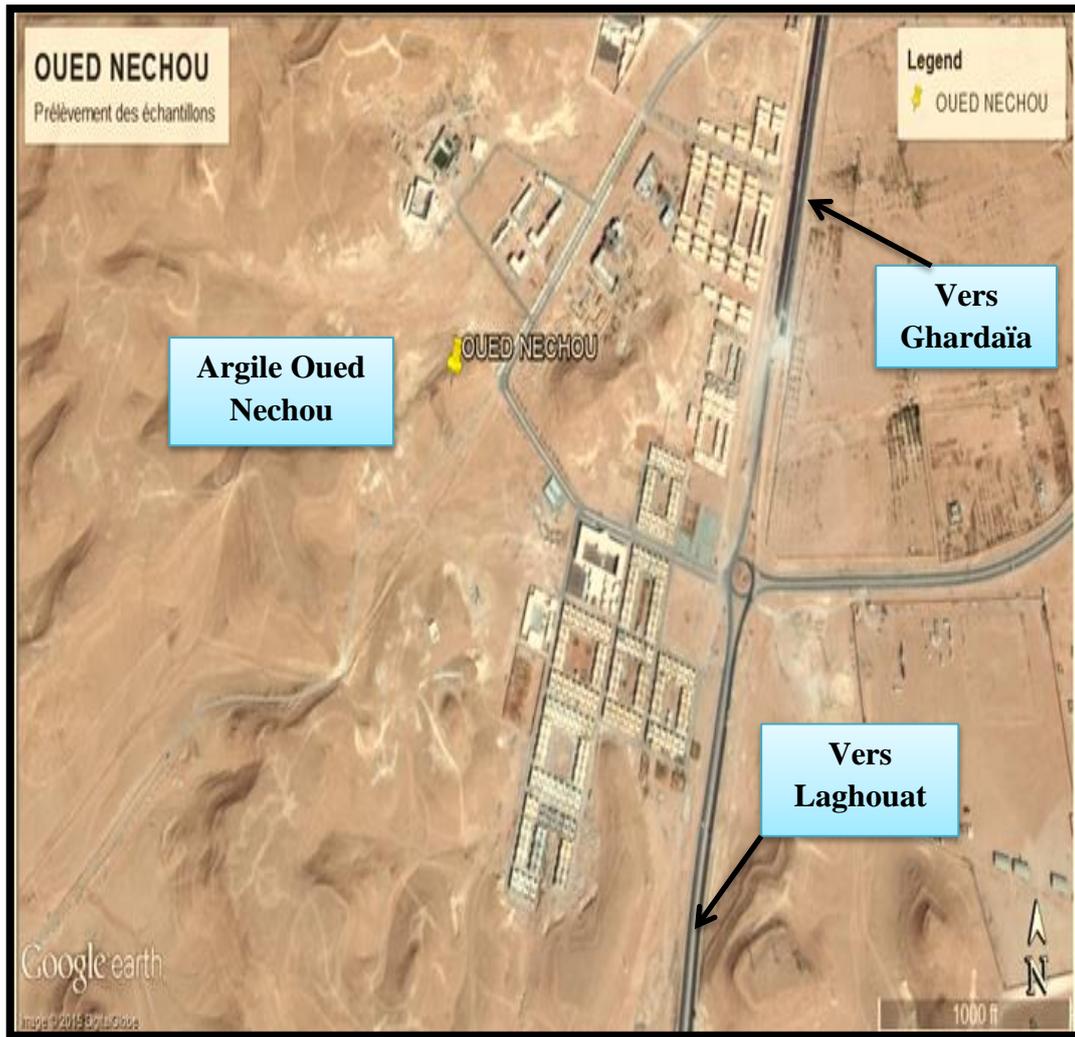
Le matériau choisi a été prélevé d'un site situé à 20 km au Nord-ouest de la wilaya de Ghardaïa, ce gisement se trouve à 100 m de la RN°1 (Voir Photo III-1)



*Figure III-1-Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.*

### **III-2-2-Argile Oued Nechou :**

Le matériau choisi a été prélevés d'un site situé à 40 km au Nord-ouest de la wilaya de Ghardaïa, ce gisement se trouve à 01k m de la RN°1 (Voir Photo III-2)



*Figure III-2-Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.*

### III-2-3- Sable dune :

Le sable utilise est un sable de dune provient de Sebseb (63 km au Sud -est de la wilaya de Ghardaïa (Voir Photo III -3).



*Figure III-3-Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.*



*Photo III-1- massif du site Oued Nechou.*



*Photo III-2- Massif du site Bouhraoua.*



*Photo III-3- Sable de dune du site Sabsab*

### III-3-CLIMATOLOGIE DE GHARDAIA :

Pour avoir une idée sur la climatologie de Ghardaïa, on va présenter quelques éléments climatologiques de l'année 2016 sur le tableau III-1.

**Tableau III -1 : Climatologie de Ghardaïa 2016. (ONM 2018)**

Mois	T°min (°c)	T°max (°c)	M.M°t (c°)	Qt.rr (mm)	Evap (mm)	Inso (h)	MMU %
<b>Jan</b>	80	197	138	Nt	120	271	40
<b>Fév.</b>	90	204	147	0.2	130	238	36
<b>Mars</b>	107	233	170	Nt	191	311	27
<b>Avril</b>	158	297	227	7	221	296	30
<b>Mai</b>	203	333	268	2	314	323	22
<b>Juin</b>	244	382	313	Nt	317	350	21
<b>Juillet</b>	278	406	442	Nt	339	368	20
<b>Aout</b>	271	389	33	1	345	343	25
<b>Sept</b>	234	352	293	13	210	244	35
<b>Oct</b>	191	313	252	Traces	201	279	38
<b>Nov</b>	111	220	166	4	115	259	45
<b>Déc</b>	80	172	126	3	66	213	65

**T°min** : température minimale du mois 1/10 ; **T°max** : température maximale du mois 1/10;  
**M.M°t** : moyenne mensuelle des températures ; **MMU** : moyenne mensuelle de l'humidité ;  
**Qt.rr** : hauteur de pluie ;

Le climat, de type saharien, se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux surtout pendant la journée. Il est marqué par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, à l'été et l'hiver. La période chaude commence au mois de mai et dure Jusqu'au mois de septembre.

### **III-4-GEOLOGIE DE LA REGION :**

La région d'étude est caractérisée par des affleurements du Turonien et Sénonien. Le Turonien est constitué d'une gigantesque dalle carbonatée appelée communément Dorsale du M'Zab.

Du point de vue lithologique, cette dalle est constituée de bancs de calcaires et de calcaires dolomitiques massifs à textures cristallines, azoïques.

Elle témoigne d'une époque particulièrement étalée et calme du point de vue sédimentation.

Le Sénonien se caractérise par la présence d'un ensemble variable de faciès (calcaire, calcaire marneux, marnes - calcaire, marnes versicolores, gypse lenticulaire).

Les formations citées ci-dessus sont recouvertes par endroits par des formations d'âge Tertiaire à Quaternaire. Ce sont principalement des écroûtements de sables et du tout venant d'Oueds.

Du point de vue structural, cette région appartient à la plateforme saharienne.(L'archives de LTPS)

### **A-LE SOL**

### **III-5- ESSAI D'IDENTIFICATION :**

Selon qu'il s'agit de sable ou d'argile, des essais d'identification appropriés à chaque nature de sol existent, en plus d'une analyse de l'eau car c'est recommandé par plusieurs auteurs tels que Le tableau suivant illustre la nature des essais effectués (Siradj and Hamza 2016-2017)

**Tableau III -2 :** Essais d'identification des deux argiles et de sable de dune :

ARGILE	SABLE
➤ analyse chimique	➤ analyse chimique
➤ analyse granulométrique.	➤ analyse granulométrique.
➤ limites d'atterberg.	➤ équivalent de sable
➤ teneur en CaCO <sub>3</sub> .	➤ essai au bleu de méthylène.
➤ essai au bleu de méthylène.	

**III-5-1-Identification et classification des argiles :****III-5-1-1-Analyse chimique :**

Les résultats de l'analyse chimique des argiles étudiées sont résumés dans le (tab 3) :

**Tableau III-3:** Analyse chimique des argiles étudiées

Caractéristique	Symboles	Unité	Bouhraoua	Oued Nechou
Résidu insoluble	SiO <sub>2</sub> +Silice	%	30.494	31.251
Sulfates	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	%	5.28	0.31
Chlorures	Cl <sup>-</sup>	%	-	-
Carbonate de Calcium	CaCO <sub>3</sub>	%	39	23
Matières organiques	MO	%	-	-

D'après les résultats, nous remarquons que la silice est l'élément prépondérant. On constate aussi que le taux du gypse très élevé pour les deux argiles, donc on a des argiles gypseuse.

**III-5-1-2-Essai ou bleu de méthylène :**

L'essai est fait selon (NF P 94-068)

De cet essai, nous pouvons trouver :

$$V_B = \frac{\text{volume en cm}^3 \text{ de solution}}{\text{poids sec de la prise}}$$

- La valeur du bleu :

On appelle valeur de bleu de méthylène VB, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène absorbée par 100 g de fines.

- La surface spécifique totale :

$$SST = 20,93 \times V_{cc} \times \frac{1}{P_s}$$

Où

SST : surface spécifique (m<sup>2</sup>/g)

V<sub>cc</sub> : volume de solution utilisé (cm<sup>3</sup>)

P<sub>s</sub> : poids de matériaux sec (g)

20,93 : surface correspondant à 1 cm<sup>3</sup> de bleu de méthylène.

- L'indice de nocivité de la fraction argileuse qui est définie par :

$$N = \frac{100V_B (\text{fraction O/D})}{C_2}$$

Avec : C<sub>2</sub> : terme en pourcentage des éléments < 2μ de la fraction O/D

Les résultats obtenus sont repris dans le tableau III-4:

**Tableau III-4:** Les paramètres trouvés de l'essai au bleu à la tâche.

Paramètre	Bouhraoua	Oued Nechou
Valeur de bleu « VB » (cm <sup>3</sup> )	5.5	7.73
Surface spécifique totale (m <sup>2</sup> /g)	115.5	161.7

**Tableau III-5** : Valeur de bleu de quelque sols (Hamza, 2017)

VBS	Le sol
<b>VBS &lt; 0,1</b>	Sols insensibles à l'eau.
<b>0,2 ≤ VBS &lt; 1,5</b>	Apparition de la sensibilité à l'eau..
<b>1,5 ≤ VBS &lt; 2,5</b>	Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols argileux.
<b>2,5 ≤ VBS &lt; 6</b>	Seuil distinguant les sols limoneux plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne.
<b>6 ≤ VBS &lt; 8</b>	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
<b>VBS &gt; 8</b>	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

D'après la classification des sols basée sur la valeur de bleu (VB) (Hamza, 2017) L'argile d'Oued Nechou se classe dans le seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux ; et l'argile Bouhraoua se classe dans le Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne.

### III-5-1-3-Teneur en carbonate de calcium :

L'essai consiste à déterminer le volume de gaz carbonique dégagé après attaque par l'acide chlorhydrique d'un demi-gramme de matériaux sec :

$$CaCO_3(\%) = \frac{\text{volume du } CO_2 \text{ dégagé par 0,5g d'échantillon}}{\text{volume du } CO_2 \text{ dégagé par 0,5g de } CaCO_3 \text{ pur}}$$

D'après les résultats obtenus de l'essai, la teneur en carbonate de Calcium est de 23% pour l'argile d'Oued Nechou, et 39% pour l'argile de Bouhraoua.

**Tableau III-6:** La classification par  $\text{CaCO}_3$  de quelques sols cité par (Bourokba.S. 2001).

$\text{CaCO}_3$ (%)	Dénomination
<b>L0-10</b>	Argile ou limon.
<b>10-30</b>	Argile calcaire.
<b>30-70</b>	Marne.
<b>70-90</b>	Calcaire argileuse.
<b>90-100</b>	Calcaire.

Le tableau III-6 donne la valeur de la teneur en  $\text{CaCO}_3$  de quelques sols, et en se basant sur cette classification, nos Argile de Oued Nechou appartient à la classe d'Argile calcaire, et L'argile de Bouhraoua appartient à la classe de Marne.

#### **III-5-1-4-Analyse granulométrique:**

L'essai est fait selon (NFP 94-056).

C'est la détermination de la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un sol, et elle s'effectue en deux étapes :

- le tamisage par voie humide ou tamisage sous l'eau pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de taille supérieure à 80 microns.
- la sédimentométrie, pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de taille inférieure à 80 microns.

Les résultats sont présentés graphiquement sur des courbes dites « courbes granulométriques », de ces courbes nous pouvons tirer certains paramètres et par la suite classer le sol. (Hamza, 2016-2017)

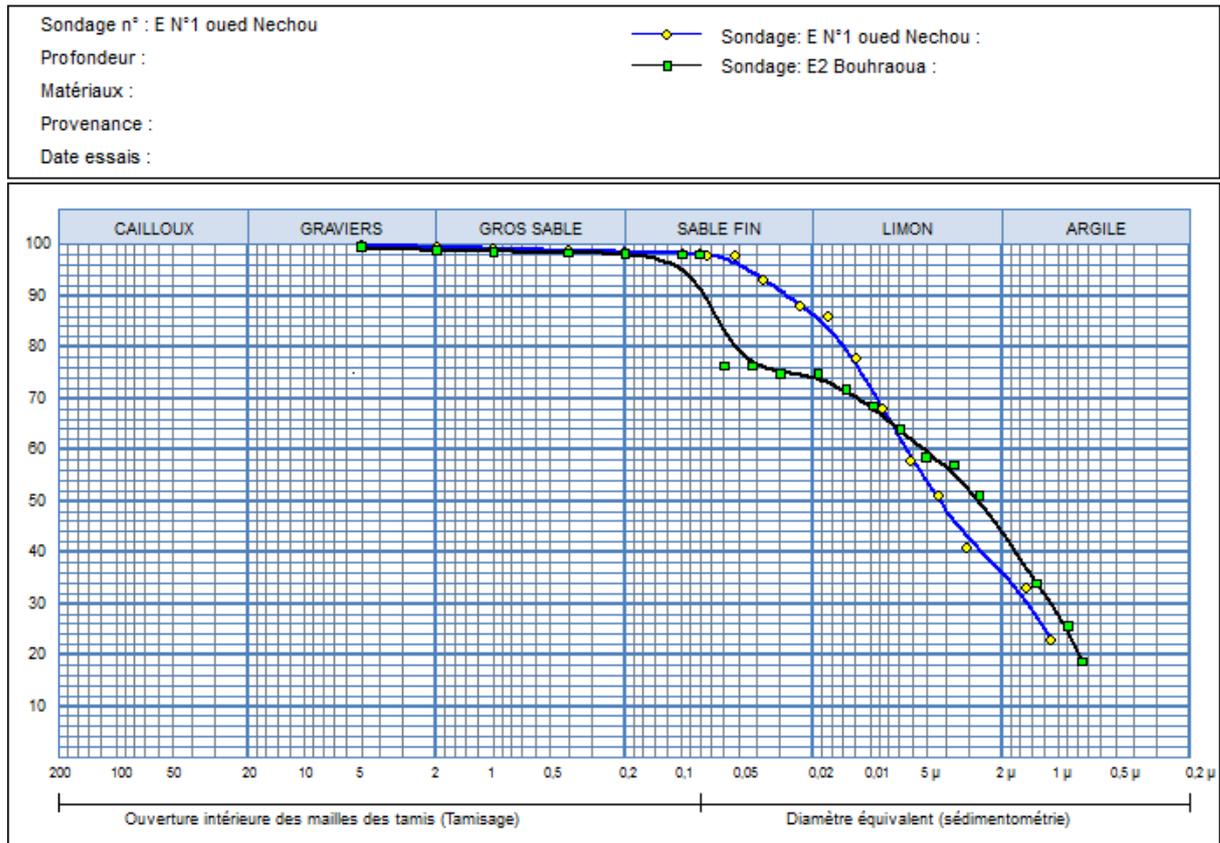


Figure III-4-Courbe granulométrie des Argiles utilisé.

**Tableau III-7 :** Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique D'Argile Bouhraoua et Oued Nechou.

	Argil Bouhraoua	Argil Oued Nechou
<b>Argile %</b>	<b>45</b>	<b>36</b>
<b>Limon %</b>	<b>42</b>	<b>50</b>
<b>Sable %</b>	<b>32</b>	<b>14</b>
<b>Gravier %</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>tamisait à 0,08 mm %</b>	<b>98</b>	<b>98.23</b>
<b>Tamisait à 2 mm %</b>	<b>100</b>	<b>99.95</b>
<b>D10 (μ)</b>	--	--
<b>D30 (μ)</b>	--	--
<b>D60 (μ)</b>	--	--
<b>Cu = D60/D10</b>	--	--
<b>Cc = (D30)<sup>2</sup> / D10D60</b>	--	--

La distribution granulométrique pour les deux argiles obtenue nous montre que :

1. La fraction fine est assez importante d'Oued Nechou (36%), et pour Bouhraoua assez faible de (45%),
2. La présence de particules sableuses importante d'Oued Nechou (14%), et pour Bouhraoua assez importante de (32%).
3. Le pourcentage de particules limoneuses d'Oued Nechou (50 %), et Bouhraoua de (42%) comparable à celui de l'argile d'Oued Nechou.

Donc, on peut juger suivant cette portion granulométrique présentée dans la courbe qu'on est en présence d'un sol à prédominance limono- argileux pour les deux types argiles.

### III-5-1-5-Essai Limite Atterberg :

Quel que soit la nature de l'argile, celle-ci malaxée avec des quantités d'eau de plus en plus importantes finit par se transformer en boue « l'argile a un comportement liquide ».

Au contraire, si l'argile est suffisamment desséchée, les grains sont très resserrés et les liaisons deviennent intenses « l'argile a un comportement solide ».

Entre ces deux états, l'argile est malléable « elle a un comportement plastique »  
(Hamza, 2016-2017)

L'activité d'une argile « AC » se définit comme suit :  $AC = \frac{\text{Indice de plasticité}}{\% \text{éléments} < 2\mu}$

Les résultats obtenus des essais des limites sont présentés sur le tableau III-8

**Tableau III-8 :** Résultats des essais des limites pour les deux argile .

Argile	WL(%)	WP(%)	IP(%)	AC
<b>Bouhraoua</b>	<b>54.07</b>	<b>31.79</b>	<b>22.28</b>	<b>1.59</b>
<b>Oued Nechou</b>	<b>85.19</b>	<b>38.21</b>	<b>46.98</b>	<b>2.35</b>

Pour les sols fins, il est d'usage de reporter les valeurs de « IP » et « WL » sur un diagramme ayant « IP » en ordonnée et « WL » en abscisse. Ce diagramme est appelé « diagramme de Casagrande » (figure III-5)

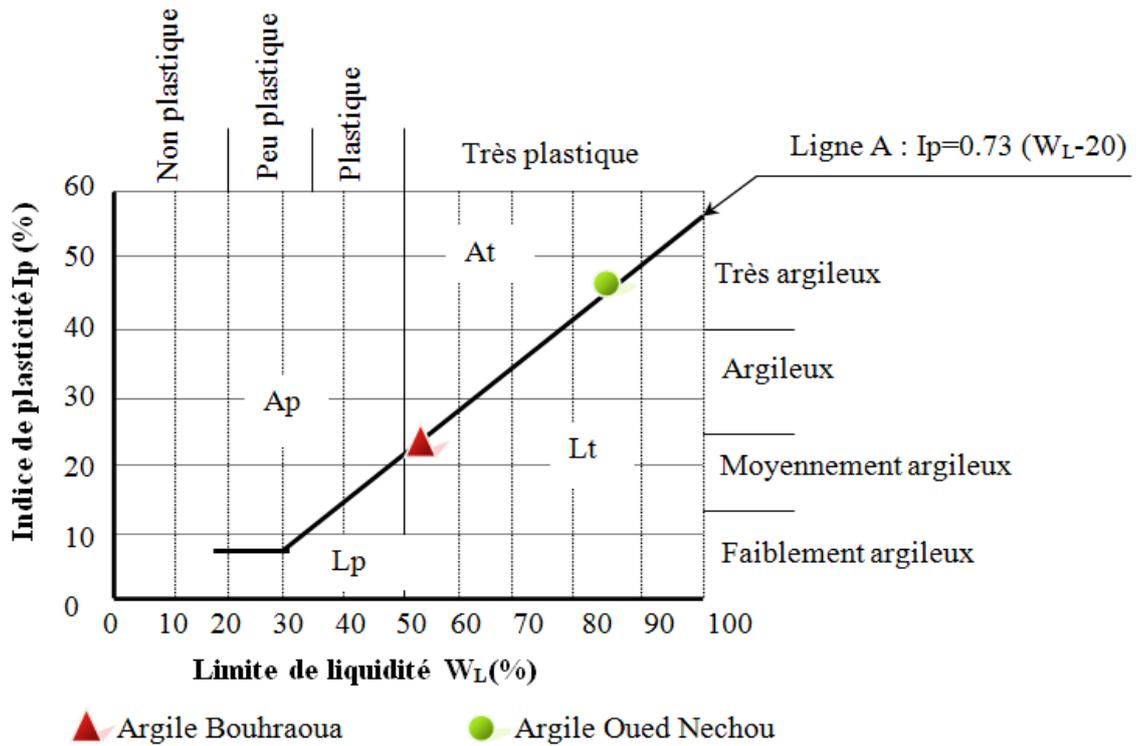


Figure III-5-Diagramme de Casagrande.

Avec :

$A_t$  : argiles très plastiques.

$L_t$  : limons très plastiques

$A_p$  : argiles peu plastiques.

$L_p$  : limons peu plastiques.

Selon la classification LCPC, et l'abaque de plasticité de Casagrande l'argile de Oued Nechou se classe comme **Très argileux très plastique** et l'argile de Bouhraoua se classe comme **Moyennement argileux très plastique**.

### III-5-2-Identification et classification de Sable de dune :

#### III-5-2-1-Analyse chimique :

Les mêmes analyses effectuées sur les argiles, ont été appliquées aux sables, et les résultats sont illustrés dans le tableau.

**Tableau III-9 :** Analyse chimique du sable de dune étudié.

	Symboles	Unité	Sable de dune
<b>Résidu insoluble</b>	SiO <sub>2</sub> +Silice	%	88.91
<b>Sulfates</b>	SO <sub>3</sub>	%	3.09
<b>Chlorures</b>	Cl <sup>-</sup>	%	0.023
<b>Carbonate de Calcium</b>	CaCO <sub>3</sub>	%	03
<b>Matières organiques</b>	MO	%	-----

La constatation importante a signalée, est la présence d'un fort pourcentage en silice qui est supérieur à 80%, et par conséquent, le sable de dune de Ghardaïa est un sable siliceux.

#### **III-5-2-2-Analyse granulométrique:**

L'analyse est effectuée par voie sèche, et des courbes obtenues, plusieurs paramètres peuvent être tirés.

- Les résultats obtenus de cet essai sont donnés dans le tableau III-6

#### **III-5-2-3-L'équivalent de sable :**

L'équivalent de sable n'est intéressant que pour caractériser les sols sableux contenant très peu de particules fines.

- Les résultats obtenus de cet essai sont donnés dans le tableau III-6

#### **III-5-2-4-Bleu de Méthylène :**

La même procédure utilisée pour les argiles a été appliquée au sable de dune

- Les résultats obtenus de cet essai sont donnés dans le tableau III-6

**Tableau III-10** : Paramètres d'identification de sable étudiées :

Granulométrie			Masse volumique solide	Essai de bleu	Équivalent du sable		
Cu	Cc	LCPC	$\gamma_s(\text{g/cm}^3)$	SST	Class	ES (%)	Degré de propreté
1.5	1.04	SB	1.55	0.84	Elément non argileux	76	Propre

**Cu** : coefficient d'uniformité.  $Cu = D_{60}/D_{10}$  ;

**Cc** : coefficient de courbure.  $Cc = (D_{30})^2 / D_{60} \cdot D_{10}$  ;

**LCPC** : classification donnée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ;

**SB**: sable propre Bien gradué ;

La courbe granulométrique du sable utilisé est représenté sur la figure( III-6). Cette granulométrie est uniforme , caractérisée par un coefficient d'uniformité, inférieur à 2, un diamètre moyen  $D_{50} = 0,6$  mm.

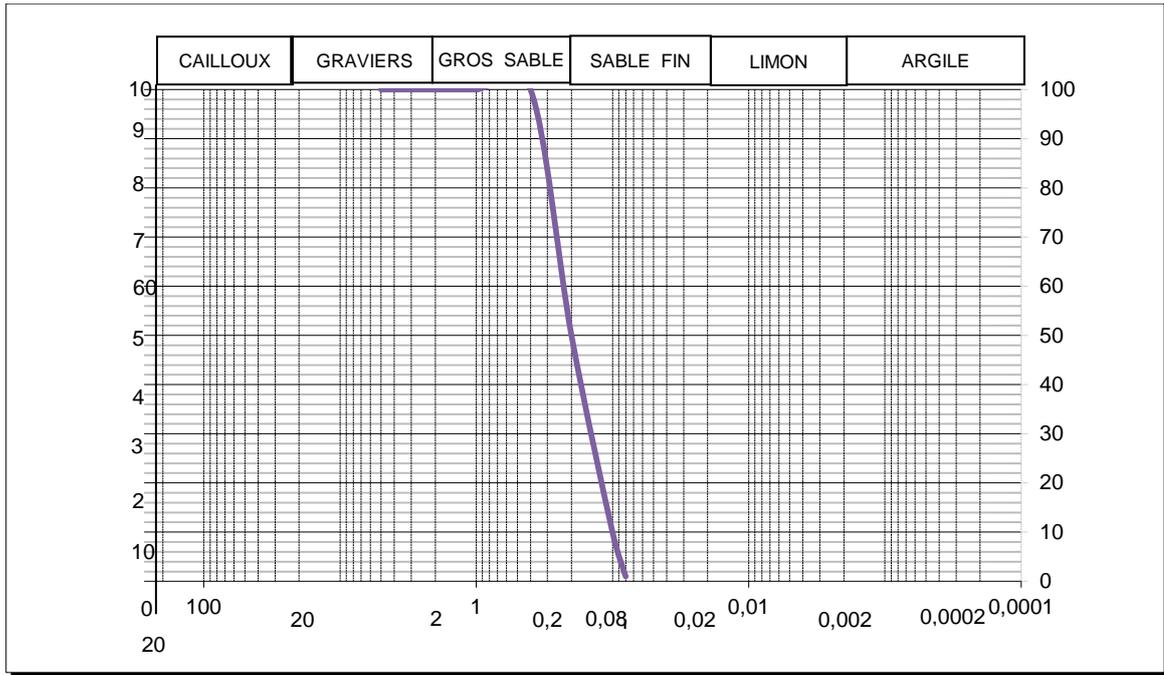


Figure III-6-courbe granulométrie de sable de dune.

Tableau III-11 : Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune.

	Sable de dune
<b>Argile %</b>	-
<b>Limon %</b>	-
<b>Gros Sable %</b>	<b>54.66</b>
<b>Sable fin %</b>	<b>45.34</b>
<b>tamisait à 0,08 mm %</b>	-
<b>tamisait à 2 mm %</b>	-
<b>D10 (μ)</b>	<b>0.21</b>
<b>D30 (μ)</b>	<b>0.25</b>
<b>D60 (μ)</b>	<b>0.3</b>
<b>Cu = D60/D10</b>	<b>1.43</b>
<b>Cc = (D30)2 / D10D60</b>	<b>0.089</b>

D'après ces résultats, on conclure que :

Le sable de dune La courbe est très uniforme ( $1 < C_u < 3$ ).

**III-5-3-Identification et classification des mélanges :**

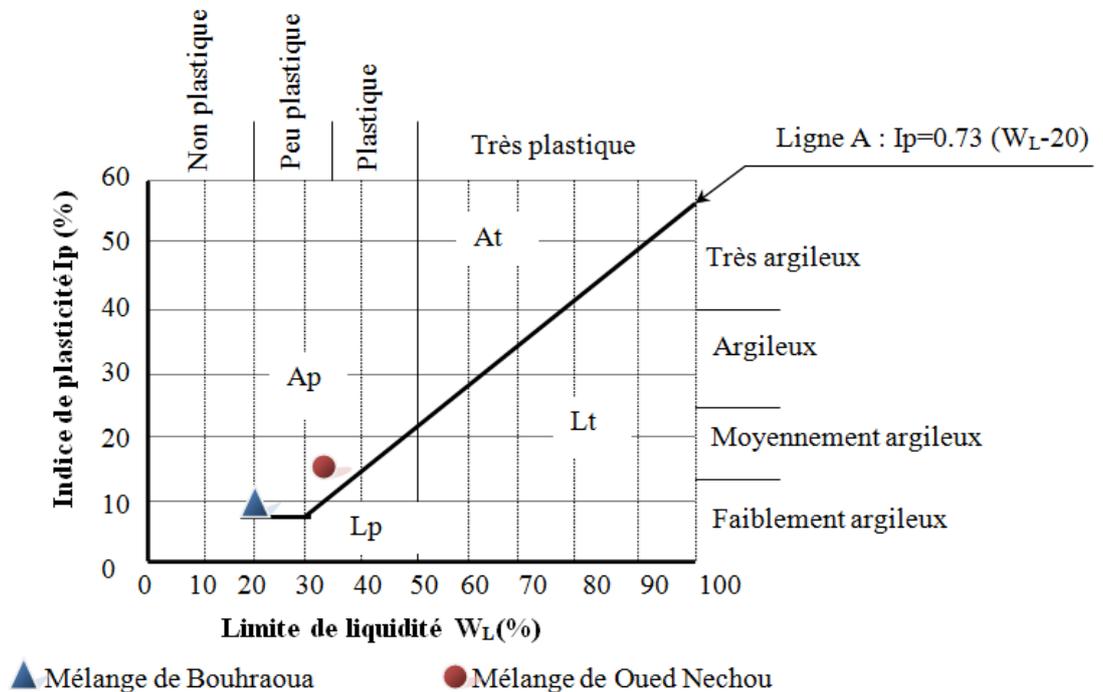
**III-5-3-1-Essai Limite Atterberg :**

Les résultats obtenus des essais des limites sont présentés sur le tableau III-8

**Tableau III-12 :** Résultats des essais des limites pour les deux mélanges.

L'échantillon	WL%	WP%	IP%	AC
70%Sable de dune+30%Argile Bouhraoua	22.05	14.51	7.54	4.11
70%Sable de dune+30%Argile Oued Nechou	33.60	18.45	15.15	2.04

Après les résultats de la limite nous posons les valeurs (IP , WL) sur le diagramme de Casagrande pour Classifie les deux mélange



*Figure III-7-Diagramme de Casagrande.*

Selon la classification LCPC, et l'abaque de plasticité de Casagrande le mélange de Oued Nechou se classe comme **Moyennement argileux peu plastique** .et le mélange de Bouhraoua se classe comme **Faiblement argileux peu plastique**.

### III-5-3-2-Essai Blue Méthylène :

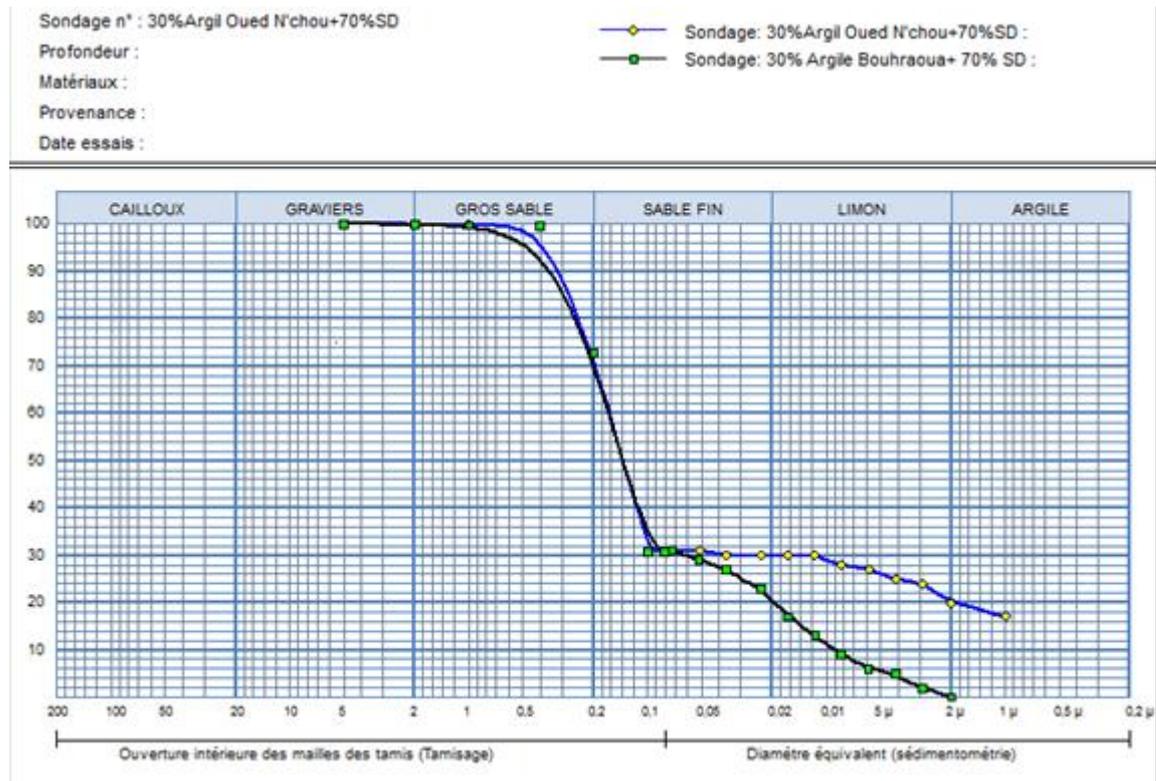
Les résultats obtenus des essais de bleu méthylène sont présentés sur le tableau suivant :

**Tableau III-13** : Résultats des essais de bleu méthylène pour les mélanges.

L'échantillon	VB (cm <sup>3</sup> )	SST (m <sup>2</sup> /g)
<b>70%Sable de dune+30%Argile Bouhraoua</b>	<b>1.37</b>	<b>28.56</b>
<b>70%Sable de dune+30%Argile Oued Nechou</b>	<b>1.52</b>	<b>31.88</b>

**III-5-3-3-Essai granulométrique :**

L'analyse est effectuée par voie sèche, et des courbes obtenues, plusieurs paramètres peuvent être tirés.



**Figure III-8-** courbe granulométrie pour les mélanges (Bouhraoua, Oued Nechou).

Les principales propriétés du sable sont montrées dans le (tableau III-14)

**Tableau III- 14:** Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique pour les deux mélanges.

	<b>70%Sable de dune+30%Argile Bouhraoua</b>	<b>70%Sable de dune+30%Argile Oued Nechou</b>
<b>Argile %</b>	<b>02</b>	<b>04</b>
<b>Limon %</b>	<b>18</b>	<b>26</b>
<b>Sable %</b>	<b>80</b>	<b>70</b>
<b>Gravier %</b>	<b>00</b>	<b>00</b>
<b>tamisait à 0,08 mm %</b>	<b>31</b>	<b>31</b>
<b>Tamisait à 2 mm %</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>D10 (μ)</b>	--	--
<b>D30 (μ)</b>	--	--
<b>D60 (μ)</b>	--	--
<b>Cu = D60/D10</b>	--	--
<b>Cc = (D30)<sup>2</sup> / D10D60</b>	--	--

La distribution granulométrique pour les deux mélanges obtenue nous montre que :  
 Pour le mélange (70%Sable de dune+30%Argile Bouhraoua) les pourcentages les plus élevés sont le sable (80%) et Limon (18%).

Pour le mélange (70%Sable de dune+30%Oued Nechou) les pourcentages les plus élevés sont le sable (70%) et Limon (26%).

Donc, on peut juger suivant cette portion granulométrique présentée dans la courbe qu'on est en présence d'un sol à prédominance sable- limoneux pour les deux types argiles .

**B- L'EAU :****III-6-LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES :**

Les caractéristiques physico-chimiques des quatre échantillons d'eau utilisés ont été déterminées au niveau du laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE) à Ghardaïa, les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau III-15.

On analyse les résultats selon nos besoins :

D'après les résultats on remarque qu'il y a une différence entre les valeurs selon le type de l'eau analysée d'une part (eau de robinet, eau épurée, et eau de Zelfana, eau de robinet+10% sel).

**Tableau III-15 :** Caractéristiques physico-chimiques de 4 types d'eau utilisées dans notre étude.

Type d'eau		Eau de robinet (Bouhraoua)	Eau de robinet (Zefana)	Eau épurée (station de L'Attef)	Eau de robinet+10% sel (Bouhraoua)
Pramètre	Unité				
Potentiel hydrogène(PH)	-	7.72	7.70	8.28	7,49
Salinité(Sal)	-	1.1	1.00	2	
Conductivité à 20°C(Cond)	µs/cm	2050	2050	2.68	113300
Temperature (T°C)	°C	23.6	15.1	14	20.5
Turbidité(Turb)	NTU	1.25	0.44	-	2.33
Solides Totaux dissous (TDS)	mg/l	1186	1187	-	
Durté(T.H)	mg/l	692	708	-	1300
Titre Alcalimétrique Complète(TAC)	mg/l	153.72	218.38	-	
Chlorures(Cl <sup>-</sup> )	mg/l	340.348	428.272	-	-
Calcium(Ca <sup>2+</sup> )	Mg/l	161.923	136.272	-	338,2752
Magnésium(Mg <sup>2+</sup> )	mg/l	69.984	87.424	-	120,528
Fer(Fe <sup>2+</sup> )	mg/l	0.072	0.000	-	
AmmouniuomNH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	-	0.000	-	0.1
Ortho-phosphatés(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/l	0.000	0.000	-	
Phosphore (P)	mg/l	0.000	0.000	-	0.723
Nitrites	mg/l	0.002	0.000	-	
Nitrates	mg/l	14.374	-	-	
Sulfates(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/l	-	451.47	-	1491,4572

**III-7-CONCLUSION:**

Les caractéristiques physico-chimiques ont permis de tirer les conclusions suivantes :

➤ **Argile Bouhraoua :**

- Une granulométrie dénotant un limon argileux peu sableux.
- Une plasticité modérée.
- L'activité argileuse importante.

➤ **Argile Oued Nechou :**

- Une granulométrie dénotant un limon argileux.
- Une plasticité élevée par rapport à l'Argile Bouhraoua.
- L'activité argileuse importante.

Les résultats obtenus à partir des essais d'identification montrent que les deux types d'argile étudiés sont très similaires dans leurs caractéristiques.

➤ **Sable de dune :**

- La courbe de sable de dune est très uniforme ( $1 < C_u < 3$ ) de forme série se classe dans les gros sable.
- Sable de dune c'est un matériau propre non argileux.

➤ **Les mélanges :**

- le mélange de Oued Nechou se classe comme moyennement argileux peu plastique .et le mélange de Bouhraoua se classe comme faiblement argileux peu plastique.
- Une granulométrie dénotant sable- limoneux pour les deux types argiles.

En plus les résultats des analyses d'eau pour déterminer la convergence des propriétés physico-chimiques entre eux.

Après les analyses des quatre types d'eau utilisées , ont montrés une différence entre les caractéristiques de chaque eau .

**Bourokba.S.** (2001). «Contribution à la stabilisation chimique de quelques argiles gonflantes de la région d'Oran ». Thèse de Magister (Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, Algérie .2001).

**Siradj, B. et S. Hamza** (2016-2017). ETUDE DE LA STABILISATION AU GONFLEMENT D'UN SOL ARGILEUX PAR L'AJOUT DE SABLE DE DUNE. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme deMASTER, Université de Ghardaïa.

**AFNOR** « Norme française sol: reconnaissance et essais»

**ONM** «Office National de la Météorologie»



**CHAPITRE IV**  
**INFLUENCE DE LA NATURE DE L'EAU**  
**SUR LES CARACTERISTIQUES DU SOL**

## IV-1-INTRODUCTIN

L'eau exerce une grande influence sur le comportement des sols, surtout lorsqu'il s'agit de sols à grains fins. Dans ce chapitre, nous avons essayé de voir est ce que la nature de ces eaux a une influence sur certains caractéristiques géotechnique de notre mélange étudiés .

## IV-2-CHOIX DES MATERIAUX A ETUDIER:

Nous avons choisi deux mélanges optimum à deux sites différents de la région de Ghardaïa à savoir :

-Argile Bouhraoua +Sable de dune

- Argile Oued Nechou+Sable de dune.

La formule adoptée est de (70% Sable de dune+30% Argile) d'après les travaux les travaux Azzouz FZ .2015. Le choix de ce mélange rentre dans le domaine de développement des études des matériaux locale de la région de Ghardaïa, cet axe de recherche est important et même à étudié par d'autre chercheurs.

Notre étude base sur l'étudier de l'influence de la nature d'eau sur les caractéristiques géotechnique des deux mélanges déférents et pour cela nous avons utilisé quatre types d'eau différents à savoir :

- Eau du robinet ;
- Eau du robinet +10% sel ;
- Eau de Zelfana (eau de la nappe phréatique) ;
- Eau épurée ;

Les échantillons des eaux utilisées ont été prélevés de :

- **L'eau du robinet** : ce type d'eau a été prélevé à partir du robinet au niveau laboratoire des Travaux Publics du Sud à Bouhraoua situé à 10 Km au centre-ville de la wilaya de Ghardaïa.
- **Eau de Zelfana** : l'eau de forage a été située au Zelfana (située à 67 km à l'est de Ghardaïa).

- **Eau épurée:** elle a été prélevée à l'aval de la station d'épuration de Ghardaïa située à l'Est de la ville d'El Atteuf.
- **Eau de robinet+10% sel :** ce type d'eau a été prélevé à partir du robinet au niveau laboratoire des Travaux Publics du Sud à Bouhraoua et nous avons ajouté un pourcentage de 10% de sel.

### **IV-3-ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA NATURE DE L'EAU SUR LES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DU MELANGE :**

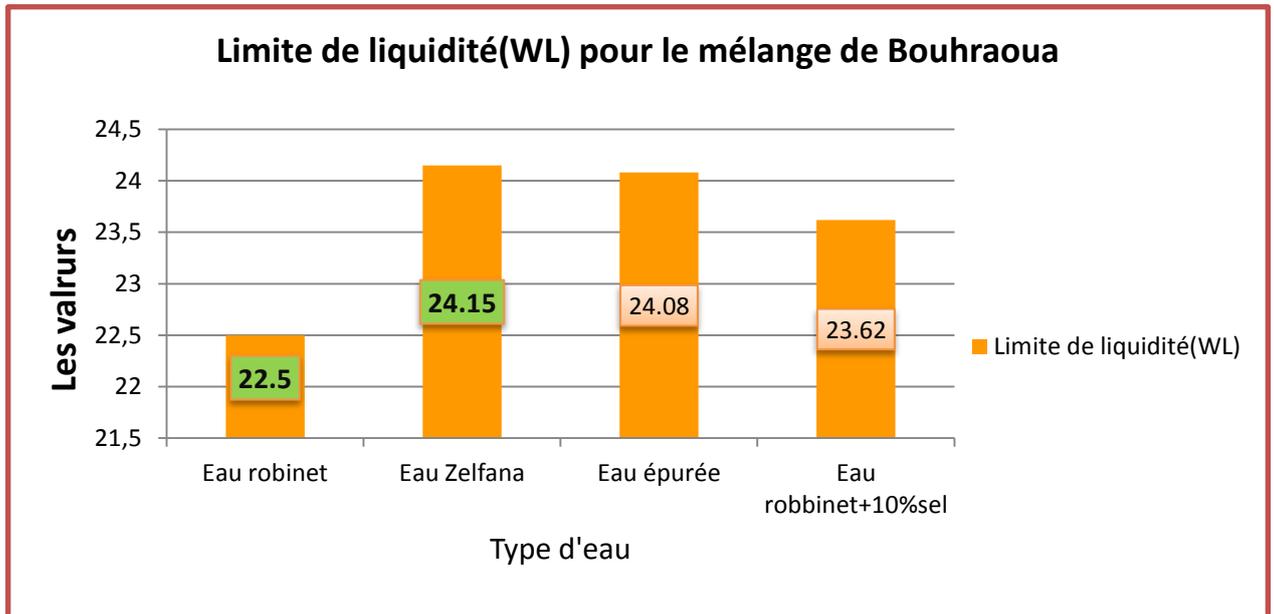
Notre étude a visé l'influence de la nature de l'eau sur les caractéristiques géotechniques des deux mélanges par les essais suivantes :

- Les limites d'Atterberg ;
- L'essai Proctor Modifié;
- L'essai CBR ;
- L'essai de cisaillement ;
- L'essai perméabilité.

#### **IV-3-1-Influence de la nature de l'eau sur Les limites d'Atterberg :**

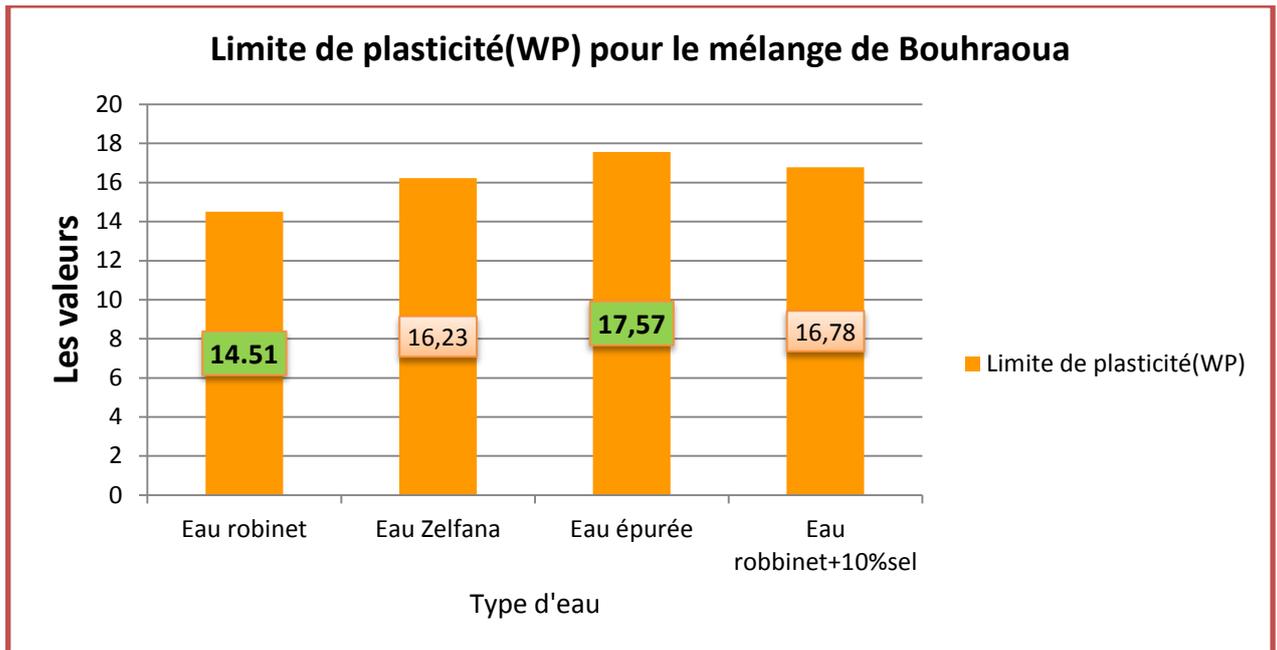
L'essai permet de déterminer la limite de liquidité WL et la limite de plasticité WP et l'indice de plasticité IP ( $IP = WL - WP$ ). Essai limite faire selon **(NFP 94-051)**.

Nous avons fait quatre essais de détermination des limites d'Atterberg sur chaque mélange, et en utilisant quatre types d'eau.

**IV-3-1-1-Influence des type d'eau sur la limite de mélange Bouhraoua :**

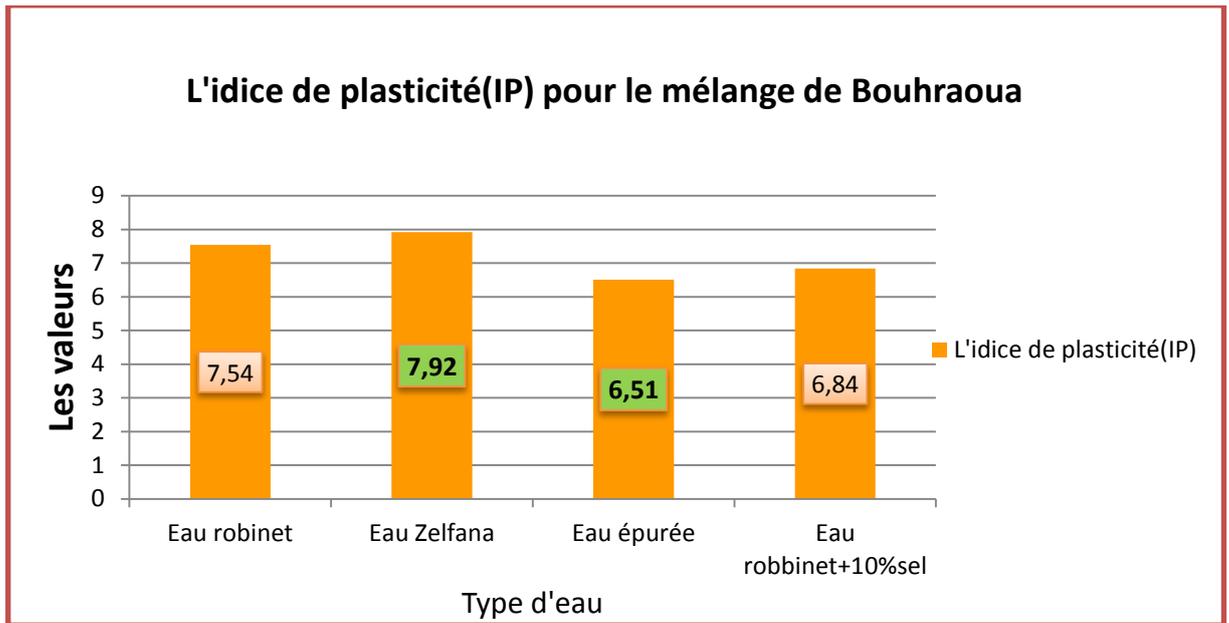
*Figure IV-1 : Histogrammes montrant la variation de la limite de liquidité en fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 24.15 est obtenue en utilisant l'eau de Zelfana.
- La valeur minimale 22.5 est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 1.65



**Figure IV-2 :** Histogrammes montrant la variation de la limite de plasticité en fonction de type d'eau.

- La valeur maximale 17.57 est obtenue en utilisant l'eau épurée.
- La valeur minimale 14.51 est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 3.06.

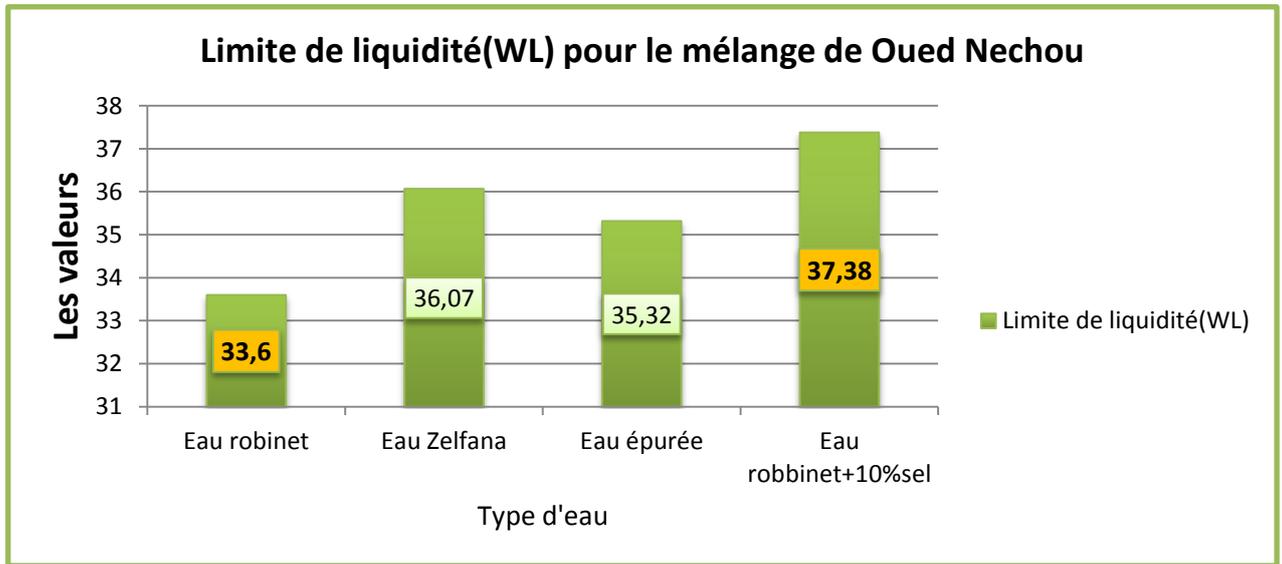


*Figure IV-3-Histogrammes montrant la variation de l'indice de plasticité en fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 7.92 est obtenue en utilisant l'eau de Zelfana.
- La valeur minimale 6.51 est obtenue en utilisant l'eau épurée.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 1.41.

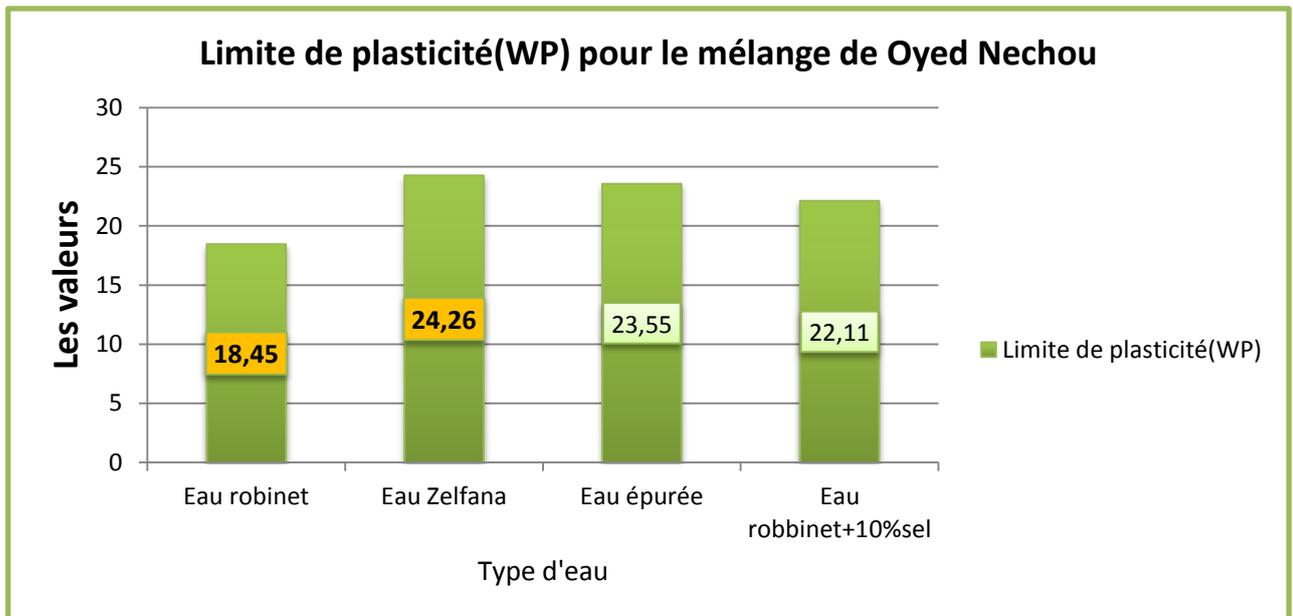
Selon la classification LCPC, et l'abaque de plasticité de Casagrande le mélange de Bouhraoua se classe comme Argileux peu plastique avec les utilisations des quatre natures des eaux différents, ceci explique que la nature de l'eau n'influence pas sur la plasticité du mélange.

**IV-3-1-2-Influence des type d'eau sur la limite de mélange Oued Nechou :**



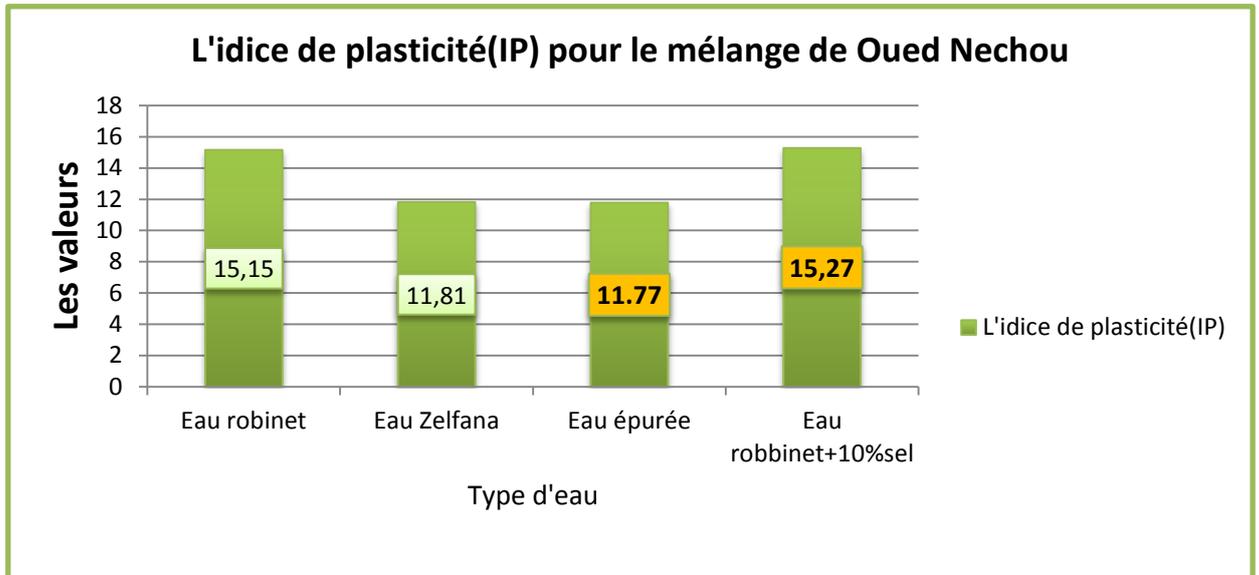
*Figure IV-4 : Histogrammes montrant la variation de la limite de liquidité en fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 37.38 est obtenue en utilisant l'eau de robinet+10% de sel.
- La valeur minimale 33.6 est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 3.78.



*Figure IV-5 : Histogrammes montrant la variation de la limite de plasticité en fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 24.26 est obtenue en utilisant l'eau de Zelfana.
- La valeur minimale 18.45 est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 5.81.



**Figure IV-6 :** Histogrammes montrant la variation de l'indice de plasticité en fonction de type d'eau.

- La valeur maximale 15.27 est obtenue en utilisant l'eau de robinet+10% sel.
- La valeur minimale 11.77 est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 3.5.

Selon la classification LCPC, et l'abaque de plasticité de Casagrande le mélange de Oued Nechou se classe comme Argileux moyennement plastique avec les utilisations des quatre natures des eaux différents, ceci explique que la nature de l'eau n'influe pas sur la plasticité du mélange;

**Tableau IV-1 : Valeurs des limites d'Atterberg des échantillons.**

Type d'eau	Mélange Bouhraoua			Mélange Oued nechou		
	WL%	WP%	IP%	WL%	WP%	IP%
Eau de robinet	22.05	14.51	7.54	33.60	18.45	15.15
Eau de Zelfana	24.15	16.23	7.92	36.07	24.26	11.81
Eau épurée	24.08	17.57	6.51	35.32	23.55	11.77
Eau de robinet+10% sel	23.62	16.78	6.84	37.38	22.11	15.27

Ce tableau en dessus résume les trois paramètres (WL), (WP), (IP) varient en fonction du type d'eau : pour les deux mélanges optimaux Argile Bouhraoua et de l'argile d' Oued Nechou, on remarque que les paramètres de limite sont variaient en fonction du type d'eau d'une façon faible, mais elle n'est pas négligeable donc elle doit être prise en considération pour les deux mélanges. Donc l'influence des types d'eau n'a pas influencé sur la plasticité des deux mélanges ayant une 30% de l'argile et malgré que le mélange d' oued Nechou plus plastique du mélanges de Bouhraoua;

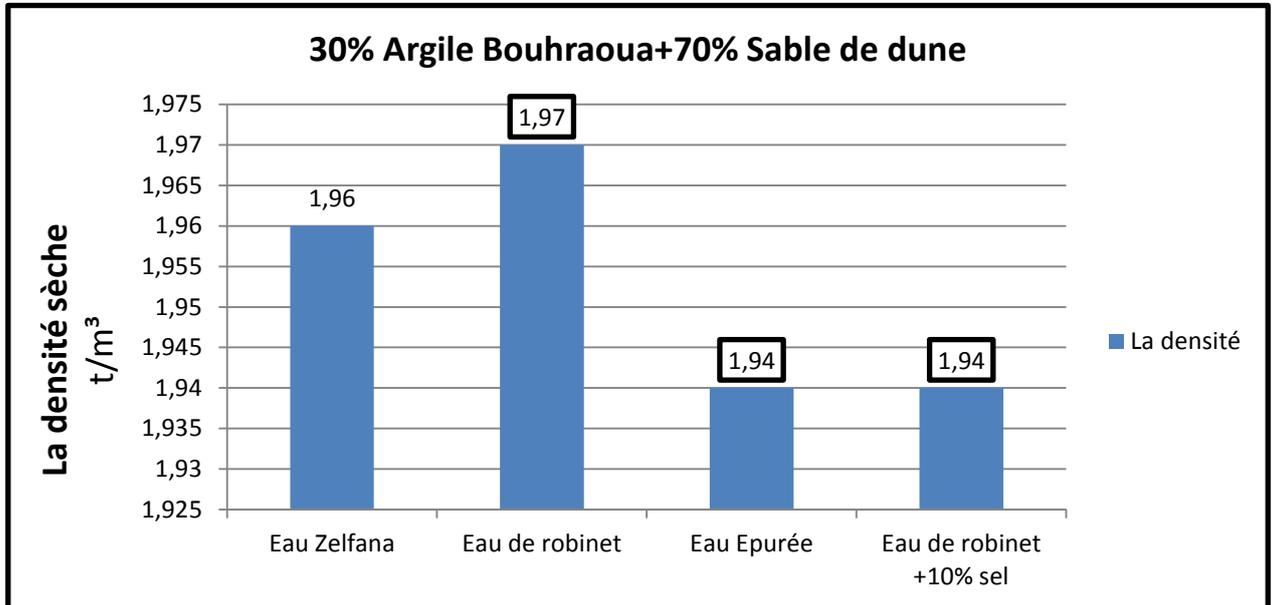
#### **IV-3-2-Influence de la nature de l'eau sur les Essai Proctor Modifié :**

Les étapes des essais de compactage sont faites de la même manière que dans le chapitre précédent selon ( **Norme NF P 94-093**).

Les essais Proctor modifiés ont été réalisés sur les deux mélanges de sol ont utilisant à chaque mélange les quatre type d'eau.

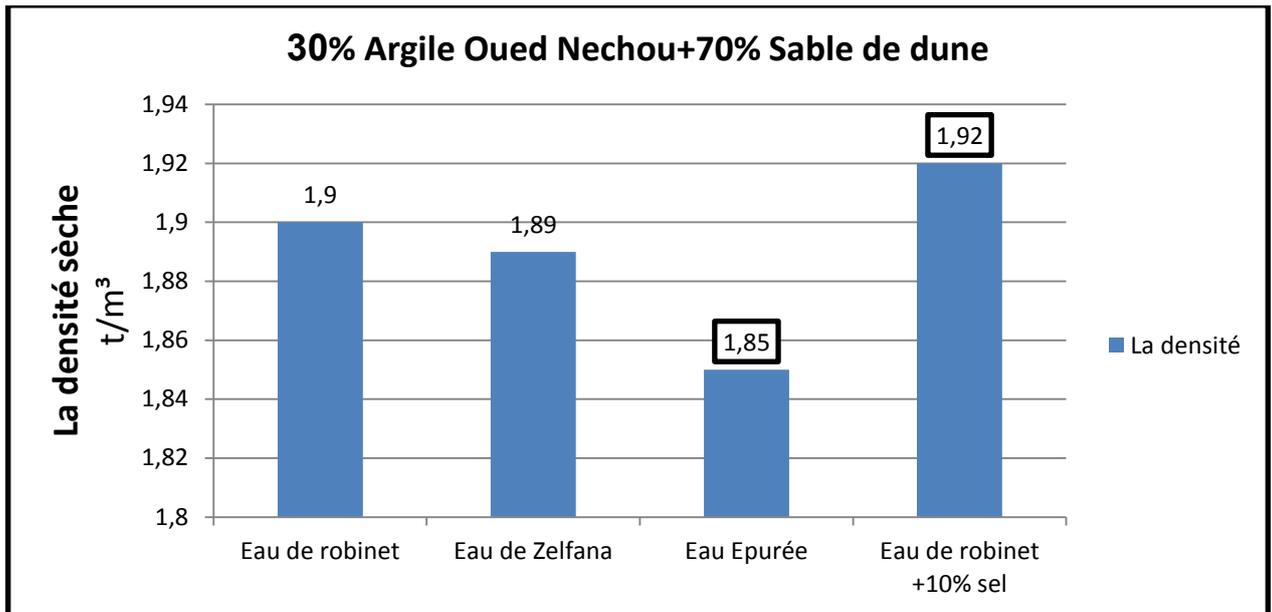
Les paramètres déterminé ce sont la densité sèche et la teneur en eau optimal pour chaque mélange.

- Pour le mélange (30% Argile Bouhraoua+70%Sable de dune) : en gardant la valeur de la teneur en eau pour se mélange égale (12.17%) et on va suivre sauf est-ce la nature de type d'eau a un influence ou pas sur la densité sèche du mélanges.



*Figure IV-7 : Histogrammes montrant la variation de la Densité sèche en fonction de type d'eau.*

- La valeur minimale 1.94 obtenue en utilisant l'eau de robinet +10%sel et l'eau épurée ;
- La valeur maximale est 1.97 obtenue en utilisant l'eau de robinet ;
- La variation entre le maximum et le minimum est de 0.03



*Figure IV-8 : Histogrammes montrant la variation de la Densité sèche en fonction de type d'eau.*

- La valeur minimale 1.85 obtenue en utilisant l'eau épurée ;
- La valeur maximale est 1.92 obtenue en utilisant l'eau de robinet+10% sel ;
- La variation entre le maximum et le minimum est de 0.07

D'après les histogrammes en dessus résume la variation de les densités sèches varient en fonction du type d'eau : pour les deux mélanges optimaux Argile Bouhraoua et de l'argile d'Oued Nechou, sont variaient d'une façon faible, mais elle n'est pas négligeable donc elle doit être prise en considération pour les deux mélanges.

La densité sèche du mélanges d'oued Nechou est plus élevé par rapport le mélange de Bouhraoua car le premier mélanges est plus plastique.

Après les résultats indiqués dans les Histogrammes, nous remarquons que l'effet de la nature de l'eau est presque négligeable néanmoins les eaux épurés ont donnée des valeurs des densités sèches un peu faible par port les autres types pour les deux mélanges

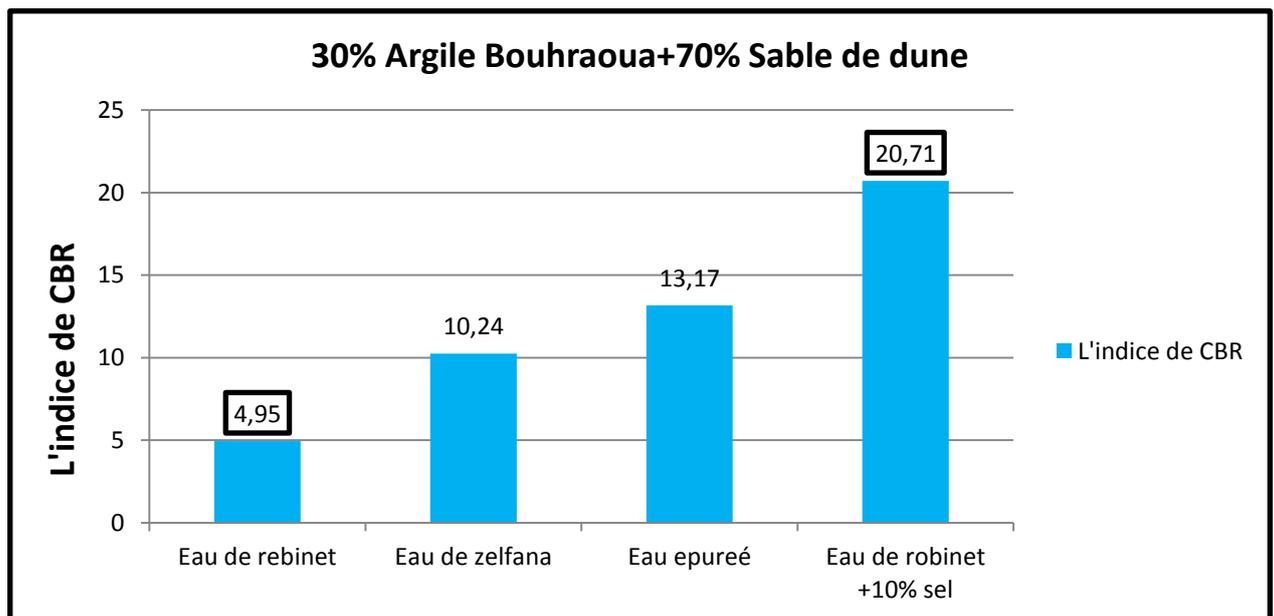
Aussi, on remarque les valeurs de la densité obtenus sont élevé et reste valable pour faire le compactage.

**IV-3-3-Influence de la nature de l'eau sur les Essai CBR (immédiat) :**

L'essai CBR permet de déterminer la résistance au poinçonnement d'un matériau dans les conditions Proctor, nous avons réalisé l'essai de CBR immédiat selon : (NF P 94-078)

Nous avons étudié l'influence de la nature d'eau sur l'indice CBR (ICBR) en utilisant les quatre types d'eau avec les deux mélanges pour l'essai de poinçonnement.

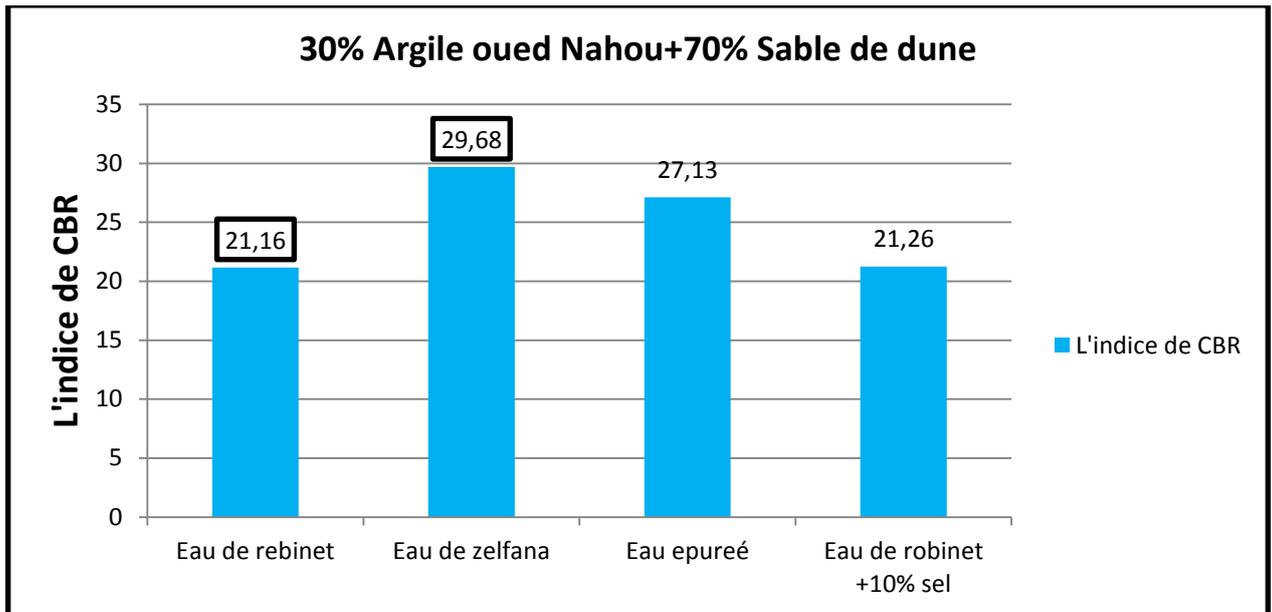
Les résultats obtenus sont représentés sous forme d'histogrammes.



*Figure IV-9 : Histogrammes montrant la variation de l'indice CBR immédiat fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 20.71 est obtenue en utilisant l'eau de robinet+10% sel.
- La valeur minimale 4.95 est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 15.76.

Après les résultats indiqués dans les Histogrammes, nous remarquons que l'effet de la nature de l'eau a donné une valeur plus élevée de l'indice de CBR pour l'eau salée et une valeur faible de l'indice de CBR pour les autres types d'eau et surtout pour l'eau de robinet. Ceci est dû au mélange de Bouhraoua.



*Figure IV-10 : Histogrammes montrant la variation de l'indice CBR immédiat fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 29.68 est obtenue en utilisant l'eau de Zelfana.
- La valeur minimale 21.16 est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 8.52.

Après les résultats indiqués dans les Histogrammes, nous remarquons que l'effet de la nature de l'eau est donne une valeur plus élevée de indice de CBR pour l'eau Zelfana et une valeur moyennement des indice de CBR pour les autres types eaux et surtout pour l'eau de robinet les ceci pour le mélange d'oued Nechou. Ceci explique que les deux mélanges ne réagissent pas de même manière avec la nature des eaux peut être pour la différence du pourcentage des fins entre les deux argiles.

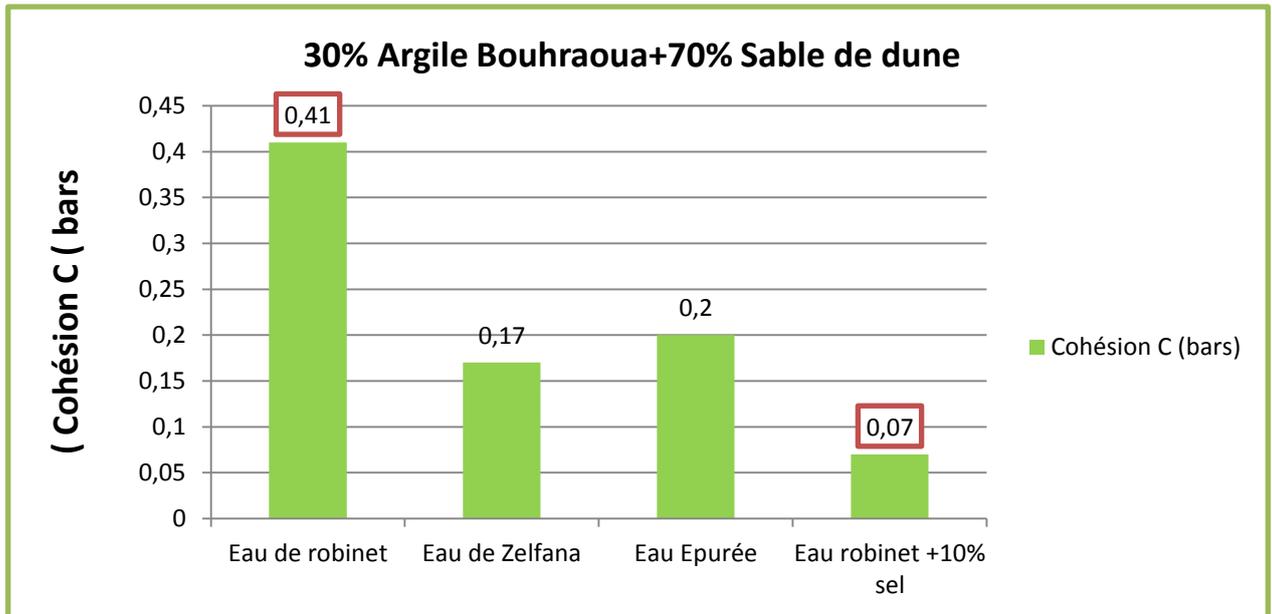
#### **IV-3-4-Influence de la nature de l'eau sur les caractéristiques de cisaillement :**

L'essai de cisaillement rectiligne permet de déterminer les caractéristiques intrinsèques du sol à savoir : l'angle de frottement interne et la cohésion.

Le type d'essai réalisé dans le cadre de notre étude est l'essai non consolidé non drainé (UU) et selon (NF P 94-071-1).

Les échantillons soumis à l'essai ont été préparés selon les conditions Proctor modifié en utilisant les quatre types d'eau pour les deux mélanges. Les résultats obtenus sont représentés sur les histogrammes suivant :

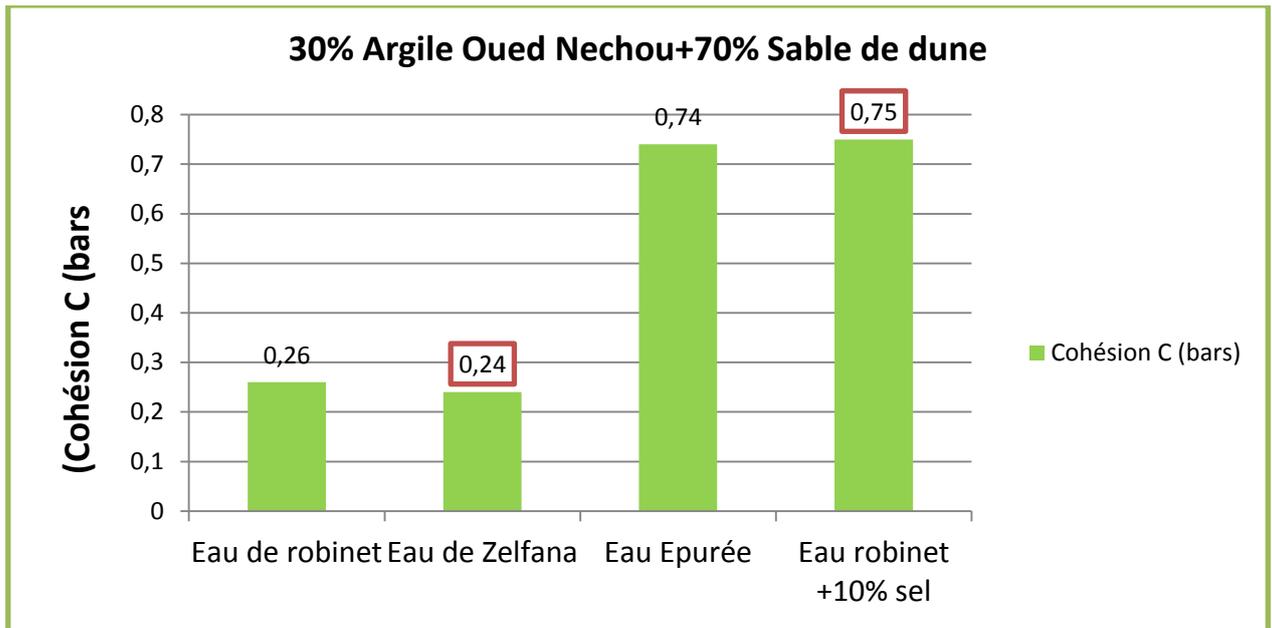
- **La cohésion :**



*Figure IV-11 : Histogramme montrant la variation de la cohésion en fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 0.41 est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La valeur minimale 0.07 est obtenue en utilisant l'eau de robinet+10% sel.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 0.07.

Après les résultats indiqués dans les Histogrammes, nous remarquons que l'effet de la nature de l'eau a donné une valeur plus élevée de la cohésion pour l'eau de robinet et a des valeurs moyennement pour les eaux de Zelfana et épuré mais une valeur très faible pour l'eau salé pour le mélange de Bouhraoua.

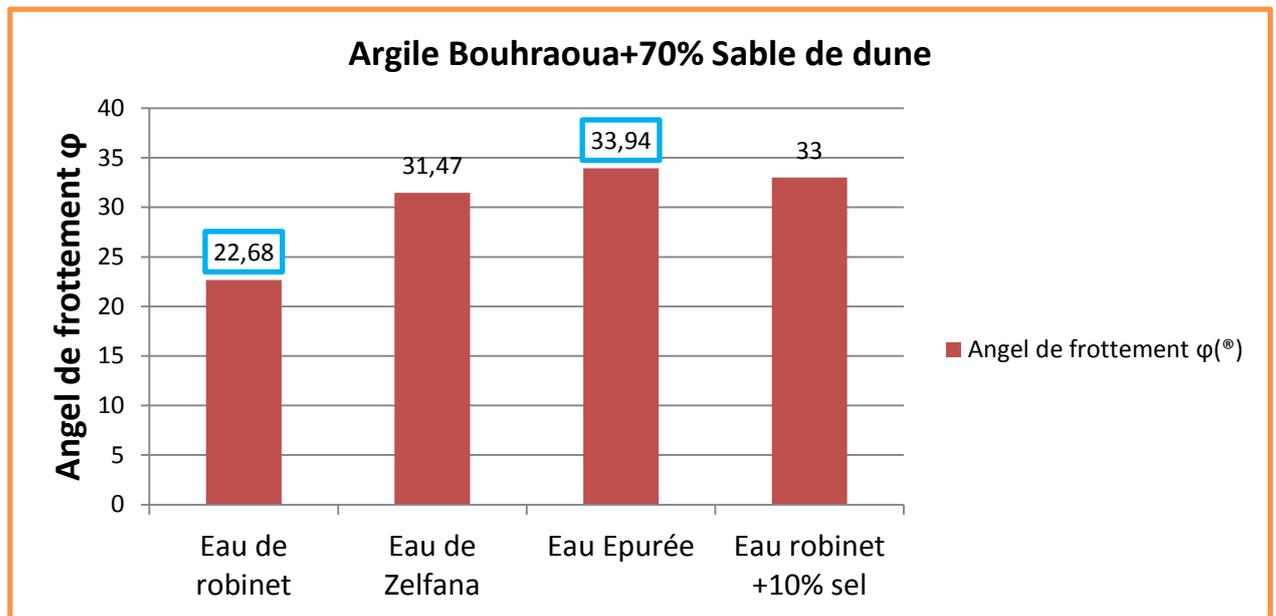


*Figure IV-12 : Histogramme montrant la variation de la cohésion en fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 0.75 est obtenue en utilisant l'eau de robinet+10% sel.
- La valeur minimale 0.24 est obtenue en utilisant l'eau de robinet. I
- La variation entre le maximum et le minimum est de 0.51.

Après les résultats indiqués dans les Histogrammes, nous remarquons que l'effet de la nature de l'eau a donné une valeur plus élevée des cohésions pour les eaux salées et épurées et a des valeurs moyennement pour les eaux de Zelfana et de robinet pour le mélange d'Oued Nechou.

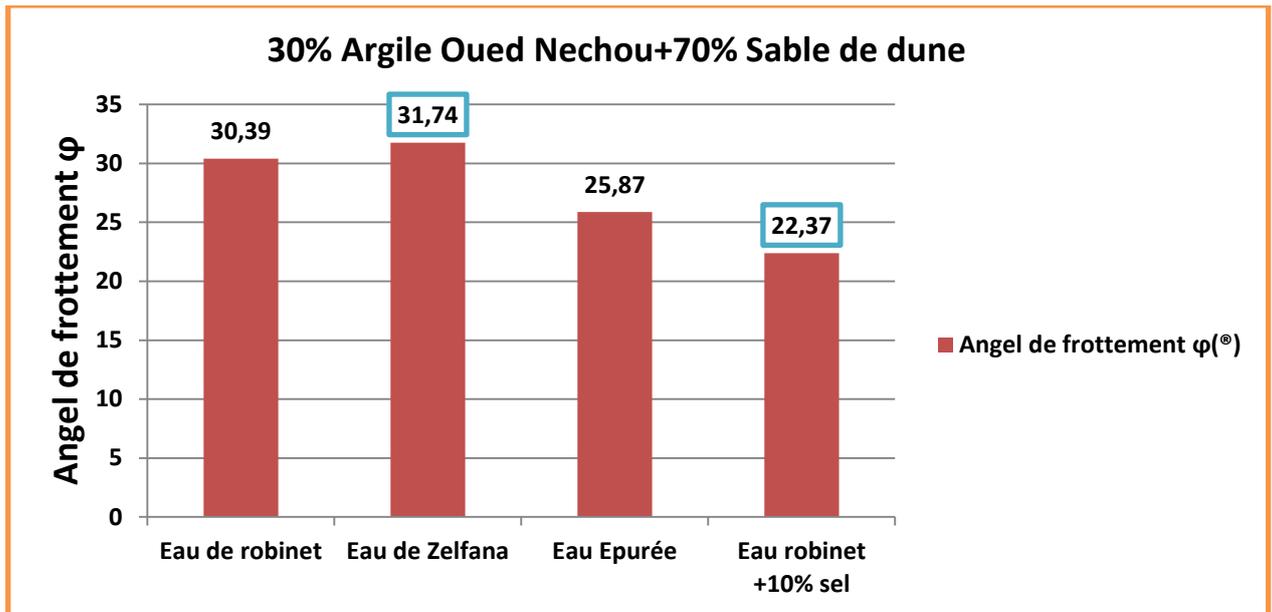
Ceci explique que les deux mélanges ne réagissent pas de la même manière avec la nature des eaux peut être pour la différence du pourcentage des fins et la même chose avec l'essai CBR.

**Angle de frottement :**

*Figure IV-13 : Histogramme montrant la variation de la Angle de frottement en fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 33.94 est obtenue en utilisant l'eau épurée.
- La valeur minimale 22.68 est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 11.26.

Après les résultats indiqués dans les Histogrammes, nous remarquons que l'effet de la nature de l'eau a donné une valeur plus élevée de l'angle de frottement pour l'eau épurée et même identique avec l'eau salée et l'eau de Zelfana et a une valeur moyennement pour l'eau de robinet pour le mélange de Bouhraoua. C'est le contraire des résultats de la cohésion.



*Figure IV-14: Histogramme montrant la variation de la Angle de frottement en fonction de type d'eau.*

- La valeur maximale 31.74 est obtenue en utilise l'eau de Zelfana.
- La valeur minimale 22.37 est obtenue en utilisant l'eau de robinet+10% sel.
- La variation entre le maximum et le minimum est de 9.37.

Après les résultats indiqués dans les Histogrammes, nous remarquons que l'effet de la nature de l'eau a donné une valeur plus élevée du angle de frottement pour l'eau de Zelfana et presque identique avec l'eau robinet et a des valeurs moyennement pour l'eau de épuré et l'eau salé pour le mélange d 'Oued Nechou, c'est le contraire des résultats de la cohésion.

D'après les résultats de l'essai de cisaillement on a trouvé que les deux mélanges ne réagir pas de même manière avec la nature des eaux peut être pour la différence du pourcentage des fins et la même chose avec l'essai CBR.

#### **IV-3-5-Influence de la nature de l'eau sur la perméabilité :**

L'essai la perméabilité permet de déterminer, la capacité d'un matériau de liesses passer un liquide.

Il est qualifié par un coefficient appelé coefficient de perméabilité K.

$$K = (L/t) \times \left(\frac{S}{S}\right) \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Pour notre cas nous avons réalisé les essais de perméabilité à charge variable, car notre matériau contient d'argile et caractérisé par un taux des fines important .

L'essai fait selon (NF P -512-11)

#### IV-3-5-1-Influence de la nature de l'eau sur la perméabilité de mélange (70%Sable de dune +30%Argile Bouhraoua) :

**Tableau IV-2** : valeurs de coefficient de perméabilité selon le type d'eau.

Type d'eau utilisé	Coefficient de perméabilité (K) (cm/s)	La classification		
		Drainage	Type de sol	Travaux génie civile
<b>Eau de robinet</b>	<b><math>1.692 \times 10^{-4}</math></b>	Mauvais	Set m S A	Zones imperméables
<b>Eau de Zelfana</b>	<b><math>9.94 \times 10^{-5}</math></b>	Mauvais	Set m S A	Zones imperméables
<b>Eau épurée</b>	<b><math>7.52 \times 10^{-5}</math></b>	Mauvais	Set m S A	Zones imperméables
<b>Eau de robinet+10%sel</b>	<b><math>3.894 \times 10^{-5}</math></b>	Mauvais	Set m S A	Zones imperméables

- La valeur maximale  $1.692 \times 10^{-4}$  est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La valeur minimale  $3.894 \times 10^{-5}$  est obtenue en utilisant l'eau de robinet+10% sel.
- La variation entre le maximum et le minimum est de  $1.302 \times 10^{-4}$ .

D'après les résultats de l'essai de perméabilité à charge variable on a trouvé que le mélange de Bouhraoua réagit de même manière avec la nature des eaux, c.à.d. on a trouvé la même valeur de perméabilité K

#### IV-3-5-2-Influence de la nature de l'eau sur la perméabilité de mélange (70%Sable de dune +30%Argile Oued Nechou) :

**Tableau IV-3** : valeurs de coefficient de perméabilité selon le type d'eau.

Type d'eau utilisé	Coefficient de perméabilité (K) (cm/s)	La classification		
		Drainage	Type de sol	Travaux génie civile
<b>Eau de robinet</b>	<b><math>4.18 \times 10^{-5}</math></b>	Mauvais	Set m S A	Zones imperméables
<b>Eau de Zelfana</b>	<b><math>1.267 \times 10^{-4}</math></b>	Mauvais	Set m S A	Zones imperméables
<b>Eau épurée</b>	<b><math>1.005 \times 10^{-4}</math></b>	Mauvais	Set m S A	Zones imperméables
<b>Eau de robinet+10%sel</b>	<b><math>6.02 \times 10^{-5}</math></b>	Mauvais	Set m S A	Zones imperméables

- La valeur maximale  $1.267 \times 10^{-4}$  est obtenue en utilisant l'eau de Zelfana.
- La valeur minimale  $4.18 \times 10^{-5}$  est obtenue en utilisant l'eau de robinet.
- La variation entre le maximum et le minimum est de  $8.49 \times 10^{-5}$ .

La classification de résultat selon le tableau (I-1).

D'après les résultats de l'essai de perméabilité à charge variable on a trouvé que le mélange d'oued Nechou réagit de même manière avec tous les types d'eau.

**Tableau IV-4 :** Tableau récapitulatif générale des caractéristiques de mélange (30%ArgileBouhraoua+70% Sable de dune) en fonction des types d'eau.

		<b>Eau de robinet</b>	<b>Eau épurée</b>	<b>Eau de Zelfana</b>	<b>Eau de robinet+10% sel</b>
Limites d'Atterberg	IP%	<b>7.54</b>	<b>6.51</b>	<b>7.92</b>	<b>6.84</b>
Proctor	w <sub>opt</sub> (%)	<b>12.17</b>	<b>12.18</b>	<b>12.03</b>	<b>12.03</b>
	γ <sub>dmax</sub> (t/m <sup>3</sup> )	<b>1.97</b>	<b>1.94</b>	<b>1.96</b>	<b>1.94</b>
CBR	I CBR Immédiat	<b>4.95</b>	<b>13.17</b>	<b>10.24</b>	<b>20.71</b>
Perméabilité	K (cm/s)	<b>1.692×10<sup>-4</sup></b>	<b>7.52×10<sup>-5</sup></b>	<b>9.94×10<sup>-5</sup></b>	<b>3.894×10<sup>-5</sup></b>
<i>cisaillement direct</i>	C (bars)	<b>0.41</b>	<b>0.2</b>	<b>0.17</b>	<b>0.07</b>
	φ	<b>22.68</b>	<b>33.94</b>	<b>31.47</b>	<b>33</b>

**Tableau IV-5 :** Tableau récapitulatif générale des caractéristiques de mélange (30% Argile Oued Nechou+70% Sable de dune) en fonction des types d'eau.

		<b>Eau de robinet</b>	<b>Eau épurée</b>	<b>Eau de Zelfana</b>	<b>Eau de robinet+10% sel</b>
Limites d'Atterberg	IP%	<b>15.15</b>	<b>11.77</b>	<b>11.81</b>	<b>15.27</b>
Proctor	w <sub>opt</sub> (%)	<b>12.58</b>	<b>12.66</b>	<b>12.45</b>	<b>12.67</b>
	γ <sub>dmax</sub> (t/m <sup>3</sup> )	<b>1.9</b>	<b>1.85</b>	<b>1.89</b>	<b>1.92</b>
CBR	I CBR Immédiat	<b>21.16</b>	<b>21.13</b>	<b>29.68</b>	<b>21.26</b>
Perméabilité	K (cm/s)	<b>4.18×10<sup>-5</sup></b>	<b>1.267×10<sup>-4</sup></b>	<b>1.005×10<sup>-4</sup></b>	<b>6.02×10<sup>-5</sup></b>
<i>cisaillement direct</i>	C (bars)	<b>0.26</b>	<b>0.74</b>	<b>0.24</b>	<b>0.75</b>
	φ	<b>30.39</b>	<b>25.87</b>	<b>31.74</b>	<b>22.37</b>

**IV-4-CONCLUSION:**

A la base des résultats obtenus dans les différents essais on peut conclure que :

- ✓ La nature d'eau n'influe pas sur la totalité des essais étudiée comme l'essai de limites d'Atterberg, Proctor modifié et essai perméabilité ; ceci explique que on peut utiliser importe quelle type d'eau.
- ✓ Pour les résultats de l'essai de cisaillement et CBR (immédiat) a trouvé que les deux mélanges ne réagir pas de même manière avec la nature des eaux peut être pour la différence des pourcentages des fine argiles.

**CONCLUSION**  
**GÉNÉRALE**

## Conclusion générale

---

Si nous parle d'un projet, quelque soit en génie civil ou des ouvrages hydraulique, l'un des problèmes est de fournir d'eau nécessaire, surtout dans les zones isolées, lointaines des zones urbain .Donc, il faut obligées de transporter l'eau (Eau de robinet) sur tous les projets nécessitent des grandes quantités d'eau comme les projets de la réalisation des routes et les digues

Alors, c'est un décharge plus pour un projet en fonction de de temps et budget pour cette raison en réfléchir de déposer cette problématiques :

- Est-ce que on peut utiliser les eaux disponibles dans la zone de projet soit l'eau d'un Oued soit des eaux épurées?
- est-ce que la nature d'eau peut influée sur les caractéristiques géotechniques du sol ?

Pour répondre aux questions posées nous fait les essais suivants : essai Limite d'Atterberg, Proctor modifié, CBR immédiat, Cisaillement, Perméabilité sur deux mélanges par quatre types d'eau.

En essayons de garder les mêmes conditions de l'essai (changer un seul paramètre qui est le type d'eau).

Les résultats des essais identification nous ont permis de conclure que :

- ✓ L'analyse granulométrique pour l'argile Bouhraoua et Oued Nechou courbe qu'on est en présence d'un sol à prédominance limono- argileux pour les deux argiles.
- ✓ L'argile de Oued Nechou se classe comme très argileux très plastique .et l'argile de Bouhraoua se classe comme moyennement argileux très plastique.
- ✓ La courbe de sable de dune est très uniforme de forme série se classe dans les gros sable ( $1 < C_u < 3$ ). Est un matériau propre non argileux.
- ✓ Le mélange de Oued Nechou se classe comme moyennement argileux peu plastique .et le mélange de Bouhraoua se classe comme faiblement argileux peu plastique, donc on peut dire que les deux mélanges se classe comme un sable- limoneux.
- ✓ Les analyses d'eau ont montré une différence entre les caractéristiques de chaque eau.

## Conclusion générale

---

Concernant l'étude de la nature de l'eau sur les caractéristiques déterminées au laboratoire, avons conclu que :

- ✓ La nature d'eau n'influe pas sur la totalité des essais étudiée comme l'essai de limites d'Atterberg, Proctor modifié et essai perméabilité ; ceci explique que on peut utiliser n'importe quel type d'eau.
- ✓ Pour les résultats de l'essai de cisaillement et CBR (immédiat) a trouvé que les deux mélanges ne réagir pas de même manière avec la nature des eaux ça peut être à cause la différence des pourcentages des fins argiles.

### **Recommandations**

Nous pouvons suggérer pour le futur, utiliser un seul mélange , un type d'eau et changer le pourcentage de sel .

## Références bibliographiques

---

**AFNOR** « Norme française sol: reconnaissance et essais»:

**BENGAIBONA, B. B. (2009-2010).** Analyse comparée des qualités microbiologique et physico-chimique des eaux de pluie stockées dans des citernes en Ferro ciment : Cas des impluviums de DORI. Mémoire de fin d'étude en master spécialisé Génie Sanitaire et Environnement, istitu international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement: 54

**Bourokba.S. (2001).** «Contribution à la stabilisation chimique de quelques argiles gonflantes de la région d'Oran ». Thèse de Magister (Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, Algérie .2001).

**Ishak, A. (2015/2016).** Influence de la nature de l'eau sur certaines caractéristiques géotechnique d'un sol de la région de Ghardaïa diplôme de MASTER. Filière : Hydraulique, UNIVERSITE de GHARDAIA: 70.

**Kenza, B. (2015 - 2016).** Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Béni Haroun. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master. Constantine Université des Frères Mentouri Constantine Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie33.

**LCPC, (1973).** Essai de laboratoire et en place de mécanique des sols. lessai perméabilité

**Mahmoud, H., et al. (2012).** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrageDJORF- TORBA Bechar Mémoire De Fin D'Etude Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en Biologie, Université de Bechar: 66.

**Nadjet, A. (2011).** REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES PAR FILTRES PLANTES (PHYTOEPURATION ) POUR L'IRRIGATION DES ESPACES VERTS APPLICATION Á UN QUARTIER DE LA VILLE DE BISKRA. MAGISTER, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER – BISKRA – **Ingénieur d'Etat en Hydraulique: 113.**

**NF P -512-11:** «Détermination de la coefficient de perméabilité d'un sol par

**NF P 94-071-1:** «Détermination de La cohésion et Angle de frottement d'un sol par l'essai cisaillement ».

**NF P 94-093:** «Détermination de la densité sèche d'un sol par l'essai Proctor».

**NFP 94- 050:** «Détermination de la teneur en l'eau pondérale des matériaux Méthode par étuvage».

**NFP 94- 051:** Détermination des limites d'Atterberg la limite à la coupelle – limite de plasticité au rouleau.

**NFP 94- 068:** «Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tache ».

**NFP 94-056:** Analyse granulométrique, méthode de tamisage par voie sèche

## Références bibliographiques

---

**NFP 94-078** : Sols : Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion-Indice CBR immédiat - indice portant immédiat mesure sur échantillon compacte dans le moule CBR.

**NFP 94-093** : Sols : Reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau essai Proctor normal - Essai Proctor modifié.

**NFP 94 – 057** : Analyse granulométrique des sols - Méthode par sédimentation.

**NFP 94-068** : Sols : Reconnaissance et essais - Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche.

**NFP 18-598** : Granulats : équivalent de sable.

**Noel, F. P. e. O. (2011)**. Classification des sols. géotechnique routière, Laboratoire du CETE Méditerranée.

**Siradj, B. et S. Hamza (2016-2017)**. ETUDE DE LA STABILISATION AU GONFLEMENT D'UN SOL ARGILEUX PAR L'AJOUT DE SABLE DE DUNE. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER, Université de Ghardaïa.  
**géotechnologie, I. d.** Essai perméabilité. Université de Liège.

## Résumé

L'identification géotechnique des sols est considérée comme la phase la plus importante en mécanique des sols, elle s'effectue à l'aide des essais au laboratoire et selon des modes opératoires établis par la norme en rigueur. L'utilisation de l'eau dans la plupart de ces essais est nécessaire, ici, la question fondamentale qui se pose est : est-ce que la nature de l'eau a une influence sur la qualité des résultats.

Notre travail rentre dans cette optique; elle traite les effets de la nature de l'eau sur certaines caractéristiques géotechniques des sols (la densité sèche, la teneur en eau optimale, la portance et la résistance au cisaillement).

Quatre différents types d'eau ont été utilisés à savoir : eau du robinet, eau du robinet +10% de sel, eau de Zelfana (la nappe phréatique) et eau épurée, pour étudier les caractéristiques d'un matériau composé de 30% d'argile + 70% de sable de dune. Les résultats montrent que la nature d'eau a une influence sur la totalité des caractéristiques étudiée, cette influence n'est pas uniforme pour toute la caractéristiques (Les valeurs maximales et minimales n'ont pas été obtenues toujours pour le même type d'eau).

**Mots clés :** Argile, sable de dune, Caractéristiques géotechniques des sols, Caractéristiques physico-chimiques des eaux.

## Abstract

Geotechnical identification of soils is considered the most important phase in soil mechanics, it is carried out using laboratory tests and according to procedures established by the standard in strictness. The use of water in most of these tests is necessary, here the fundamental question that arises is: does the nature of the water have an influence on the quality of the results.

Our work fits in this perspective; it deals with the effects of the nature of water on certain geotechnical characteristics of soils (dry density, optimal water content, lifts and shears strength).

Four different types of water were used namely: tap water, tap water + 10% salt, Zelfana water (groundwater) and purified water, to study the characteristics of a material composed of 30% d clay + 70% sand dune. The results show that the nature of water has an influence on the totality of the studied characteristics, this influence is not uniform for all the characteristics (The maximum and minimum values were not always obtained for the same type of water).

**Key words:** Clay, sand dune, Geotechnical characteristics of soils, physicochemical characteristics of water.

## المخلص

في علوم التربة، من أهم المراحل لدراسة أي نوع من التربة هي عملية التشخيص و تحديد الخواص الفيزيائية الكيميائية والميكانيكية لها، ولهذا إستعمال الماء في أغلب الأحيان ضروري، وهنا يتم طرح سؤال مهم هو: هل نوعية الماء تؤثر على خصائص التربة

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة مدى تأثير نوعية الماء على بعض الخصائص الجيوتقنية للتربة ، ولتحقيق هذه الغاية درسنا تربة مكونة من 30% من مادة الطين و 70% من رمل الكتبان و قمنا بإستعمال نوعين من الطين من منطقتين مختلفتين (طين بوهراوة، طين واد نشو)، حيث حددت بعض الخصائص الفيزيائية الكيميائية والميكانيكية عن طريق إستعمال أربعة أنواع من الماء وهي: ماء الحنفية ماء، الحنفية مع إضافة 10% من ملح الطعام، مياه زلفانة مياه الجوفية و مياه الصرف الصحي المعالجة.

تمت مقارنة النتائج المتحصل عليها بإستعمال كل نوع من المياه، وقد تبين أن نوعية الماء ليس لها تأثير واضح وغير منتظم ولا يخضع لقوانين ثابتة، ومن دراستنا نستنتج أنه يمكننا إستعمال أي ماء يكون لدينا.

**الكلمات الدالة:** الطين، رمل الكتبان، الخصائص الجيوتقنية للتربة، الخصائص الفيزيائية الكيميائية للماء.