

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Kasdi Merbah Ouargla**



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**

**Département de : Génie Civil et d'Hydraulique**

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master**

**Filière: Travaux Publics**

**Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art**

**Thème**

**Influence de l'exposition à la salinité sur les propriétés  
mécaniques du sol traité**

**Présenté par :**

- ❖ **Khechiba Seif dinne**
- ❖ **Derouiche Med Tidjani**

**Soumis au jury composé de :**

<b>TALMATKADI Fatiha</b>	<b>MAA</b>	<b>U.K.M. Ouargla</b>	<b>Président</b>
<b>BOUZIANE Lamya</b>	<b>MCB</b>	<b>U.K.M. Ouargla</b>	<b>Examineur</b>
<b>ABDELJOUAD Lokmane</b>	<b>MAB</b>	<b>U.K.M. Ouargla</b>	<b>Encadreur</b>

***Année Universitaire: 2021 / 2022***

# Remerciements

*Toute notre gratitude et remerciements vont au bon Dieu le tout puissant qui nous a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour effectuer ce travail.*

*Il ne nous aurait été possible, à nous seul, d'achever le présent travail sans l'assistance, l'appui et le suivi minutieux de nos enseignants et notre encadreur, Docteur LOKMANE Abdeldjouad.*

*Nos sincères remerciements vont au président et aux membres du jury de soutenance qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail. On tient également à remercier tout les responsable des moyens généraux de la faculté de technologie, pour sa disponibilité dès le début de nos essais, ainsi que l'ensemble du personnel du département hydraulique et génie civil de l'université Kasdi Marbeh Ouargla.*

*On ne saurait oublier d'exprimer nos remerciements à tous les enseignants du département de Génie Civil qui ont contribué à notre formation, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont permis, de près ou de loin, de mener à bien ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.*

**MED T. DEROUICHE**

**S. KHECHIBA**

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

***A mes très chers parents:***

*Aucun mot ne serait exprimer ma profonde gratitude et ma sincère reconnaissance envers les deux personnes les plus adorés à mon cœur.*

*Je vous dois ce que je suis. Vos prières et vos sacrifices m'ont comblée tout au long de mon existence. Puisse Dieu vous procurer bonheur, santé, longue vie et vous garder à mes côtés le plus longtemps possible.*

***A mes sœurs Houaida, Abir, shyma et Noura,***

*Pour l'affection qui nous lie, pour l'intérêt que vous portez à ma vie, pour vos soutiens, vos compréhensions et vos encouragements.*

*Que ce travail soit le témoin de la reconnaissance infinie. Je vous souhaite une vie pleine de bonheur.*

*Que Dieu vous protège et consolide les liens sacrés qui nous unissent.*

*Je vous adore ....*

*Seif Eddine*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

***A mes très chers parents:***

*Pour tous leurs sacrifices, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études. Puisse Dieu vous procurer bonheur, santé, longue vie et vous Garder à mes côtés le plus longtemps possible.*

***A mes chères frères et sœurs***

*Je vous souhaite une vie pleine de bonheur. Que Dieu vous protège et consolide les liens sacrés qui nous unissent.*

***A ma chère famille***

*Merci d'être toujours là pour moi. Je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

***A mes très chers amis***

*Med Tidjani*

# Liste des figures

<b>Figure 01:</b> (a) Epandag, (b) Malaxage .....	13
<b>Figure 02:</b> Chantier de traitement du sol au ciment .....	14
<b>Figure 03:</b> Analyse granulométrique par tamisage .....	19
<b>Figure 04:</b> Courbe de Analyse granulométrique .....	20
<b>Figure 05:</b> Appareil de Casagrande .....	21
<b>Figure 06:</b> Appareil de bleu méthylène .....	22
<b>Figure 07:</b> Papier de bleu méthylène.....	22
<b>Figure 08:</b> Matériel de Proctor .....	25
<b>Figure 09:</b> Courbe de proctor .....	26
<b>Figure 10:</b> Courbe de CBR immédiat .....	27
<b>Figure 11:</b> Essai C.B.R imbibé .....	28
<b>Figure 12:</b> Courbe de CBR imbibé .....	29
<b>Figure 13:</b> Courbe granulométrique des sables de sidi-khouiled .....	31
<b>Figure 14:</b> Préparation des échantillons .....	34
<b>Figure 15:</b> Machine de compression simple .....	35
<b>Figure 16:</b> Evolution de la résistance du sol gypseux en compression en fonction de la durée de conservation .....	36
<b>Figure 17:</b> Evolution de la résistance du sol gypseux avec sable de dune en compression en fonction de la durée de conservation.....	36
<b>Figure 18:</b> Solution à une concentration de 0.1 mol .....	38
<b>Figure 19:</b> Solution à une concentration de 1 mol .....	38

# Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Echelle granulométrique de la texture du sol .....	07
<b>Tableau 02</b> : Résumé des études réalisées sur les effets de salinité sur les sols .....	08
<b>Tableau 03</b> : Résumé des études réalisées sur le traitement avec l'activation alcaline .	11
<b>Tableau 04</b> : Analyse granulométrique .....	19
<b>Tableau 05</b> : Résultats d'essais limites d'Atterberg .....	21
<b>Tableau 06</b> : classification de IP.....	21
<b>Tableau 07</b> : Résultats des essais de bleu de méthylène .....	23
<b>Tableau 08</b> : Résultats des essais de La masse volumique apparente .....	24
<b>Tableau 09</b> : Résultats des essais Proctor .....	25
<b>Tableau 10</b> : Résultats des mesures .....	26
<b>Tableau 11</b> : Résultats des essais C.B.R. immédiat .....	27
<b>Tableau 12</b> : Résultats indice C.B.R. immédiat .....	28
<b>Tableau 13</b> : Résultats des essais C.B.R. imbibé .....	29
<b>Tableau 14</b> : Résultats indice C.B.R. imbibé .....	30
<b>Tableau 15</b> : Résultats des essais de analyse chimique .....	30
<b>Tableau 16</b> : Composition chimique du NaOH .....	31

# Sommaire

- Remercîments
- Dédicaces
- Liste des figures
- Liste des tableaux
- Introduction générale .....02

## Première partie

<b>Chapitre 01 : Synthèse bibliographique</b> .....	05
1. Introduction .....	06
2. Caractéristiques du sol .....	06
3. Effet de la salinité et la sodicité sur le sol .....	08
4. Techniques de traitement des sols .....	11
4.1. Méthodes traditionnelles de traitement des sols (ciment,chaux) .....	13
4.1.1. Utilisation de la chaux .....	13
4.1.2. Utilisation du ciment .....	13
4.2. Méthodes de traitement des sols de nouvelle génération (activation alcaline) .	14
5. Conclusion .....	15

## Deuxième partie

<b>Chapitre 02 : Caractérisation des matériaux utilisés</b> .....	17
1. Introduction .....	18
2. Essais d'identifications .....	18
2.1. Analyse granulométrique .....	18
2.1.1. Analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P94-056.....	18
2.2. Les limites d'Atterberg (NF P94-051) .....	20
2.3. L'essai au bleu de méthylène (NF P94-068) .....	21
2.4. La masse volumique apparente .....	23
3. Essais Mécaniques .....	24
3.1. Essais de Proctor modifie (NF P 94-093) .....	24
3.2. Essais de CBR ( N F P 94-078 ) .....	26
3.3. Essai C.B.R immédiat .....	26
3.4. Essai C.B.R imbibé .....	28
4. Analyse chimique .....	30
5. Conclusion .....	32

<b>Chapitre 03 : résultats et discussion</b> .....	33
1. Introduction .....	34
2. Préparation des échantillons .....	34
3. Essai mécanique (essai de résistance à la compression simple) .....	35
4. Discussion et analyse .....	36
5. Sensibilité à l'eau saline .....	38
5.1. Discussion et analyse .....	39
• Conclusion générale .....	41
• Bibliographie .....	43
• Résumé .....	45



# **Introduction générale**

## Introduction Générale :

L'Algérie regorge aujourd'hui de vastes projets d'infrastructures (autoroutes, routes, voies ferrées, etc.) où la plupart d'entre eux sont prévus pour être construits sur des zones couvertes de sols Sabkha. Ces sols sont des sédiments salins récents largement répartis en Algérie et dans d'autres pays. La salinité des sols est une préoccupation majeure dans les régions arides et semi-arides du monde et considérée comme une menace environnementale. Il déclenche les processus d'érosion, de dispersion des sols et devient parfois un géo-danger en rendant les conditions du sol impropres à la construction en raison de l'affaissement et de la corrosion.

Les argiles sont des composants importants du sol qui évoluent principalement à partir de la transformation chimique des minéraux. En géotechnique, il est considéré comme un sol à grain fin, ils ont une grande affinité pour l'eau, mais certains sols argileux réagissent mécaniquement plus que d'autres. Les argiles gonflantes formées à partir de groupes minéraux de montmorillonite posent de sérieux problèmes, y compris de grands tassements sous les superstructures ou deviennent perméables hydrauliquement en cas de changement des caractéristiques du fluide interstitiel. Ces problèmes proviennent principalement de changements dans l'état physico-chimique des particules de sol, provoquant des changements dans l'épaisseur de la double couche diffuse.

La chimie des fluides interstitiels est l'un des facteurs qui influencent l'épaisseur de la couche d'eau adsorbée entourant les argiles. C'est-à-dire qu'une forte concentration de cations, une valence élevée de cations et un environnement acide diminuent considérablement l'épaisseur de la double couche autour des particules d'argile. Par conséquent, les performances des structures en terre. Par exemple, Les revêtements d'argile imperméables changent radicalement lorsque la chimie des fluides interstitiels du système change avec le temps. D'autre part, l'épaisseur de la double couche autour des argiles non gonflantes diminue également lorsqu'elle est exposée à des produits chimiques.

L'objectif de notre travail d'étudier **Influence de l'exposition à la salinité sur les propriétés mécaniques du sol traité.**

Pour cela, les démarches adoptées reposent, sur la collecte des échantillons, le traitement et l'analyse au laboratoire portant sur la salinité et le traitement avec NaOH.

Le présent document est structuré en trois parties :

- La première partie est une généralité bibliographique sur les sols, les effets de la salinité et les techniques de traitement.
- La deuxième partie explicite le matériel utilisé et les essais nécessaires adoptée pour la réalisation de ce travail.
- Les résultats obtenus sont présentés et discutés dans la troisième partie.

En fin nous terminons ce travail par une conclusion générale dans laquelle nous présentons l'essentiel des résultats et les recommandations pour l'avenir.



# **Première partie**



# Chapitre I

Synthèse bibliographique

## 1. Introduction :

La stabilisation des sols est un terme général désignant la modification chimique ou physique des sols naturels pour améliorer leurs propriétés afin de répondre à un objectif d'ingénierie. L'utilisation de différents additifs tels que l'incorporation de stabilisants traditionnels à base de calcium peut être une méthode bénéfique pour améliorer les caractéristiques chimiques et physiques des sols. L'incorporation de différents additifs est devenue de plus en plus populaire en raison de sa robustesse et de sa facilité d'adaptation. Les stabilisants cimentaires traditionnels tels que le ciment, cependant, ont des effets environnementaux négatifs au cours de ses processus de fabrication en plus de leurs coûts de fabrication élevés.

Récemment, des recherches menées sur le développement de liants activés par un alcali ont révélé que cette méthode a un énorme potentiel pour être considérée comme le nouveau type de liants. L'activation alcaline (ou « géopolymérisation ») a été décrite comme une polycondensation, une réaction qui incorpore chimiquement des minéraux.

Le problème de la salinité est énorme dans la zone de la Sabkha en Algérie. Dans ces régions, la salinité des eaux souterraines, ainsi que les zones affectées par la salinité, augmentent de jour en jour en raison de l'urbanisation rapide, du mouvement latéral de la salinité dans les eaux souterraines pendant la saison sèche, de l'extraction excessive des eaux souterraines liée aux activités agricoles, des effets du réchauffement climatique, etc. (Ahmed et al., 2007 ; Habiba et al., 2013).

## 2. Caractéristiques du sol :

Le sol comporte trois phases: une phase solide (qui est minérale et organique), une phase liquide ou solution du sol (qui correspond à l'eau et aux éléments dissous), et une phase gazeuse (composé principalement de l'oxygène, de méthane, de d'oxyde decarbonate).

Le sol est d'abord caractérisé par une texture et une structure qui va fortement conditionner ses propriétés physiques et chimiques, notamment celle liées à l'eau.

La texture du sol est caractérisée par la taille et la distribution des particules. La composition granulométrique du sol permet de déterminer sa texture. La composition s'exprime en pourcentage des trois principales fractions minérales.

La texture du sol est une propriété constante dans le temps et peu variable spatialement (*Baize, et Jabial, 1995*).

**Tableau 01** : Echelle granulométrique de la texture du sol.

Terre fine						Terre Grossiere
Argile	Limons fins	Limons grossière	Sable fine	Sable grossière	graviers	Cailloux
<2µm	2µm à 20mm	20µm à 50mm	50µm à 200µm	200µm à 2mm	2mm à 20mm	>20mm

Les sols salés sont l'un des types de sols les plus problématiques, provoquant des perturbations majeures dans les infrastructures de transport ainsi que dans d'autres installations civiles et industrielles de faible hauteur.

### 3. Effet de la salinité et la sodicité sur le sol :

**Tableau 2: Résumé des études réalisées sur les effets de salinité sur les sols.**

Référence	Titre de la publication	Type du sol étudié	Conclusion
Ajalloeian et al. (2013)	Effect of Saline Water on Geotechnical Properties of Fine-grained Soil	Sol à grain fin	Les résultats ont montré que les limites d'Atterberg, l'indice de compression et l'indice de gonflement diminuent et que le coefficient de consolidation et les paramètres de résistance au cisaillement augmentent à mesure que la salinité de l'eau interstitielle augmente. Par rapport à l'eau distillée, l'effet de l'eau salée sur le test de consolidation sous haute pression n'est pas pris en compte. Aussi les résultats des tests de dispersion ont montré qu'il n'y a pas de dispersion dans le sol en contact avec l'eau salée.

Min Li et al. (2016)	Effect of chlorine salt on the physical and mechanical properties of inshore saline soil treated with lime	Sol salin traité à la chaux	Le sel avait peu d'effet sur la densité sèche maximale ou la teneur en eau optimale, et son effet sur le compactage in-situ était négligeable. Fait important, le sel n'a pas réagi avec la chaux et n'a été adsorbé qu'à la surface du sol ou dans les pores. De plus, le sel de chlore a induit des problèmes d'ingénierie dans le sol traité à la chaux, ce qui a affecté sa stabilité, en particulier lorsque la teneur en sel était supérieure à 3,0 %. Ainsi, des mesures d'imperméabilisation doivent être appliquées au sol salin traité.
----------------------	--	-----------------------------	---

Abu zeid et al. (2016)	Effect of salinity of groundwater on the geotechnical properties of some Egyptian clay	Sol argileux	<p>L'eau salée provoque une réduction de la limite de liquidité, de la limite plastique et de l'indice de plasticité des minéraux argileux.</p> <p>L'eau salée augmente la taille des particules des minéraux argileux. La teneur en humidité optimale du minéral argileux augmente lors de l'utilisation d'eau salée. Aucune réaction pouzzolanique n'a lieu dans l'échantillon d'argile lors du traitement avec de l'eau salée. Le coefficient de consolidation augmente lors du traitement avec de l'eau salée. Le rapport portant de la Californie augmente également lors du traitement avec de l'eau salée.</p>
Ahsan et al. (2020)	Influence of salinity exposure on the mechanical properties of cement-treated sand	Sable traité au ciment	<p>La présence de solution saline dans le sol est un paramètre important affectant la résistance. On peut en conclure que plus la concentration en sel est élevée, plus la résistance à la compression sera faible. L'existence d'un milieu salin dans le sol a un effet potentiellement négatif sur le module d'élasticité. De plus, une exposition prolongée à une concentration croissante de sel diminue la rigidité du sol sablonneux.</p>

#### 4. Techniques de traitement des sols :

**Tableau 03: Résumé des études réalisées sur le traitement avec l'activation alcaline.**

Référence	Titre de la publication	Type du sol traité	Conclusion
Cristeloet al. (2011)	Deep soft soil improvement by alkaline activation	Les sols mous	Des tests en laboratoire ont révélé que l'utilisation de cendres volantes et d'un activateur alcalin a entraîné une amélioration de la résistance du sol jusqu'à 43,4 MPa à 365.
Sargent et al. (2013)	The use of alkali activated waste binders in enhancing the mechanical properties and durability of soft alluvial soils	Sols alluviaux	L'étude indique que les sols stabilisés avec du laitier de haut fourneau activé par un alcali ont entraîné les plus grandes améliorations de résistance et de durabilité. Il a été observé que l'ajout d'activateurs alcalins permettait aux réactions pouzzolaniques de se produire, ce qui a conduit à des propriétés mécaniques améliorées ; principalement la force, qui a augmenté avec le temps.

Zhang et al. (2013)	Experimental feasibility study of geopolymer as the next-generation soil stabilizer	Argile maigre + Métakaolin	Les résultats des tests ont indiqué qu'avec les concentrations de géopolymères, la résistance à la compression, la déformation à la rupture et le module de Young des échantillons de sol stabilisés ont augmenté, et les déformations de retrait pendant le durcissement ont diminué.
Abdeldjouad et al. (2019)	Effect of Clay Content on Soil Stabilization with Alkaline Activation	3 différents types de sols	Les minéraux argileux du sol hébergé jouent un rôle important dans la stabilisation du sol avec une activation alcaline qui affecte le comportement du liant avec le sol hébergé.

## 4.1. Méthodes traditionnelles de traitement des sols (ciment,chaux) :

### 4.1.1. Utilisation de la chaux :

Depuis plusieurs décennies, l'utilisation de la chaux pour stabiliser les argiles a connu beaucoup de succès. En effet, plusieurs études ont démontré que les propriétés mécaniques d'un sol traité à la chaux peuvent être modifiées de façon permanente. Dans certains cas par exemple, un sol stabilisé à la chaux fournit une performance structurelle équivalente à celle d'une fondation en gravier naturel ou en concassé (Bell, 1978). L'utilisation de la chaux se fait par l'addition des produits calcaires calcinés de monoxyde de calcium (chaux vive, CaO) ou d'hydroxyde de calcium (chaux hydratée, Ca(OH)). Généralement, la chaux vive est plus efficace que la chaux hydratée pour l'amélioration des sols. La chaux est plus efficace aux sols argileux que les sols granulaires. Par conséquent, les sols présentant des indices de plasticité au-delà de 10 sont les plus ciblés par ce procédé (Fig. 01). De plus, la réussite de stabilisation à la chaux d'un sol nécessite d'une part une source de silice et/ou d'alumine et d'autre part des particules de petites dimensions susceptibles à l'échange cationique ainsi que la durée de cure.



Figure 01 : (a) Epannage



(b) Malaxage

### 4.1.2. Utilisation du ciment :

Le ciment Portland est un autre produit envisageable pour la stabilisation de certaines catégories de sols utilisés pour les routes. Alors qu'il existe plusieurs similarités entre la chaux et le ciment Portland comme stabilisants, le ciment Portland fournit en plus la chaux et la source de silice. Lorsque le ciment Portland est mélangé à l'eau, l'initiation

de l'hydratation occasionne une augmentation rapide de la concentration de calcium dans le sol. A mesure que les ions de calcium sont libérés, ils deviennent disponibles pour stabiliser l'argile (Fig. 02).

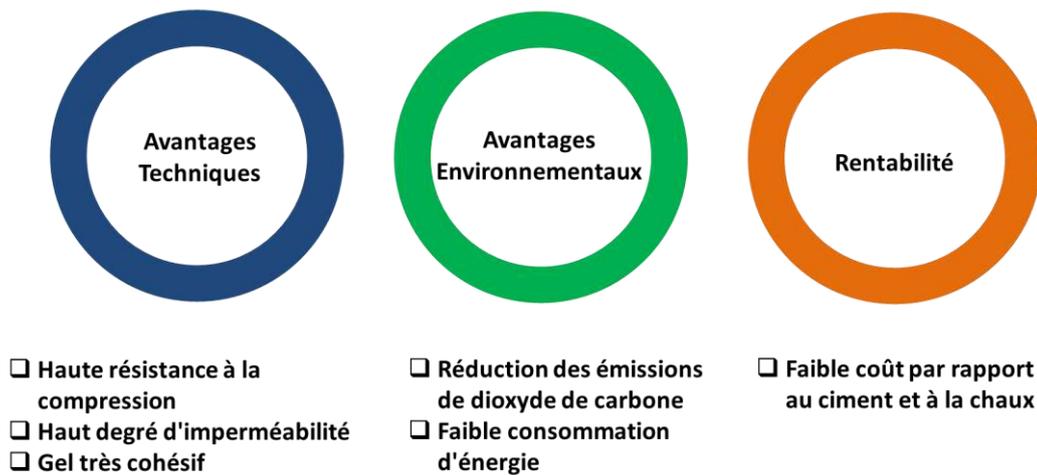


**Figure 02 : Chantier de traitement du sol au ciment.**

Comme indiqué ci-dessus, le processus de stabilisation initié par l'ajout du ciment Portland à l'argile engendre quatre étapes distinctes à savoir l'échange cationique, la floculation et l'agglomération de l'argile, l'hydratation par cimentation et les réactions pouzzolaniques. Le ciment Portland possède donc des propriétés lui permettant d'initier une étape de plus que la chaux soit celle de l'hydratation par cimentation. Les sols possédant un faible pourcentage d'argile, donc moins de silice et d'alumine ont besoin d'un apport de ciment si les réactions pouzzolaniques sont désirées. Par conséquent, le ciment Portland peut généralement être utilisé dans les mêmes types de sols que la chaux.

#### **4.2. Méthodes de traitement des sols de nouvelle génération (activation alcaline):**

L'activation alcaline est un processus chimique qui se produit en mélangeant un aluminosilicate en poudre avec un activateur alcalin pour produire une pâte capable de prendre et de durcir dans un temps spécifique qui dépend de plusieurs critères tels que la nature de l'aluminosilicate utilisé, l'activateur alcalin et le type de durcissement.



## 5. Conclusion:

A notre connaissance, il n'y a pas eu d'étude pour évaluer l'influence de l'exposition à la salinité sur les propriétés mécaniques des sols traités par activation alcaline, cette technique est donc une nouveauté dans le domaine de la géotechnique. Les particularités de cette technique sont :

- Respectueuse de l'environnement en raison du potentiel de réduction de l'émission de dioxyde de carbone
- C'est une réaction pouzzolanique et elle pourra se mélanger avec certains activateurs
- En raison de faible coût par rapport au ciment et à la chaux.

Ces caractéristiques apporteront la stratégie pour étudier comment et où nous pouvons utiliser cette nouvelle méthode appropriée dans la stabilisation des sols pour absorber et éliminer de plus grandes quantités de dioxyde de carbone de l'atmosphère et augmenter également la stabilité du sol contre la salinité.



# **Deuxième partie**

# Chapitre II

Caractérisation des matériaux utilisés

## 1. Introduction :

Les essais d'identification permettent en principe de classer les sols rencontrés au cours d'une campagne de reconnaissance géotechnique en familles pour lesquelles les propriétés mécaniques sont voisines. Ils permettent également d'avoir une première estimation de l'ordre de grandeur des propriétés mécaniques en se reportant aux résultats publiés pour des familles de sols semblables à celles étudiées. Il faut cependant savoir que les corrélations générales entre caractères d'identification des sols et caractéristiques mécaniques données dans la littérature ne sont le plus souvent valables que pour des sols remaniés et homogénéisés, ou des sols granulaires sans cohésion. Elles seront donc utiles dans les problèmes liés aux remblais (routes, barrages, etc.). Par contre chaque fois que l'on voudra les utiliser pour estimer les propriétés d'un sol non remanié il faudra être très prudent et de façon impérative les caler par de nombreuses mesures sur des échantillons intacts représentatifs.

## 2. Essais d'identifications :

### 2.1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, et comprend :

- Un tamisage pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimensions supérieures ou égales à 80 micromètres.

#### 2.1.1. Analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P94-056:

Déterminer la répartition des grains de sol suivant leur dimension dans un échantillon, et la représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

L'essai consiste à étudier la granulométrie du sol, c'est à dire la distribution des grains suivant leur dimension en déterminant par pesée l'importance relative des classes de grains de dimensions bien définies.

Après avoir séché l'échantillon à l'étuve à une température de l'ordre de 105°C et emboîté les tamis sur un fond plein dans un ordre décroissant du haut vers le bas, on verse le matériau dans la partie supérieure de la colonne de tamis et on ferme

l'ensemble avec un couvercle pour éviter toute perte durant le tamisage qu'on effectue manuellement.



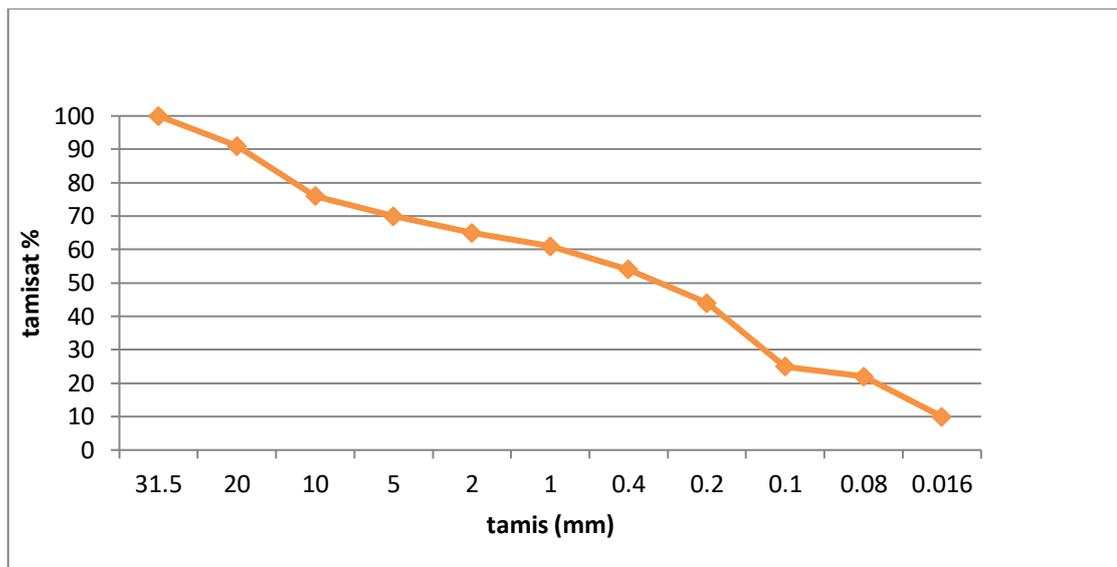
**Figure 03: Analyse granulométrique par tamisage.**

Appareillage utilisé :

- Une colonne de tamis.
- Tamiseuse mécanique.
- Balance de précision.

**Tableau 04: Analyse granulométrique.**

Tamis (mm)	Tamisat (%)
31.5	100
20	91
10	76
05	70
02	65
01	61
0.4	54
0.2	44
0.1	25
0.08	22



**Figure 04: Courbe d'analyse granulométrique.**

Coefficient de régularité :

$$Cu = D60 / D10 = ( 1,3 \div 0 ) = 0$$

**NB** :  $Cu < 2$  la granulométrie est dite uni-forme ou serrée.

## 2.2. Les limites d'Atterberg (NF P94-051) :

On détermine par cet essai les limites de liquidité et de plasticité d'un sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 400  $\mu\text{m}$ .

Les limites d'Atterberg consistent en des teneurs en eau limites qui marquent la transition entre deux états de consistance dans un sol cohérent.

Ces limites permettent de classer les sols selon leur plasticité et sont obtenues de manière empirique à l'aide de méthodes normalisées.

L'agronome suédois Atterberg a proposé un mode opératoire permettant de définir avec précision les teneurs en eau limite pour chaque état, teneurs en eau qui sont appelées limites d'Atterberg. Les limites d'Atterberg les plus utilisées en mécanique des sols sont la limite de liquidité  $W_L$  et la limite de plasticité  $W_p$ . Elles se mesurent sur le mortier c'est-à-dire la fraction du sol qui passe au tamis de 0,4-0 mm.

$W_L$  est la teneur en eau au-dessous de laquelle le sol cesse d'avoir la consistance d'un liquide très visqueux.  $W_p$  est la teneur en eau au-dessous de laquelle le sol cesse d'être plastique.

Appareillage utilisé:

- Appareil de Casagrande.
- Outil à rainurer.
- Une spatule.
- Surface lisse non absorbante.



**Figure 05: Appareil de Casagrande.**

**Tableau 05: Résultat d'essais limites d'Atterberg.**

wL (%)	wP (%)	IP (%)
32.25	Non mesurables	

NB : puisque Wp et IP ( non mesurable ).

Donc :  $IP < 12$  notre sol faiblement argileux.

**Tableau 06: classification de IP.**

Ip	Classification
$Ip < 12$	faiblement argileux
$12 < Ip < 25$	moyennement argileux
$25 < Ip < 40$	argileux
$Ip > 40$	très argileux

### 2.3. L'essai au bleu de méthylène (NF P94-068) :

Evaluer la richesse en argile d'un sol en mesurant sa capacité d'adsorption de molécules de bleu de méthylène.

Le principe de la méthode consiste à contrôler l'adsorption du bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant les fines de la prise d'essai, en observant une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre.

La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu, entouré d'une zone humide incolore. La saturation des fines en bleu, se traduit par la formation d'une auréole bleu clair persistante autour du dépôt central.

Appareillage utilisé :



Figure 06 : Appareil de bleu méthylène.

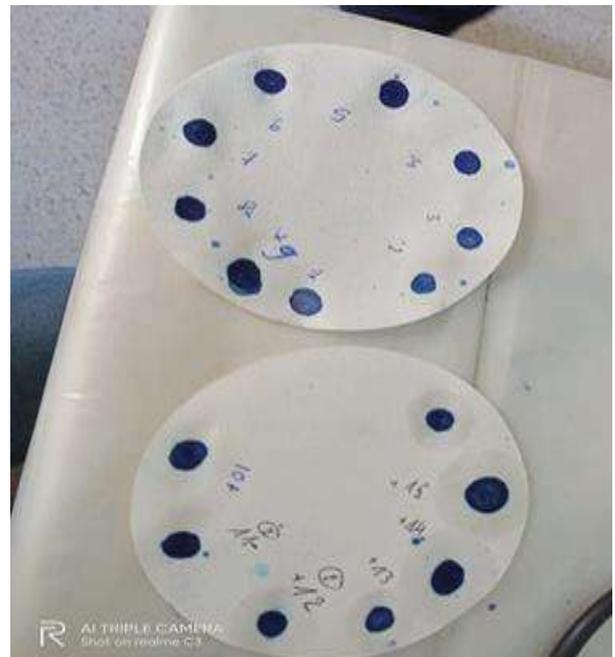


Figure 07: papier de bleu méthylène.

Classification de sol :

$0 < \text{sols sableux} < 0,2$

$0,2 < \text{sols limoneux} < 2,5$

$2,5 < \text{sols limoneux-argileux} < 6$

$6 < \text{sols argileux} < 8$

$8 > \text{sols très argileux}$

**Tableau 07: Résultats des essais de bleu de méthylène.**

Masse du sol (g)	Volume de la solution (cm <sup>3</sup> )	VBS (g/cm <sup>3</sup> ) moyenne
30	160	0.18

Selon la valeur de VBS (g/cm<sup>3</sup>) notre sol est : SOL sableux..

#### 2.4. La masse volumique apparente :

Cet essai permet de déterminer la masse volumique apparente d'un corps (sable, gravier...) C'est-à-dire la masse en t (tonne) de ce corps, pour 1 m<sup>3</sup> de volume. Cette masse volumique intègre les grains de l'agrégat ainsi que les vides compris entre les grains. On remplit un récipient dont on connaît le volume, en prenant de grandes précautions pour éviter les phénomènes parasites provoqués par le tassement. On pèse ensuite l'échantillon en prenant soin de déduire la masse du récipient. La masse de l'échantillon est divisée par le volume du récipient pour donner la masse volumique apparente du matériau.

$$M_{vapp} = M/V$$

$M_{vapp}$  = masse volumique apparente en g/cm<sup>3</sup>.

M = masse du matériau étudié en g.

V = volume du récipient en cm<sup>3</sup>.

**Tableau 08: Résultats des essais de La masse volumique apparente.**

Essai	M (g)	Poids de moule (cm <sup>3</sup> )	Mvapp (g/cm <sup>3</sup> )	Moyenne
Essai 01	915	1000	0.915	0.942
Essai 02	935	1000	0.935	
Essai 03	976	1000	0.976	

### 3. Essais Mécaniques:

#### 3.1. Essais de Proctor modifié (NF P 94-093) :

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage.

L'essai Proctor a pour objet de préciser pour un sol donné et un compactage normalisé l'influence de la teneur en eau. Le sol étudié est compacté, à différentes teneurs en eau  $W$ . On mesure chaque fois la densité sèche du matériau compacté et on trace la représentation graphique de la variation de  $\gamma$  à en fonction de  $W$ .

Matériel nécessaire :

- Moule Proctor.
- Dame Proctor normal ou modifié.
- Règle à araser.
- Disque d'espacement.
- Tube inséré.
- Balance.



**Figure 08: Matériel de Proctor.**

Après avoir terminé l'essai, nous obtenons les résultats suivants :

**Tableau 09: Résultats des essais Proctor.**

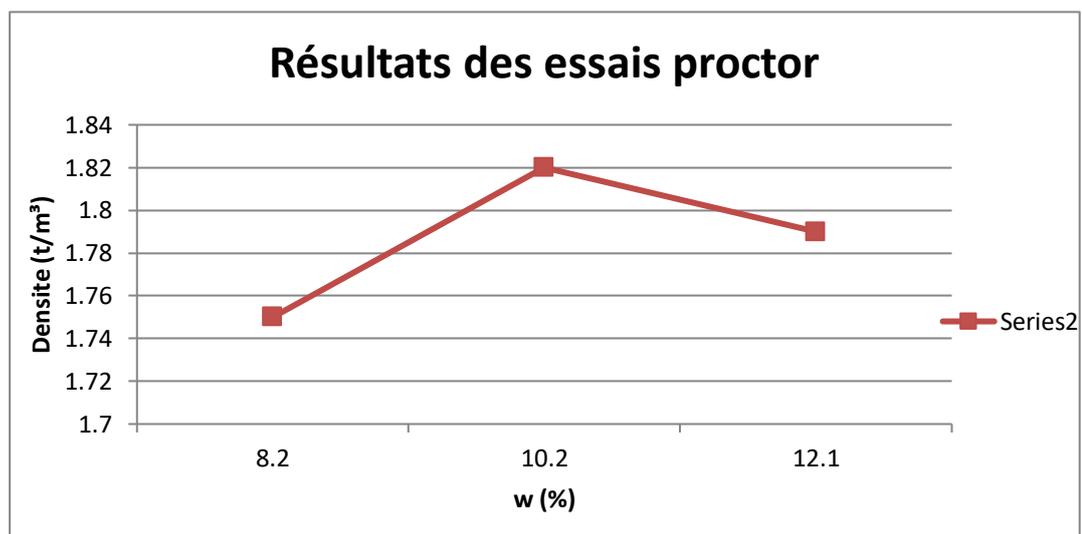
Poids d'eau ajoutée	8%	10%	12%
Poids total humide	7959	8114	8219
Poids du moule	3603	3854	3603
Poids du sol humide	4356	4260	4616
Poids du sol sec	4025	3867	4117
Volume du moule	2303	2122	2303
Densité sèche	1.75	1.82	1.79
N° de la tare	/	/	/
Poids total humide	387.7	524.6	491.4
Poids total sec	358.31	476.25	438.31
Poids de la tare	/	/	/
Poids de l'eau	29.38	48.34	53.08
Poids du sol ses	358.31	476.25	438.31
Teneur en eau	/	/	/
moyenne	8.02	10.15	12.1

Tableau 10: Résultats des mesures.

<b>W (%)</b>	8.2	10.2	12.1
<b>Densité (t/m<sup>3</sup>)</b>	1.75	1.82	1.79

Figure 09: Courbe de Proctor.

NB : après designer le diagramme la densité sèche égal 1,82 t/m<sup>3</sup>.



### 3.2. Essais de CBR ( N F P 94-078 ):

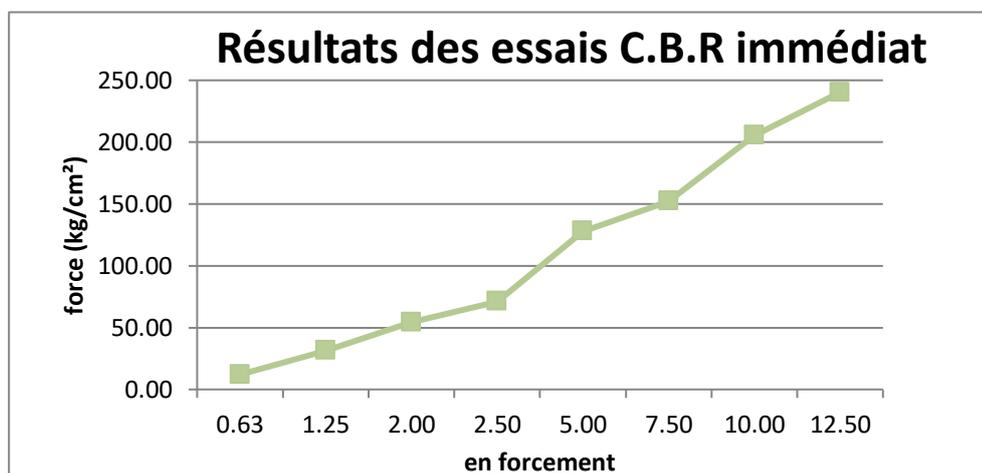
L'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements conventionnels sont respectivement rapportées aux valeurs des force observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements, l'indice recherché est défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur, exprimée en pourcentage, des deux rapports ainsi calculés.

### 3.3. Essai C.B.R immédiat :

Après avoir déterminé la teneur en eau grâce à l'essai de Proctor, nous préparons un échantillon et le mettons dans un moules CBR, puis le mettons dans un tester CBR puis obtenir les résultats les résultats suivants.

**Tableau 11: Résultats des essais C.B.R. immédiat.**

En forcement (mm)	Lecteur	Force (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.63	2.31	12.01
1.25	6.02	31.30
2.00	10.43	54.22
2.5	13.67	71.04
5.00	24.58	127.79
7.50	29.28	152.22
10.00	39.48	205.25
12.50	46.22	240.29



**Figure 10: Courbe de CBR immédiat.**

La pression en 2,5 mm = 71,07 kg/cm<sup>2</sup> équivalent Pr = 13,67 Kn

La pression en 5 mm = 127,79 kg/cm<sup>2</sup> équivalent Pr = 24,58 Kn

à 2.5 mm :  $P(2.5) / 0,7 = 19,53$

à 5 mm :  $P(5) / 1,05 = 23,41$

Donc : indice CBR = 23,41

**Tableau 12: Résultats indice C.B.R. immédiat.**

Indice 2.5	Indice 5	Indice max
19.53	23.41	23.41

NB : après designer le diagramme et calculer l'indice de CBR

$12 < \text{CBR} < 25$  donc la classe de portance est : S3 portance élevée.

### 3.4. Essai C.B.R imbibé :

Nous faisons la même chose que l'essai précédente, avec le moule immergé dans l'eau pendant quatre heures (4h), tout en registrant les lecteurs visibles à travers l'inducteur toutes les (1h). Au bout de (4h), on sort le moule de l'eau et on le met dans le testeur CBR, pour obtenir les résultats suivants :

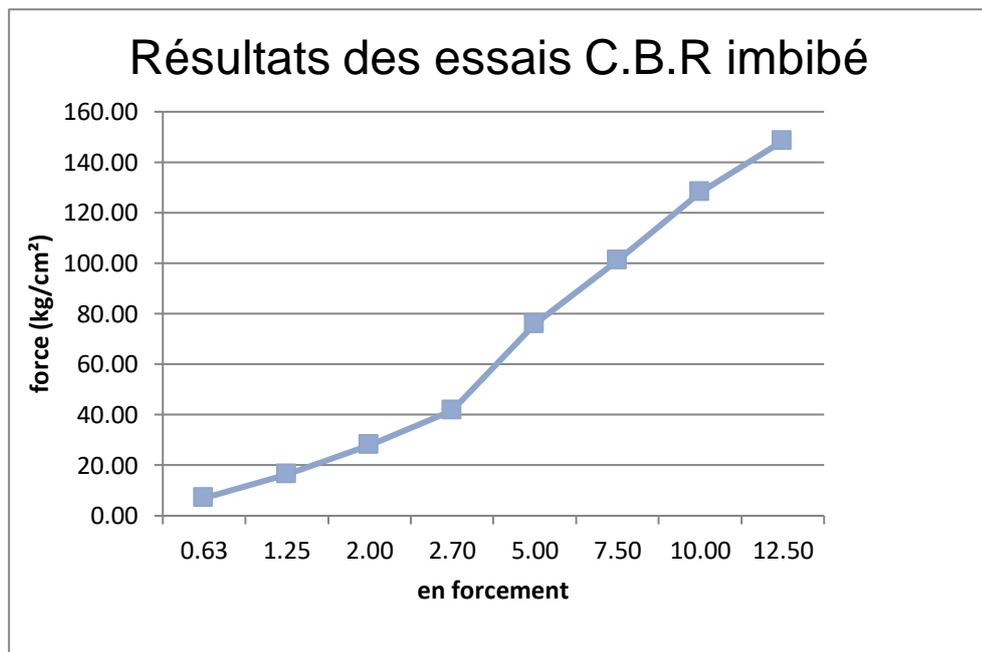


**Figure 11: Essai C.B.R imbibé.**

**Tableau 13: Résultats des essais C.B.R. imbibé.**

En forcement (mm)	Lecteur	Force (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.63	1.53	7.02

1.25	3.15	16.37
2.00	5.40	28.07
2.5	8.01	41.63
5.00	14.61	75.93
7.50	19.46	101.14
10.00	24.65	128.12
12.50	28.56	148.44



**Figure 12: Courbe de CBR imbibé.**

La pression en 2,5 mm = 41,63 kg/cm<sup>2</sup> équivalent Pr = 8,01 Kn

La pression en 5 mm = 75,93 kg/cm<sup>2</sup> équivalent Pr = 14,61 Kn

à 2.5 mm :  $P(2.5) / 0,7 = 11,44$

à 5 mm :  $P(5) / 1,05 = 13,91$

Donc : indice CBR = 13,91

**Tableau 14: Résultats indice C.B.R. imbibé.**

Indice 2.5	Indice 5	Indice max
11.44	13.91	13.91

NB : après designer le diagramme et calculer l'indice de CBR

$12 < \text{CBR} < 25$  donc la classe de portance est : S3 portance élevée.

#### 4. Analyse chimique :

Le but de cet essai est de déterminer la nature chimique des échantillons choisis. Cette étape étant importante dans l'identification des matériaux locaux utilisés en construction.

**Tableau 15: Résultats des essais d'analyse chimique.**

Insolubles %	44.42
Sulfates (gypse) %	32.54
Carbonates %	14.54
Chlorures %	0.22

- Sable de dune :** Les sables de dunes d'origine alluvionnaire, qui occupent de vastes superficies du sud algérien, constituent un gisement inépuisable étant donné les quantités disponibles localement et à moindre prix. Ces matériaux sableux de nature essentiellement siliceuse (quartz) possèdent de bonnes caractéristiques physiques telles que la propreté élevée, des matières organiques presque inexistantes et des masses spécifiques importantes. Sur le plan géotechnique, les sables de dunes présentent, par contre, certaines limites notamment sur l'aspect granulométrique se traduisant par des granularités serrées ainsi qu'une finesse excessive (module de finesse faible) ce qui a comme conséquences un affaiblissement des performances mécaniques des bétons bitumineux de la couche de roulement des chaussées routières.

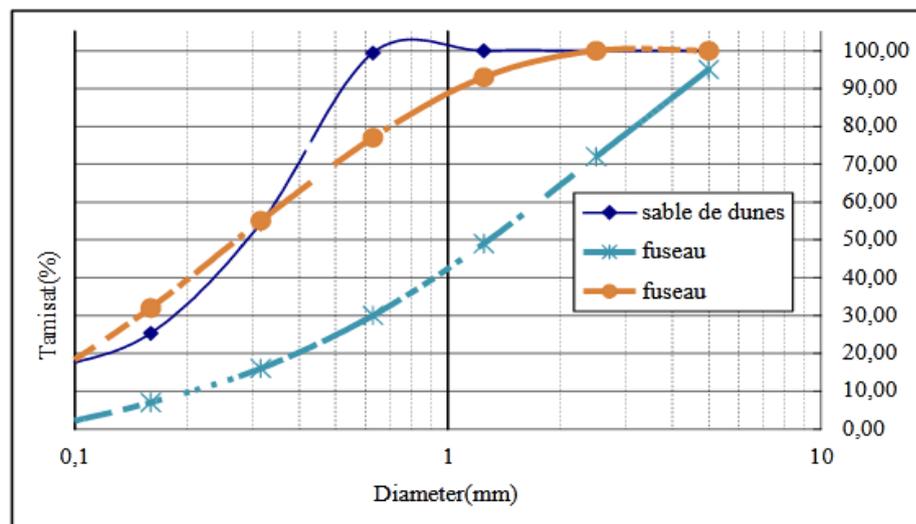


Figure 13: Courbe granulométrique des sables de Sidi-Khouiled.

On a constaté que la courbe granulométrique de sable de dunes est partiellement située à l'extérieur du fuseau de référence recommandé par la norme pour la confection des bétons et des mortiers et très serré.

- **L'hydroxyde de sodium :**

L'hydroxyde de sodium est un composé minéral de formule chimique NaOH qui est fourni sous forme de pastilles solides de masse molaire 39,99g/mol. Il est soluble dans l'eau à 20°C et permet d'hydrater les précurseurs pour activer des réactions de géopolymérisation. C'est pourquoi il est qualifié d'activateur alcalin. La composition chimique obtenue par fluorescence X permet de confirmer sa pureté à 95% d'oxyde de sodium Na<sub>2</sub>O. Le (Tableau 15) ci-dessous donne le résumé de la composition chimique du NaOH :

Tableau 16: composition chimique du NaOH.

Compositions chimique de l'hydroxyde de sodium NaOH						
Na <sub>2</sub> O	Mgo	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CL	K <sub>2</sub> O
95.00	1.90	0.10	1.32	0.63	0.51	0.14

## 5. Conclusion :

- Essai de CBR imbibé :  $12 < \text{CBR} < 25$  donc la classe de portance est : S3 portance élevée.
- Essai de CBR immédiat :  $12 < \text{CBR} < 25$  donc la classe de portance est : S3 portance élevée.
- Essai de Proctor : après designer le diagramme la densité sèche égal  $1,82 \text{ t/m}^3$ .
- Essai de Bleu méthylène : D'après d'essai de VBS notre sol est : SOL sableux.
- Essai de limite Atterberg:  $\text{IP} < 12$  notre sol faiblement argileux.

D'après les résultats de différents essais de caractérisations physico-chimiques et minéralogiques (classification selon le GTR 2000 et NF P11-30) notre sol est classé en sous classe B5 (sables et graves très silteux...).

# Chapitre III

Résultats et discussion

## 1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous parlerons de la méthode de traitement (NaOH) adoptée dans cette étude, et verrons la force de son appui par compression simple. D'autre part, connaître l'effet de la salinité sur le sol traité.

## 2. Préparation des échantillons :

Notre expérience est basée sur trois phases :

- Préparation d'échantillons aux dimensions (5 x 10) où c'est un mélange entre (Tuf + sable + NaOH) où on change la masse molaire de NaOH, la première fois c'est 8 moles, et la deuxième fois c'est 10 moles et on envelopper les échantillons et laisser certains d'entre eux pendant 7 jours et l'autre est de 28 jours. Une fois la période de temps écoulée pour chaque échantillon, nous faisons une expérience de compression simple.
- Préparation d'échantillons de dimensions (5 x 10) où ils sont un mélange de (Tuf + NaOH) où l'on change la masse molaire de NaOH plusieurs fois (4\_6\_8\_10) mol. Nous emballons les échantillons et en laissons certains pendant 03 jours, certains pendant 07 et d'autres pendant 28 jours. Une fois la période de temps pour chaque échantillon écoulée, nous expérimentons une compression simple.
- Après avoir terminé la deuxième étape, nous préparons des échantillons (Tuf + NaOH), où la masse molaire de NaOH est comprise entre (8-10) moles, puis nous emballons les échantillons et les mettons dans un milieu salin pendant 07 jours et 28 jours. Ensuite, nous faisons une expérience de compression simple.



Figure 14: Préparation des échantillons

### 3. Essai mécanique (essai de résistance à la compression simple) :

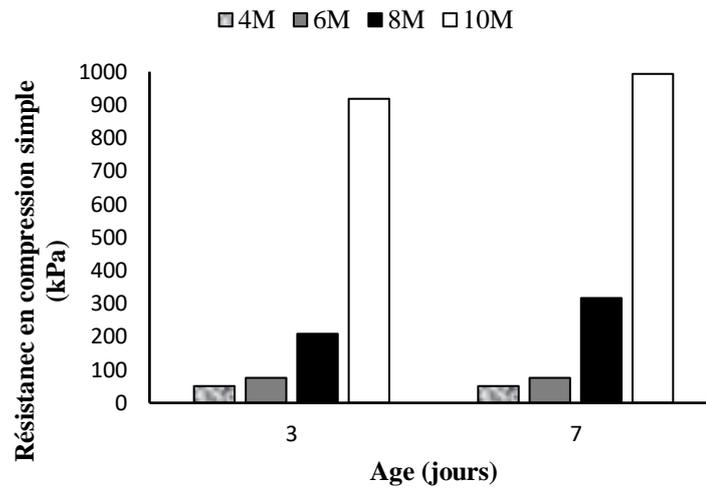
Maintenant que les échantillons ont été préparés et placés dans le temps d'attente spécifiée comme mentionné précédemment, nous m'apportons les échantillons et menons une expérience de compression simple comme le montre la figure 15 suivante.



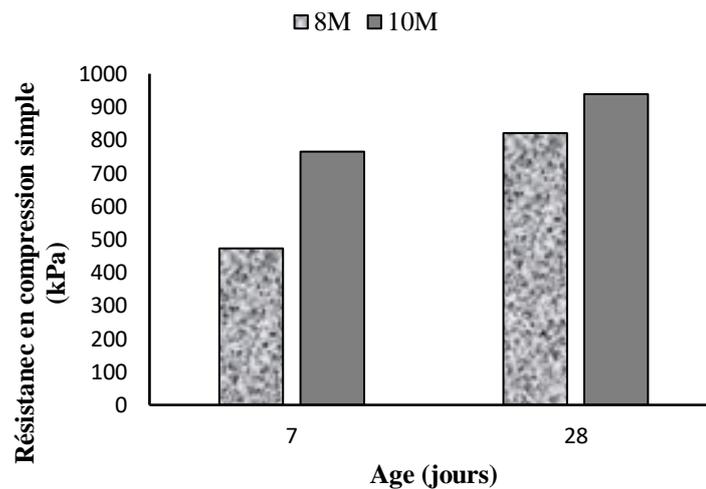
**Figure 15: machine de compression simple**

Lorsque nous mettons l'échantillon, nous allumons la machine et appuyons sur le bouton de démarrage et continuons jusqu'à ce que l'échantillon s'effondre et enregistrons le nombre lumineux à l'écran.

Ainsi, nous complétons le même processus pour le reste des échantillons afin de les compléter et de noter tous les résultats afin d'obtenir ces graphiques qui résument les résultats obtenus.



**Figure 16: Evolution de la résistance du sol gypseux en compression en fonction de la durée de conservation.**



**Figure 17: Evolution de la résistance du sol gypseux avec sable de dune en compression en fonction de la durée de conservation.**

#### 4. Discussion et analyse :

- 1) NaOH = 4m Notez que la résistance de l'échantillon à une pression simple après 03 jours et 07 jours est égale, car nous notons à travers la courbe graphique que son endurance est faible.

2) = 6 M Malgré la légère augmentation de la résistance de l'échantillon après 03 et 07 jours, son endurance est encore faible.

3) NaOH = 08 m Dans ce cas, nous remarquons une amélioration de la résistance de l'échantillon de 3 jours à 7 jours.

4) NaOH = 10 m À travers la courbe graphique, nous notons que la résistance de l'échantillon à cette concentration vaut son maximum après 07 jours.

- Tuf + sable :

1) NaOH = 08 m À travers la courbe graphique, nous constatons que la résistance de l'échantillon est bonne, passant de manière significative de 07 jours à 28 jours.

2) NaOH = 10m Dans ce cas, nous notons que la résistance de l'échantillon est à sa valeur maximale après 28 jours.

- Tuf :

1) NaOH = (6,8,10) Dans ce cas les échantillons sont effondrés immédiatement .

Grâce à ces résultats, nous concluons que la résistance de l'échantillon s'améliore en modifiant la concentration de NaOH et sa valeur maximale après 07 jours.

Les résultats montrent la différence entre la résistance à la compression du sol traité activé par un alcali avec et sans sable après des temps de durcissement de 3, 7 et 28 jours. Les mélanges sans sable présentaient la résistance la plus faible à la fois à 4 et 6 M de solution de NaOH. Il était prévisible, cependant, qu'il y ait eu une augmentation mineure de 3 à 7 jours à 8 et 10 M, ce qui ne pouvait se produire que parce que l'activateur n'était pas capable de dissoudre plus de minéraux du sol pour que les réactions se produisent. Même à 4 et 6 M, il y a eu quelques améliorations par rapport aux 3 jours de résistance du sol traité. Comme on peut le voir sur les figures, la résistance obtenue sur un sol traité sans sable avec 4 M de solution de NaOH a montré une résistance à la compression inférieure à celle du sol traité sans sable avec 10 M de solution de NaOH. Pour le sol traité 10M sans mélange de sable après 3 et 7 jours de cure, les valeurs UCS de 917 et 994 kPa ont été observées respectivement.

Lorsque 20 % de sable ont été utilisés, l'activation alcaline a également augmenté les valeurs de la résistance à la compression avec presque la même valeur à 28 jours par rapport aux sols traités sans sable à 7 jours en raison de la teneur plus faible en montmorillonite et de l'existence de silice. A 28 jours de durcissement, les mélanges avec du sable ont développé presque la même valeur de la résistance à la compression

par rapport aux mélanges sans sable. L'étude a confirmé qu'après un petit changement de résistance des spécimens activés par un alcali avec du sable à un stade précoce (7 jours de durcissement), une plus grande résistance a été obtenue à 28 jours de durcissement. Le sol traité avec du sable et 10 M de NaOH présentait une valeur de la résistance à la compression considérablement plus élevée que le sol traité avec du sable et 8 M de NaOH. Cela impliquait que l'utilisation d'une activation alcaline avec une molarité plus élevée de solution de NaOH était l'option la plus efficace pour la stabilisation du sol en fonction de la résistance acquise. La valeur de la résistance à la compression du sol traité avec du sable et 10 M de mélange NaOH a atteint des valeurs de 765 et 938 kPa à 7 et 28 jours, respectivement, qui étaient presque les mêmes que celles obtenues avec un mélange similaire sans sable.

### 5. Sensibilité à l'eau saline :

Dans ce titre, nous parlerons de la dernière expérience de notre recherche, qui se concentre sur l'effet du milieu saline sur le sol traité, où nous sommes venus dans des échantillons avec une concentration molaire de 10 mol, dont l'un a 7 jours et l'autre trois semaines, sachant que les composants des échantillons sont tuf + NaOH, puis nous avons mis chacun d'eux dans une concentration de sel dans l'eau de l'un avec une concentration de 0.1 mol/L et l'autre 01 mol/L comme le montre la figure suivante.



**Figure 18 : Solution à une concentration de 0.1 mol/L**



**Figure 19 : solution à une de concentration 1 mol/L**

Afin d'étudier l'effet de la salinité sur les propriétés mécaniques du sol traité par activation alcaline, une seconde série d'éprouvettes à 10 M réalisées dans les conditions de l'essai de compression simple ont été immergées dans l'eau après 7 et 28 jours de durcissement. Les figures montrent les spécimens dans l'eau après 1/2 h d'immersion. L'affaissement se poursuit au fur et à mesure que l'éprouvette se sature pour atteindre l'affaissement total au bout de 2 heures pour l'éprouvette de 7 jours. Ceci confirme le rôle de l'activation alcaline qui a amélioré la cohésion entre les particules du sol. Cette analyse est étayée par les résultats de plusieurs chercheurs (Morsli et al., 2005 ; Hachichi et al., 2001) qui ont réalisé des tests d'immersion sur des spécimens de tuf compacté après 28 jours de stockage. Ils ont observé un affaissement total des spécimens après quelques minutes.

### **5.1. Discussion et analyse :**

Dans la concentration de sel de 0,1 mole pour nous inciter à ce que l'échantillon ait pris 5 minutes pour s'effondrer complètement, de sorte que lorsque nous avons été placés, il a commencé à s'éroder lentement jusqu'à ce que nous atteignions un effondrement complet.

En ce qui concerne la concentration en sel de 1 mole, nous mangeons l'échantillon directement lorsqu'il est placé dans la solution et s'effondre complètement en un court laps de temps de 10 secondes.

Nous en concluons que plus le milieu salé et concentré, plus vite le sol de traitement s'effondre.



# **Conclusion générale**

## Conclusion Générale :

Nous rappelons le but de ce travail consistait à l'évaluation de l'efficacité du traitement à l'activation alcaline contre la salinité pour cela nous avons confectionné un cylindre à base des matériaux locaux comme tuf et sable de dune, après avoir effectué une série d'essais mécanique sur ces cylindres.

La première partie c'est la recherche bibliographique qui s'est étalée sur un aperçu détaillé sur les méthodes de traitement utilisées (traditionnelles et nouvelle génération), ainsi que les effets de la salinité sur le sol. Nous avons conclu qu'il existe des potentiels pour traiter la sol avec l'activation alcaline contre la salinité et il existe plusieurs avantages qui peuvent être utilisé dans l'amélioration des performances mécaniques des sols.

La deuxième partie c'est la partie expérimentale, nous avons donné les caractéristiques générales des matériaux utilisés qui sont le sol gypseux (Tuf), le sable de dune et l'activateur alcalin (NaOH).

La dernière partie est une étude expérimentale. L'étude présentée dans ce travail a pour objectif d'évaluer l'efficacité du traitement à l'activation alcaline contre la salinité. Les résultats expérimentaux sont résumés ci-dessous :

- La combinaison du sable de dune avec le sol de gypse (Tuf) entraîne une forte augmentation des valeurs à la résistance à la compression simple des échantillons dans les 28 jours suivant le durcissement, alors que dans le même temps de durcissement, le développement de la résistance du sol activé sans sable n'était pas significatif, en gardant à l'esprit que le sol avec la montmorillonite ne peut pas réagir avec les autres minéraux lors de l'activation alcaline.
- Les valeurs de résistance du sol activé par les alcalins traités par le système de géopolymérisation (activation alcaline) dépendent principalement :
  - (1) de la concentration en activateur alcalin,
  - (2) du temps de durcissement.
- L'effet de salinité sur les sols traités ont des effets négatifs sur les propriétés physiques et mécaniques, en particulier sur la stabilité du sol.



# **Bibliographie**

- [01] Baba Hassane Ahmed Hisseini, Traitement par alcali-activation et géopolymérisation de sols argileux: caractérisations physicochimique, géotechnique et environnementale.
- [02] Benmammar Tarik Toumi Samah Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique
- [03] Caractérisation d'un sol fin en vue d'une utilisation en travaux routiers.
- [04] Calvet, R. 2003, Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2.
- [05] Cherbuy, 1991, Les sols salés et leur réhabilitation. Rapport de l'école National supérieur
- [06] Cherbuy, B. 1991, les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique cemagraf .école.
- [07] Chesworth W, 2008, Encyclopedia of Soil Science, Ed. Springer Dordrecht, Berlin, 902.
- [08] Claud et al. 2005, sol et environnement. Dunod. Paris, pp
- [09] De l'atelier du PCSI sur : Vers une maîtrise des impacts environnementaux de Ed. France. Agricole, 511 p.
- [10] L'irrigation. CIRAD/AMIS, Montpellier, France, n°40, pp. 12-23.
- [11] Machane Y, 1990, Bilan d'étude sur les sols salés de Wilaya de Sétif et caractérisation des
- [12] Maillard J, 2001, Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risquest.
- [13] Marlet S, 2005, Gestion de l'eau et salinisation des sols dans les systèmes irrigués Synthèse
- [14] Marlet S, et Job J, 2006, Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin Jean-
- [15] Mermoud, 2006, Cours physique du sol, Maîtrise de la salinité des sols, 01p.
- [16] Nabil Kebaili ,Mustapha Kebaili ,MohamedDjoughri Etude des propriétés d'un nouveau béton bitumineux à base de sable de dunes pour les routes du sud d Algerie

[17] Niveau de salinité de la zone pilote ( guelal ) Mém. D'ing D'Etat univeu Sétif pp 75. p.

[18] Recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.

[19] Robert (ed.), Vidal Alain (ed.).*Traité d'irrigation*. Paris : Lavoisier Tec et Doc, 02p.

[20] Service géologique nationale BP. 6009-45018 Oriéans Cédex catalogue des essais gèotechniques exécutés au laboratoire geotechnique d'orleans mars1978 d'agronomie, Rennes (Agrocontact).

[21] Université gustave Eiffel 2021 francais NNT : 2021UEFL /2004. Nat Reme pp 170.

## RÉSUMÉ

La stabilité du sol est l'une des conditions les plus importantes pour commencer à construire une installation, nous avons donc abordé l'existence de solutions pour stabiliser le sol autant que possible, et on sait qu'il existe plusieurs méthodes traditionnelles de stabilisation du sol, mais elles sont coûteuses et contraires aux lois de la nature. Dans cette recherche, nous avons traité le sol avec des solutions alcalines (hydroxyde de sodium) avec plusieurs concentrations différentes avec certaines périodes de temps, puis nous avons essayé une simple pression sur tous les échantillons pour obtenir des résultats différents et le meilleur résultat a été la concentration la plus élevée, puis finalement nous avons trouvé l'échantillon le plus fort que nous avons effectué, qui est de mettre cet échantillon dans un milieu salin avec une concentration de 0,1 et 1 mole / l pour nous inciter après cela, les échantillons ne résistent pas aux concentrations molaires, le nombre des expériences réalisées n'est pas suffisant pour étudier vraiment le problème de salinité, pour cela on recommande de faire plus des expériences dans des conditions différentes.

**Mots clés :** sols traité, influence de salinité, NaOH, stabilisation des sols.

## RESUME

Soil stability is one of the most important conditions for starting to build any facility, so we touched on the existence of solutions to stabilize the soil as much as possible, and it is known that there are several traditional methods of stabilizing the soil, but they are expensive and contrary to the laws of nature. In this research, we treated the soil with alkaline solutions (sodium hydroxide) with several different concentrations with certain periods of time, then we tried simple pressure on all samples to get different results and the best result was the highest concentration, and then finally we came up with the strongest sample we conducted, which is to put this sample in a salt medium with a concentration of 0.1 and 1 mole / l to urge us after that the samples not resist molar concentrations, the number of the experiments carried out is not enough to really study the salinity problem, for this we recommend to do more experiments in other different conditions.

**Keywords :** Treated soil , Salinity effect, NaOH , Soil stability

## ملخص:

ثبات التربة من أهم الشروط للشروع في بناء أي منشأة ، لهذا تطرقنا الى وجود حلول لتثبيت التربة قدر الامكان ، كما من المعروف انه يوجد عدة طرق تقليدية لتثبيت التربة لكنها مكلفة ومخالفة لقوانين الطبيعة ، وفي بحثنا هذا قمنا بمعالجة التربة بالمحاليل القلوية ( هيدروكسيد الصوديوم ) بعدة تراكيز مختلفة مع فترات زمنية معينة ، بعد ذلك قمنا بتجربة الضغط البسيط على جميع العينات لتحصل على نتائج مختلفة وكانت أفضل نتيجة هيا اعلى تركيز ، ثم في الأخير أتينا بأقوى عينة أجرينا عليها تجربة ، التي تتمثل بوضع هذه العينة في وسط ملحي ذو تركيز ٠,١ و ١ مول/ ل لاحضنا بعدها بعدم مقاومة العينات التراكيز المولية ، عدد التجارب التي تم تنفيذها لا تكفي دراسة مشكلة الملوحة، لهذا نوصي باجراء المزيد من التجارب في ظروف مختلفة.

الكلمات المفتاحية : المحاليل القلوية، تأثير الملوحة، التربة المعالجة، هيدروكسيد الصوديوم، ثبات التربة