REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : **Géotechnique**

L'EFFET DES SOLUBLES SUR LES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DES SOLS ARGILEUX

Présenté par

SMAI NADJAT

OMRI ZINA

Proposé et Dirigé par

DR. MESSAD ALI

Promotion Juin 2023


بسم الله الرحمن الرحيم
١٤٢٠

REMERCIEMENT

Nos remerciements vont premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années.

Nous adressons nos profondes gratitudes à ***DR : MESSAD ALI****, professeur à l'Université de Médéa qui à proposé, diriger et encadré ce travail de recherche, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, merci monsieur*

Nous exprimons notre reconnaissance à monsieur ***El FERROUDJI. A*** *Pour facilité l'accès au laboratoire de l'****EPTRC.***

Nous remercions Mme ***CHAFIKA*** *et Mme* ***LAMI.F*** *et tous les ingénieurs de l'****EPTRC*** *pour leur aide leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges.*

Nous remercions également tous les membres du jury d'avoir accepté d'assister à la présentation de ce travail,

Nous tenons également à remercier profondément nos professeurs, qui nous ont enrichis de connaissances ainsi que l'ensemble du personnel du département de génie civil

Enfin nous tenons à profiter de cette occasion pour remercie mes collègues et tous mes amis de l'Université de Médéa, pour son encouragement et son accompagnement le long des années universitaires

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Pour mes parents que dieu le tout puissant, les protègent et les gardent

*A mon père **LARBI** qui a sacrifié sa vie pour que la mienne réussisse*

*A ma mère **FATIMA ZAHRAA** qui ma soutenu et encouragé tout le temps.*

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

*A mon frère : **YOUCEF**.*

*A mes sœurs : **RACHIDA** et **SOUAD**.*

*A toute la famille : **SMAI** et **DAMECHE**.*

*A mon binôme, ma sœur et ma copine : **ZINA** et sa famille.*

A toute la section Géotechnique.

Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire

Dédicace

je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais a leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père ***Ahmed****.*

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non âmes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère ***Soumia***

A mon adorable sœur ***Nour el Houda*** *qui n'a pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que dieu la protège.*

A mes frères ***Tadj Eddine*** *et* ***Zine Eddine*** *et* ***Abd el Madjid*** *qui savent toujours comment me rendre heureuse.*

A Mes chers cousines ***Sarah*** *et* ***Nessrine***

A toutes la famille ***Omri*** *ET* ***Demmad***

Sans oublier mon binôme et ma meilleure amie ***Nadjet*** *pour son soutien moral, sa présence tout au long de ce projet et toutes les années universitaires.*

A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant

Merci pour votre amour et votre encouragement.

Table de Matières

Table de Matières i

Liste des Figures vii

Introduction générale ..... - 11 -

Chapitre I : Les sols salés

I.1 Introduction ..... - 14 -

I.2 Les sols salés ..... - 14 -

I.2.1 Définition des sols salés ..... - 14 -

I.2.2 Répartitions des sols salés ..... - 15 -

I.2.2.1 Répartition des sols salés dans le monde ..... - 15 -

I.2.2.2 Répartitions des sols salés en Algérie ..... - 16 -

I.2.3 la salinisation ..... - 17 -

I.2.4 Les types de salinisation ..... - 18 -

I.2.4.1 Cause et origines de la salinisation des sols ..... - 19 -

I.2.5 Conductivité électrique ..... - 19 -

I.2.6 La salinité ..... - 20 -

I.2.6.1 Mesure de la salinité des sols ..... - 20 -

I.2.8 Classification des sols salés ..... - 21 -

I.2.9 Sels solubles ..... - 21 -

I.3 Les environnements arides ..... - 22 -

I.3.1 Causes de l'aridité ..... - 23 -

I.3.2 Classification des zones arides ..... - 23 -

I.3.3 Climat des zones arides ..... - 24 -

I.4 Généralités sur sebkha ..... - 24 -

I.4.1 Définition de sebkha ..... - 25 -

I.4.2 Types de sebkha ..... - 26 -

I.4.3 Distribution des Sebkhas ..... - 28 -

I.4.3.1 Dans le monde ..... - 28 -

I.4.3.2. En Algérie ..... - 29 -

I.5 Conclusion ..... - 30 -

Chapitre II : les caractéristiques géotechniques des sols salés

II.1 Introduction ..... - 32 -
II.2 les caractéristiques géotechniques des sols salés ..... - 32 -
II.2.1 Analyse granulométrique ..... - 33 -
II.2.2 Teneur en eau ..... - 34 -
II.2.3 Limites d'Atterberg ..... - 36 -
II.2.4 Le compactage ..... - 37 -
II.2.5 Compressibilité ..... - 38 -
II.2.6 la perméabilité ..... - 39 -

Chapitre III: Etude expérimentale

III.1 Introduction ..... - 42 -
III.2 Caractéristiques des Matériaux utilisées ..... **- 42 -**
III.3 Programme d'Essais ..... - 45 -
III.4 Caractérisation géotechnique ..... - 45 -
III.4.1 Teneur en eau naturel ..... - 45 -
III.4.2 La masse volumique des grains solides $\boldsymbol{\rho s}$ ..... - 46 -
III.4.3 Analyse granulométrique ..... - 46 -
III.4.4 Limites d'Atterberg ..... - 48 -
III.4.5 Equivalent de sable ..... - 49 -
III.5 Étude de l'effet du sel sur l'essai au bleu de méthylène ..... **- 50 -**
III.5.1 Essai au bleu de méthylène ..... - 50 -
III.5.2 Préparation des échenillons ..... - 51 -

Chapitre IV: Interprétation des résultats

IV.1 Introduction ..... - 57 -
IV.2.1 Teneur en eau naturel ..... - 57 -
IV.2.2 La masse volumique des grains solides ..... - 57 -
IV.2.3 Analyse granulométrique ..... - 58 -
IV.2.4 Limites d'Atterberg ..... - 61 -
IV.2.5 Equivalent de sable ..... - 64 -

IV.3 Étude de l'effet du sel sur l'essai au bleu de méthylène ..... - 65 -
IV.3.1 Essai au bleu de méthylène ..... - 65 -
Conclusion générale ..... **Error! Bookmark not defined.**

ملخص

تعتبر التربة المالحة من أكثر التربة إشكالية الموجودة في مختلف مناطق العالم، وخاصة المناطق القاحلة وشبه القاحلة. تغطي المناطق القاحلة وشبه القاحلة مساحة كبيرة في الجزائر.

الهدف الرئيسي لهذا المشروع هو تحديد تأثير الملوحة على قيمة ازرق المثيلين.

تكون دراستنا من خلط المحلول الملحي الطبيعي (٪26 و 15٪) مع نسب (٪0 و 20٪ و 30٪) على التوالي مع نوعين من الرمال ونوعين من الطين.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن قيمة ازرق المثيلين تزداد مع زيادة الملوحة.

الكلمات المفتاحية: المحلول الملحي الطبيعي, الطين, التربة المالحة, ازرق المثيلين

Abstract

Salty soil is one of the most problematic in various regions of the world, especially arid and semi-arid regions.

Arid and semi-arid areas cover much of Algeria.

The main objective of this project is to determine the impact of salinity on methylene's blue value

Our study consists of mixing natural brine (26% and 15%) with defensive ratio (0%, 20% and 30%) respectively with two types of sand and two types of clay

Results obtained indicate that methylene's blue value increase with salinity.

Key words: natural brine, Salty soil, clay, methylene's blue value.

Résumé

Les sols salés font partie des sols problématiques les plus rencontrés dans diverses régions du monde, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les zones arides et semi-arides couvrent une grande partie de l'Algérie.

L'objectif principal de ce projet consiste à déterminer l'effet de la salinité sur la valeur au bleu de méthylène

Notre étude consiste à mélanger des saumures naturelles de 26% et 15% de salinité avec des différents pourcentages (0%, 20% et 30%) respectivement avec deux types de sables et deux types d'argiles

Les résultats obtenus indiquent que la valeur au bleu de méthylène augmente en fonction de la salinité.

Mots clés : saumure naturelle, sols salés, argile, bleu de méthylène.

Liste des Figures

Figure I-1 Croute de sel _____- 15 -
Figure I- 2 Carte mondiale de salinisation _____- 16 -
Figure I- 3 Carte de salinité estimée par kraigage à variogramme locale _____- 17 -
Figure I- 4 Sols salins_____- 18 -
Figure I- 5 Sol sodique _____ **Error! Bookmark not defined.**
Figure I- 6 Carte des zones arides dans le monde _____- 24 -
Figure I- 7 Sebkha d'Oran (Algérie) _____- 25 -
Figure I- 8 Carte géologique de sebkha d'Oran _____- 26 -
Figure I- 9 Photo satellitaire d'une sebkha côtière (sebkha d'Oran).____- 27 -
Figure I- 10 Section transversale typique de la sebkha côtière _____- 27 -
Figure I- 11 Sebkha continentale d'Ain M'lila. _____- 28 -
Figure I- 12 Carte du monde représenté les localisations des sebkhas actives _____- 29 -
Figure I- 13 Répartition des chotts et sebkha en Algérie _____- 30 -

---

Figure II- 1 Analyse granulométrique du sol de sebkha _____- 33 -
Figure II- 2 Analyse granulométrique _____- 34 -
Figure II- 3 Limite de liquidité _____- 37 -
Figure II- 4 Courbe de compactage _____- 38 -
Figure II-5 Courbe de compressibilité des échantillons naturel et lavé_____- 39 -
Figure II- 6 Evolution de la perméabilité en fonction des indices des vides déterminés sur la base de la teneur en fluide _____- 40 -

---

Figure III- 1 Matériaux Argileux prélevée d'ouezra _____- 42 -
Figure III- 2 Sable de dune (sable 1 Laghouat) _____- 43 -
Figure III- 3 sable de carrière (sable 2 Tamoulga) _____- 43 -
Figure III- 4 kaolinite pure_____- 44 -
Figure III- 5 Chott el Hodna _____- 45 -

Figure III- 6 La masse volumique des grains solides _____- 46 -
Figure III- 7 Analyse granulométrique par tamisage_____- 47 -
Figure III- 8 Analyse granulométrique par sédimentométrie _____- 48 -
Figure III- 9 Essai de limites de liquidité_____- 48 -
Figure III- 10 Essai de limites de plasticité _____- 49 -
Figure III- 11 Représentation des limites d'Atterberg_____- 49 -
Figure III- 12 Essai d'équivalent de sable _____- 50 -
Figure III- 13 Essai au bleu de méthylène _____- 51 -
Figure III- 14 Echantillon de sable de dune (20% et 30%) _____- 52 -
Figure III- 15 Echantillon de sable de carrière (20% et 30%)_____- 53 -
Figure III- 16 Echantillon d'argile (20% et 30%) _____- 54 -

Figure IV- 1 Courbe granulométrique sable 1 (sable de dune) _____- 58 -
Figure IV- 2 Courbe granulométrique sable 2 (sable de carrière) _____- 60 -
Figure IV- 3 Courbe granulométrique Argile (Ouzera)_____- 61 -
Figure IV- 4 courbe de limite de liquidité _____- 62 -
Figure IV- 5 Position du sol testé dans l'abaque de Casagrande _____- 63 -
Figure IV- 6 Résultat essai au bleu 0% (sable1 Laghouat) _____- 65 -
Figure IV- 7 Résultat essai au bleu (20%) de saumure 26% (sable1 Laghouat) _____- 66 -
Figure IV- 8 Résultat essai au bleu (30%) de saumure 26% (sable1 Laghouat) _____- 66 -
Figure IV- 9 Résultat essai au bleu (20%) de saumure 15% (sable 1 Laghouat) ____- 67 -
Figure IV- 10 Résultat essai au bleu (30%) de saumure 15% (sable 1 Laghouat) ___- 67 -
Figure IV- 11 Résultat essai au bleu 0% (sable 2 Tamoulga) _____- 68 -
Figure IV- 12 Résultat essai au bleu (20%) de saumure 26% (sable 2 Tamoulga) ___- 69 -
Figure IV- 13 Résultat essai au bleu (30%) de saumure 26% (sable 2 Tamoulga) ___- 69 -
Figure IV- 14 Résultat essai au bleu (20%) de saumure 15% (sable 2 Tamoulga) ___- 70 -
Figure IV- 15 Résultat essai au bleu (30%) de saumure 15% (sable 2 Tamoulga) ___- 70 -
Figure IV- 16 Représentation de Valeur au bleu de méthylène en fonction de salinité des sables (saumure 26% et 15%) _____- 71 -
Figure IV- 17 Résultat essai au bleu 0% de salinité (Argile)_____- 72 -
Figure IV- 18 Résultat essai au bleu (20%) de saumure 26% (Argile) _____- 73 -
Figure IV- 19 Résultat essai au bleu (30%) de saumure 26% (Argile) _____- 73 -
Figure IV- 20 Résultat essai au bleu (20%) de saumure 15% (Argile) _____- 74 -
Figure IV- 21 Résultat essai au bleu (30%) de saumure 15% (Argile) _____- 75 -
Figure IV- 22 Représentation de Valeur au bleu de méthylène en fonction de salinité d'Argile (saumure 26% et 15%) _____- 76 -
Figure IV- 23 Résultat essai au bleu 0% de salinité (Kaolinite) _____- 77 -
Figure IV- 24 Résultat essai au bleu (20%) de saumure 26% (Kaolinite) _____- 77 -
Figure IV- 25 Résultat essai au bleu (30%) de saumure 26% (Kaolinite) _____- 78 -
Figure IV- 26 Résultat essai au bleu (20% et 30%) de saumure 15% (Kaolinite) ____- 79 -

Figure IV- 27 Représentation de Valeur au bleu de méthylène en fonction de salinité d'Argile (saumure 26% et 15%) _____- 80 -

Liste des tableaux

Tableau I- 1: Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008) ..... - 15 -
Tableau I- 2: Tableau comparative entre les différents types des sols salés (U.S.S.L 1954 ; Daoud, 1993) ..... - 21 -

---

Tableau IV- 1 : Analyse granulométrique (sable 1 de dune)..... - 58 -
Tableau IV- 2 : Analyse granulométrique (sable 2 de carrière) ..... - 59 -
Tableau IV- 3 : Analyse granulométrique (Argile)..... - 60 -
Tableau IV- 4 : Résultats limites de plasticité (Argile)..... - 62 -
Tableau IV- 5 : Equivalent de sable (sable1 de dune) ..... - 64 -
Tableau IV- 6 : Equivalent de sable (sable2 Tamoulga)..... - 64 -
Tableau IV- 7 : Essai au bleu de méthylène des sables avec des teneurs en fluides (saumures 26% et 15%)..... - 71 -
Tableau IV- 8 : Essai au bleu de méthylène Argile avec des teneurs en fluides (saumures 26% et 15%)..... - 75 -
Tableau IV- 9 : Essai au bleu de méthylène de kaolinite avec des teneurs en fluides (saumures 26% et 15%)..... - 79 -

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le génie civil représente l'ensemble des techniques de construction civile. Les ingénieurs civils sont chargés de la conception, de la construction, de l'exploitation et de la restauration des ouvrages et infrastructures du bâtiment qu'ils gèrent pour répondre aux besoins de la société tout en assurant la sécurité publique et la protection de l'environnement. L'importance de la géotechnique dans ce domaine ne peut être sous-estimée. Les sols sont la base de tout projet de construction, et leur capacité à supporter des charges dépend de leur composition et de leur structure. Les sols argileux sont particulièrement importants dans la construction en raison de leurs propriétés mécaniques et de leur facilité d'amélioration. Avec l'accroissement de la population et le développement des activités, la disponibilité des sols, de meilleures caractéristiques géotechniques est parfois impossible. Donc il est souvent obligatoire d'adapter un ouvrage au type de sol sur lequel il sera construit même s'il est de faibles caractéristiques géotechniques, par exemples les sols salés.

Les sols salés caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles dans l'ensemble ou dans une partie du profil ou par la dégradation de la structure de l'un de leurs horizons sous l'influence de l'un des ions, provenant de ces sels, en particulier du sodium (AUBERT. G, 1975).

Les sols salés sont un problème courant dans de nombreuses régions du monde, particulièrement dans les zones arides et semi-arides où l'évaporation est élevée et la pluviométrie est faible. Les sols salés peuvent avoir un impact négatif sur la qualité de l'eau et compromettre la stabilité des structures construites sur ces sols. En Algérie, par exemple, les sols salés sont un problème récurrent dans les zones arides et semi-arides du pays, qui s'étalent du sud tunisien jusqu'au mont de l'atlas au nord algérien.

En sus de faibles caractéristiques mécaniques des sols salés, il est difficile de déterminer les caractéristiques géotechniques de ces sols. Cependant, l'objectif principal de cette étude est de fournir une meilleure compréhension de l'effet des sels solubles sur les caractéristiques géotechniques des sols argileux en utilisant l'essai au bleu de méthylène. Dans le but d'arriver à des méthodes de caractérisation permettant de prendre en comptes la présence des sels solubles dans les sols argileux et peuvent être utilisés par les ingénieurs civils et géotechniques pour concevoir des projets de construction plus résilients dans des

Zones où les sols salés sont un problème courant et pour optimiser l'utilisation de ces Sols dans le domaine du génie civil et de la géotechnique.
Ce travail est présenté en quatre chapitres.

- Dans le premier chapitre, nous avons passé par une recherche bibliographique sur les sols salés
- le deuxième chapitre est consacré aussi à l'étude bibliographique des caractéristiques géotechniques de ces sols.
- Dans le troisième chapitre, nous allons nous concentrer sur une étude expérimentale, la présentation du programme expérimental et les méthodes d'essais. L'étude expérimentale sera menée sur quatre types des sols : **Argile**, **Kaolinite**, **Sable de dune** et **Sable de carrière**. Nous allons d'abord caractériser géotechniquement ces sols pour déterminer leurs propriétés géotechniques. Ensuite, nous allons soumettre ces sols à l'essai au bleu de méthylène avec des pourcentages de saumure naturelle provient de chott El Hodna
- Les résultats de cette étude expérimentale seront présentés dans le quatrième chapitre.

CHAPITRE I
LES SOLS SALES

I.1 Introduction

Les sols salés sont des sols qui contiennent une quantité importante de sels dissous, tel que le chlorure de sodium, le sulfate de sodium et carbonate de sodium. Ils sont souvent présents dans les zones arides et semi-arides ou l'évaporation est plus élevée que la précipitation.

Les études sur les sols salés permettent de mieux comprendre leurs comportement et d'éviter l'apparition de différentes pathologies observées sur les ouvrages. Donc il est très important de passer par une recherche bibliographique sur les sols salés afin de récolter le maximum d'informations relative aux sols salés, la salinisation des sols et aux sebkhas

Dans ce chapitre, on parle des sols salés, passant par quelques définitions ainsi que la classification des sols salés et leurs répartitions, les environnements arides et généralités sur les sebkhas. En fin, le chapitre sera clôturé par une conclusion.

I.2 Les sols salés

I.2.1 Définition des sols salés

Les sols salés, appelés aussi sols salsodiques, sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Sont caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles dans l'ensemble ou dans une partie du profil ou par la dégradation de la structure de l'un de leurs horizons sous l'influence de l'un des ions, provenant de ces sels, en particulier du sodium (AUBERT. G, 1975).

On a deux critères chimiques principaux retenus pour la définition de ces sols :

- Le produit de solubilité des sels accumulés ou susceptibles de se former
- la concentration ionique dans la solution du sol

Ces sols doivent contenir une quantité importante de sels plus solubles que le gypse Pour être considérés comme Salé

D'après (CALVET, 2003), un sol est dit salé quand la conductivité électrique CE, est supérieure à 4 dS/m.



Figure I-1 Croute de sel

I.2.2 Répartitions des sols salés

I.2.2.1 Répartition des sols salés dans le monde

À l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent une grande ampleur pour l'agriculture. Leurs distributions géographiques se superposent presque entièrement à celle des zones arides et semi-arides et des zones côtières (Durand, 1983). La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectares, soit 23 % des terres cultivées (FAO, 2008).

Tableau I- 1: Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008)

Région	Superficie (million d'hectares)
Afrique	80.5
Europe	50.8
Amérique du Nord	15.7
Amérique du Sud	129.2
Australie	357. 3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du centre et du Nord	211.7
Asie du sud	87.6
Total	954.8

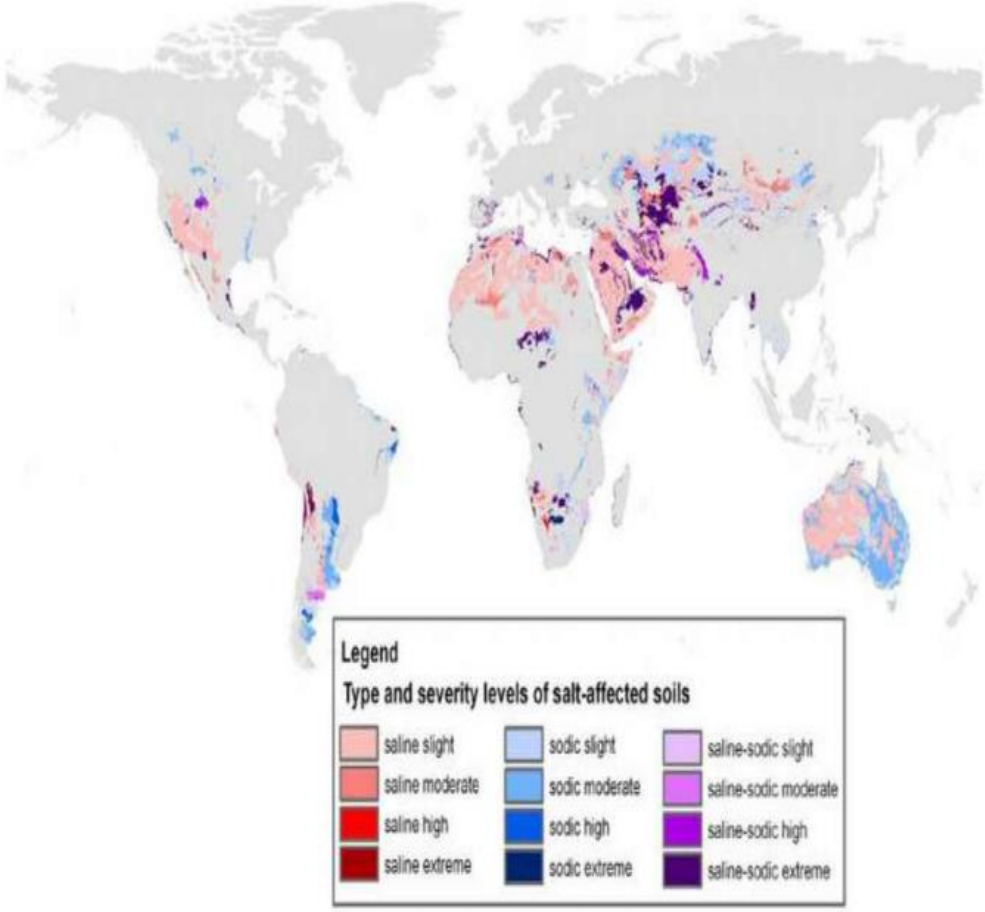


Figure I- 2 Carte mondiale de salinisation (Wicke et al ,2011)

I.2.2.2 Répartitions des sols salés en Algérie

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectée par la salinité ou susceptibles de l'être (Durand, 1983). Les sols salins sont répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de la Mina près de Relizane, sur les hautes plaines sud de Sétif et de Constantine et aux bords de certains chotts comme le chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (Durand, 1983).

Les sols non salés représentent 16% de la superficie totale, les sols moyennement salés représentent 22%, les sols salés (CE comprise entre 8-16 Ds/m) représentent 30% et les sols très salés représentent 32%.

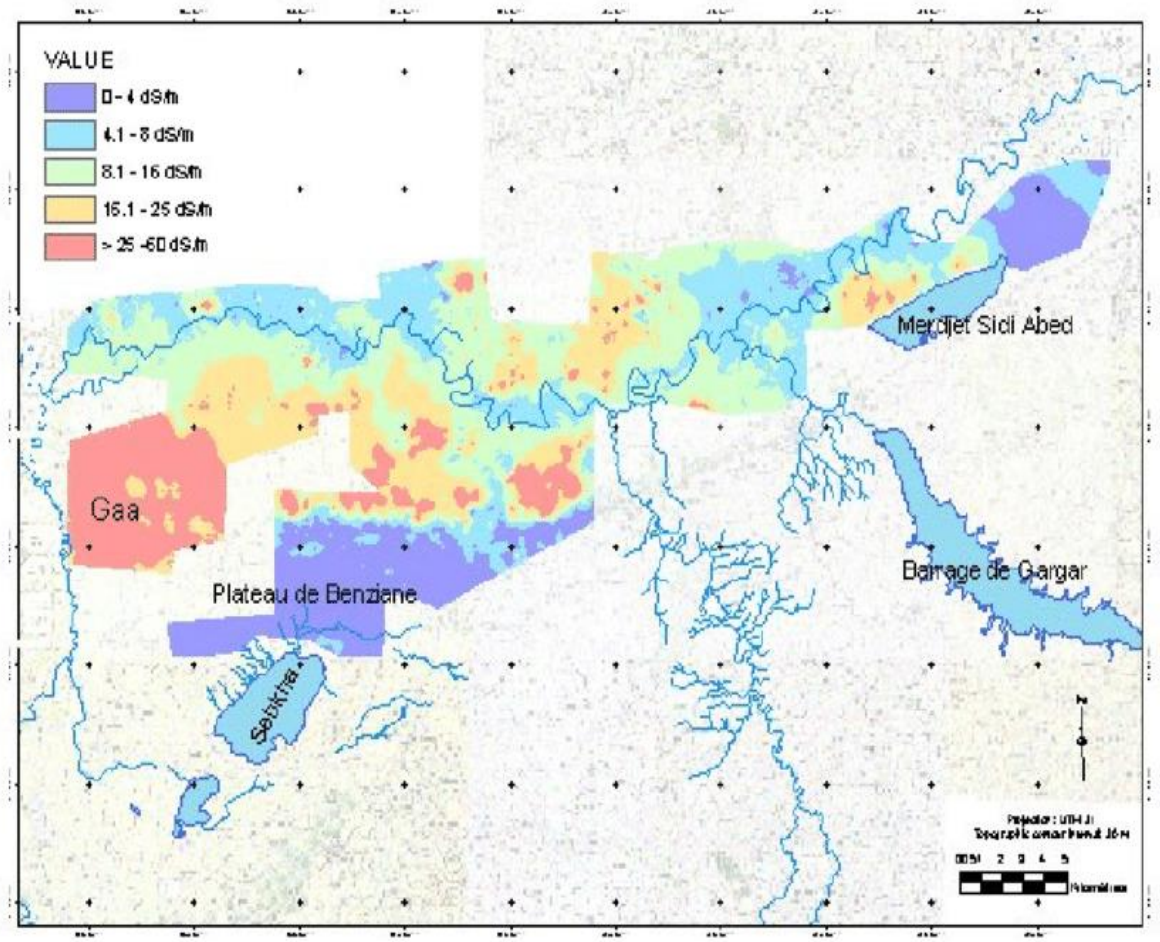


Figure I- 3 Carte de salinité estimée par kraigage à variogramme locale (A. Douaoui et al, La salinisation dans la plaine du Bas-Chelif)

I.2.3 la salinisation

Ce phénomène est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans la solution du sol conduisant ainsi à la précipitation successive de minéraux qui modifie sa composition et détermine différentes voies d'évolution des sols en fonction de l'abondance relative des différents ions majeurs dans la solution. Ces ions majeurs sont le calcium (Ca2+), le magnésium (Mg2+), le sodium (Na+), le potassium (K+), le chlorure (Cl-), le sulfate (SO4 2-) et les carbonates (HCO3 -, CO3 2-) (MARLET. S et JOB. J, 2006).



Figure I-4 Sols salins

I.2.4 Les types de salinisation

On peut distinguer deux types de salinisation : une salinisation naturelle, que l'on peut dénommer primaire, et une salinisation anthropique, que l'on appellera secondaire.

Salinisation primaire :

Que l'on rencontre par exemple en Mésopotamie, et qui résulte du processus d'altération des roches. La migration et le dépôt des sels dissous dans l'eau dépendent des caractéristiques du milieu naturel et des précipitations. Dans les régions arides ou semi-arides, le lessivage et le transport en profondeur des sels dissous n'existent plus et l'évapotranspiration importante favorise la concentration des sels dans le sol. Dans les régions côtières, l'intrusion d'eaux salées et la submersion des terres basses par l'eau de mer provoquent la salinisation de l'eau souterraine et celle des sols.

Salinisation secondaire :

Des sols irrigués dus à l'accumulation des sels solubles dans le sol. Elle résulte de divers facteurs dont l'irrigation avec des eaux de mauvaise qualité, un lessivage insuffisant, un drainage inefficace, un taux important d'évaporation, des remontées du niveau des nappes. Lorsque les sols reçoivent un excès des sels solubles, il y a échange entre le Na+ et les ions CA++ et LG++ fixés sur les minéraux argileux. C'est un phénomène d'alcalinisation. Il faut une quantité notable de Na+ pour qu'il y ait adsorption par les argiles. Les ions CA++ et LG++ échangés précipiteront quand le produit de solubilité de leurs sels sera dépassé par suite

d'évaporation. Au-dessus d'un taux de 15% de Na+ échangeable, on parlera de sols à alcalis. Il apparaitra alors une dégradation des propriétés physiques du sol.

I.2.4.1 Cause et origines de la salinisation des sols

D'après (CHERBUY, 1991), la salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

La salinité des sols a deux sources :

a) La Salinisation primaire ou naturelle :

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle :

-L'altération des roches mères contenant des minéraux nécessaires à la formation des sels solubles (minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, de produits de l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore),

-la dissolution des évaporites (IRD, 2008).

- Les eaux salées des nappes phréatiques

- l'irrigation par des eaux salées à cause de la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation chargée en sels dissous (Boualla et al, 2012)

- L'océan peut être aussi une source principale de la salinité : par l'intermédiaire de l'atmosphère, qui peut véhiculer des sels dissous dans l'eau de pluie, mais surtout de très fines particules hygroscopiques sous forme d'aérosols.

b) La Salinisation secondaire :

Près de 20% des terres salinisées ont une origine humaine :

-l'intervention de l'homme dans les pratiques cultivables dans les zones proches côtières, arides et semi-arides.

I.2.5 Conductivité électrique

La conductivité est liée à la concentration d'ions dans l'eau. Ces ions conducteurs proviennent de sels dissous et de matériaux inorganiques tels que les alcalis, les chlorures, les sulfures et les composés carbonatés.

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à laisser passer un flux électrique. Si une mesure de conductivité est effectuée à 25° C, elle peut être simplement indiquée comme étant la conductance spécifique. Si une mesure est effectuée à une température différente et corrigée à 25° C, le coefficient de température doit être pris en compte. Le coefficient de température de la conductance spécifique peut varier en fonction de la température mesurée et de la composition ionique de l'eau. Un coefficient de 0,0191-0,02 est couramment utilisé sur la base des normes KCl. Les solutions à base de NaCl doivent avoir un coefficient de température de 0,02-0,0214 (kemker, 2014).

I.2.6 La salinité

La salinité de l'eau et des sols peut provenir de sources variées. Elle provient naturellement de l'altération des roches mères contenant des minéraux nécessaires à la formation des solubles (IRD, 2008).

La définition historique de la salinité était basée sur la concentration en chlorure (qui pouvait être déterminée par titrage). Ce calcul utilisait l'équation suivante (kemker, 2014) :

Salinité =1.80655 ∗ (dosage en chlorure) (PPT ou g⁄Kg)

Bien que l'échelle de salinité pratique soit acceptable dans la plupart des situations, une nouvelle méthode de mesure de la salinité a été adoptée en 2010. Cette méthode, appelée TEOS-10, détermine la salinité absolue par opposition à la salinité pratique dérivée de la conductivité. La salinité absolue fournit une représentation précise et cohérente de l'état thermodynamique du système. La salinité absolue est à la fois plus exacte et plus précise que la salinité pratique et peut être utilisée pour estimer la salinité non seulement à travers l'océan, mais aussi à de plus grandes profondeurs et dans de plus grandes plages de température. Le TEOS-10 est dérivé d'une fonction de Gibbs, qui nécessite des calculs plus complexes, mais offre des informations plus utiles (kemker, 2014).

I.2.6.1 Mesure de la salinité des sols

La salinité des sols a été long temps mesurée par la résistivité des extraits de sol, qui permet de calculer leur teneur en sels solubles. Cette salinité s'exprime en conductibilité spécifique à 25°C, de la solution obtenue à partir du sol, soit C.E, 25°C, en mm hos/cm. La conductivité de l'eau peut être rapidement convertie en mg de sel par litre par la formule : dS/m = 1 ms/cm = 640 mg/l de sels (Marc, 2001).

I.2.8 Classification des sols salés

Il existe plusieurs classifications des sols dans le monde. La classification américaine, française, russe et celle de la FAO (1975). Parmi ces classifications, celle proposée par (Duchaufour, 1977 et Cherbuy, 1991) qui voient en ces sols, trois grandes classes :

Tableau I- 2: Tableau comparative entre les différents types des sols salés (U.S.S.L 1954 ; Daoud, 1993)

	CE (dS/m) à 25° C	pH	ESP%	Propriétés des sols
Les sols salins	C.E > 4	pH<8.5	E.S.P<15	-Une croute blanche de sels à la surface ; -Perméabilité égale ou supérieure à celle des sols similaire non salés; -La solution du sol est riche en sels soluble et en sodium échangeable.
Les sols salins à alcalins	C.E>4	pH<8.5	E.S.P>15	-Ces sols sont caractérisés par deux processus : salinisation et alcalinisation.
Les sols alcalins non salins	C.E<4	pH>8.5	E.S.P>15	Ces sols présentent à encroutement salin et deux horizons à sulfures.

I.2.9 Sels solubles

Hulin, (1983) à considéré tous les sels les plus soluble que le gypse comme des sels solubles, leur concentration est estimée par la conductivité électrique. Ils sont constitués principalement par le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium pour les cations et par les chlorures, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates et nitrates pour les anions (Chesworth, 2008).

Chlorures : est un sel principal responsable de la formation des sols salés. Il a une solubilité très élevée et une forte toxicité pour les végétaux (Hulin, 1983).

Parmi ces sels nous avons :

- Chlorure de sodium (NaCl) : très soluble et hautement toxique.

- Chlorure de potassium (KCl) : C'est un sel voisin du NaCl mais répand peu dans la nature.
- Chlorure de calcium ($Ca\ Cl_2$) : C'est un sel relativement rare dans les sols
- Chlorure de magnésium ($MgCl_2$) :C'est un sel relativement rare, sauf dans les cas de forte salinité, sa solubilité est de l'ordre de 350g/l qui fait de lui un sel de toxicité élevée.

Sulfates : Parmi ces sels nous avons :

- Les Sulfates de Calcium ($Ca\ SO_4$) : le gypse ($Ca\ SO_4\ 2H_2O$) est la forme la plus répandue, de point de vue toxicité il est peu dangereux du fait de sa faible solubilité, mais il peut freiner le développement du système racinaire dans le cas d'une forte accumulation dans le sol.
- Le Sulfate de Magnésium ($Mg\ SO_4$) : c'est un composant typique des sols salés, sa solubilité est très élevée ce qui le rend un sel toxique.
- Le Sulfate de Sodium ($Na_2\ SO_4$) : composant typique des sols salés, sa solubilité de l'ordre de 300 g/l, fait de lui un sel hautement toxique.
- Le Sulfate de Potassium ($K_2\ SO_4$) : il se trouve en très faible quantité.

Carbonates : Parmi ces sels nous avons :

- Le carbonate de magnésium ($Mg\ CO_3$) : sa solubilité est plus élevée.
- Le carbonate de sodium ($Na\ CO_3$) : c'est un sel très toxique
- Le carbonate de potassium ($K_2\ CO_3$) : il est extrêmement rare de le trouver en grande quantité, car il est fixé par les argiles.

I.3 Les environnements arides

Les environnements arides sont des environnements à faible précipitation (de 0 à 800 millimètres). L'environnement aride peut être subdivisé en trois zones:

- Environnement hyper-aride,
- Environnement aride,
- Environnement semi-aride.

I.3.1 Causes de l'aridité

Selon (Maliva et al, 2012) les principales causes de l'aridité sont :

- Les hautes pressions
- Le vent continental
- Le phénomène de l'ombre pluviométrique
- Les courants océaniques froids

I.3.2 Classification des zones arides

L'aridité est exprimée par le rapport P/ET.

Avec :

P : les précipitations,

ET: les évapotranspirations.

D'après (FAO, 1992) on a quatre types de zones arides :

- Régions subhumides P/ETP 0.65-0.50
- Régions semi arides P/ETP 0.50-0.20
- Régions arides P/ETP 0.05-0.20
- Régions hyper arides P/ETP <0.05

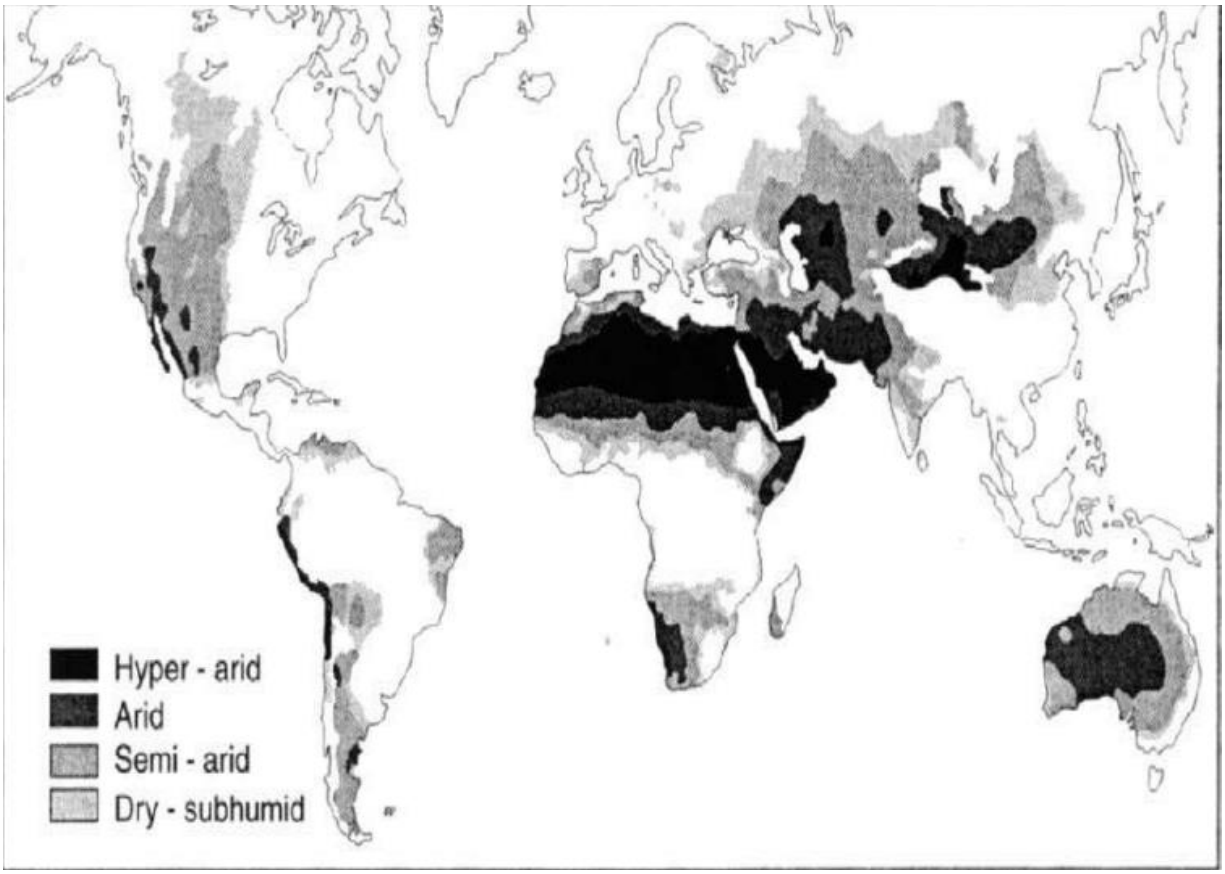


Figure I-6 Carte des zones arides dans le monde (wri, 2002).

I.3.3 Climat des zones arides

Lorsqu'on parle des zones arides, on distingue trois grands types de climats:

- Le climat méditerranéen : la saison des pluies se situe en automne et en hiver. Les étés sont chauds et secs; les températures hivernales sont douces.
- Le climat tropical : les précipitations se produisent en été. Plus on est loin de l'équateur, plus la saison des pluies est courte.
- Le climat continental : les précipitations sont régulièrement réparties sur toute l'année, bien qu'il y ait une tendance à plus de pluie en été.

I.4 Généralités sur sebkha

Les sols de Sebkha se trouvent dans les régions arides ou semi-arides. Ces sols sont définis comme des dépôts salins de sable mélangés à du limon et/ou de l'argile. Les activités environnementales telles que le vent, la température et l'activité biologique sont des facteurs

qui favorisent la formation des sols de sebkha, principalement en Afrique du Nord et au Moyen-Orient



Figure I-7 Sebkha d'Oran (Algérie)

I.4.1 Définition de sebkha

Sebkha est un mot arabe désignant des bassins situés dans des régions arides (milieux supra tidaux) avec au fond des dépressions fortement salines plus ou moins séparées du milieu marin.

Cependant, il peut encore être en contact avec le milieu marin par de très faibles courants (bassins profonds) ou au contraire par infiltration (bassins peu profonds). Dans les deux cas, il y a une augmentation de la salinité, une évaporation importante, une émergence de saumure et des précipitations d'évaporites au fond du bassin à des profondeurs moindres et à une extrémité à des profondeurs plus importantes.

I.4.2 Types de sebkha

Il y a essentiellement deux types de sebkhas Selon (Al-Amoudi, 2008) :

a) Sebkha côtière

Ces sols de sebkha sont le résultat de dépôt des sédiments marins, au moins dans leurs parties vers la mer. La plupart des sols de sebkha côtiers sont des surfaces supra-tidaux, qui ont été développées à la suite d'un ordre de sédimentation qui semble avoir commencé il y a des milliers d'années par l'eau de mer transgressant au-dessus des dunes de sable

Exemple : Sebkha d'Oran

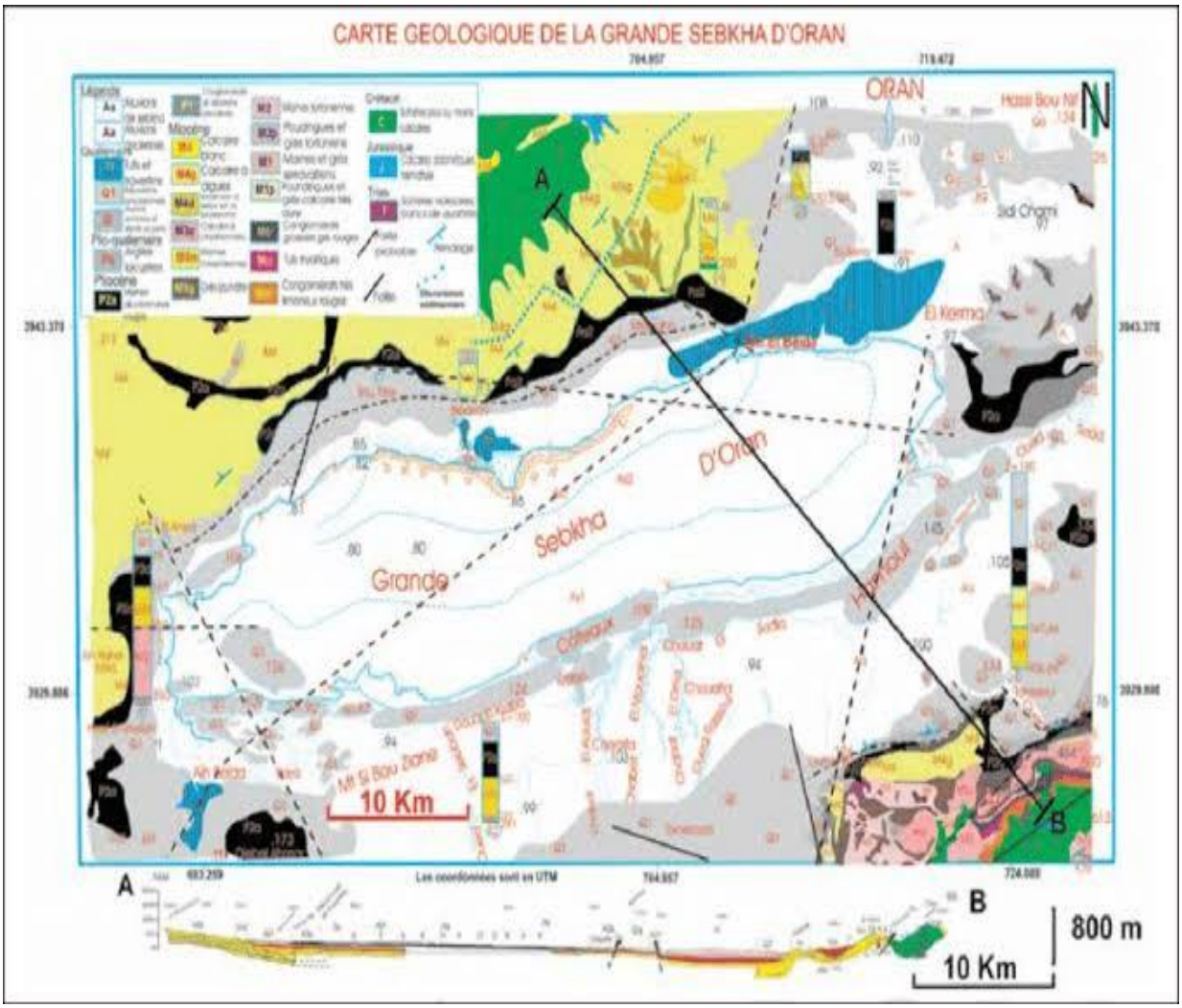


Figure I- 8 Carte géologique de sebkha d'Oran (MOUSSA, 2011)



Figure I- 9 Photo satellitaire d'une sebkha côtière (sebkha d'Oran).

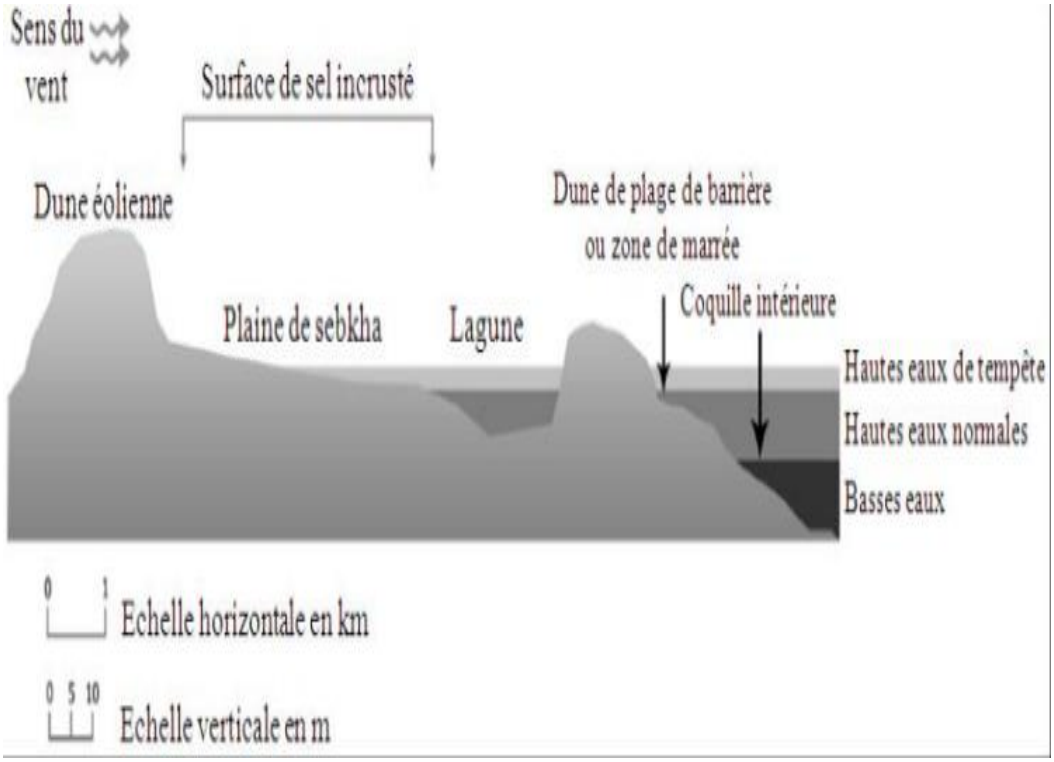


Figure I- 10 Section transversale typique de la sebkha côtière (Akili et Torrance, 1981)

b) Sebkha continentale ou intérieure

Selon (Johnson et al, 1978), les sols de Sebkha continentale ou intérieure développent habituellement comme des surfaces, dont le vent a enlevé les particules sèches de sédiment, parallèles à la nappe phréatique, aux niveaux qui sont contrôlés par l'humidité des sédiments

Exemple : Sebkha continentale d'Ain M'lila

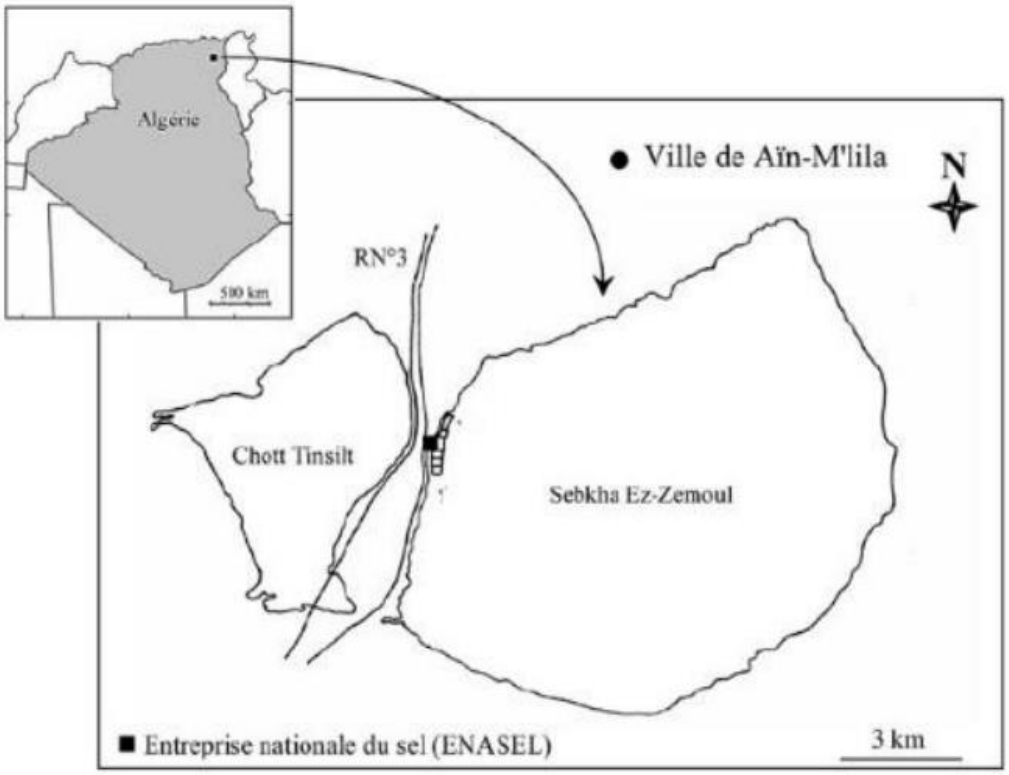


Figure I- 1 Sebkha continentale d'Ain M'lila.

I.4.3 Distribution des Sebkhas

I.4.3.1 Dans le monde

De vastes étendues de terres dans les régions arides et semi-arides ont des concentrations très élevées de salinité.

Les Sebkhas sont des zones géographiquement très répondues qui se trouvent dans toutes les régions continentales d'Asie, d'Amériques du Sud, d'Australie, aux Etats-Unis et en Afrique du nord. Ces milieux se limitent généralement dans les zones arides à semi-arides (Demnati, 2013).

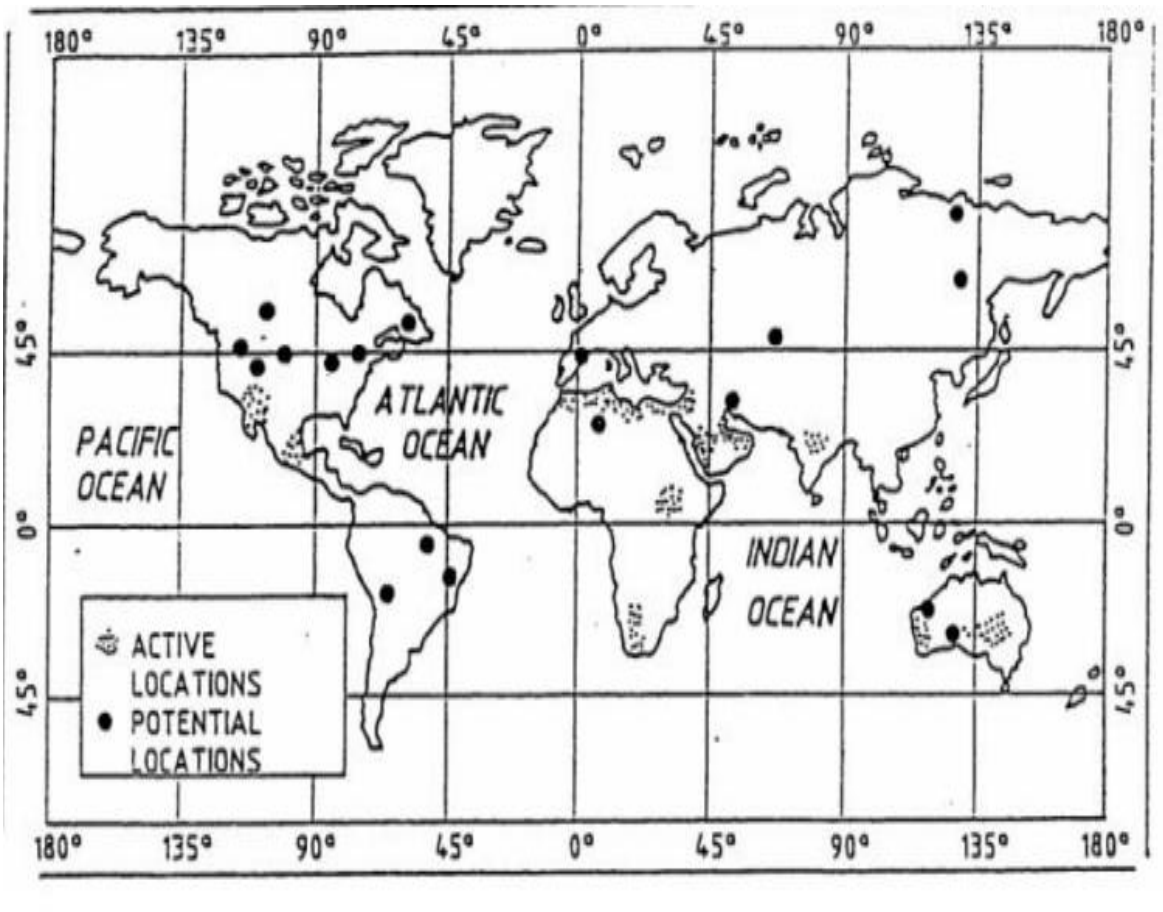


Figure I- 12 Carte du monde représenté les localisations des sebkhas actives et potentielles (Al-Amoudi, 1995).

I.4.3.2. En Algérie

L'Algérie comprend un grand nombre de chotts dans les montagnes de l'Atlas qui s'étendent du sud de la Tunisie au nord de l'Algérie dans la grande région de l'Erg Occidental. On peut citer le chott de Hodna, le chott de Naama à l'ouest, la sebkha de Naama, la sebkha d'Oran, les chotts de Melghir et Merouane au nord-est du Sahara, les chotts d'Oum Raneb et Sidi Amrane... Région d'Ouergla

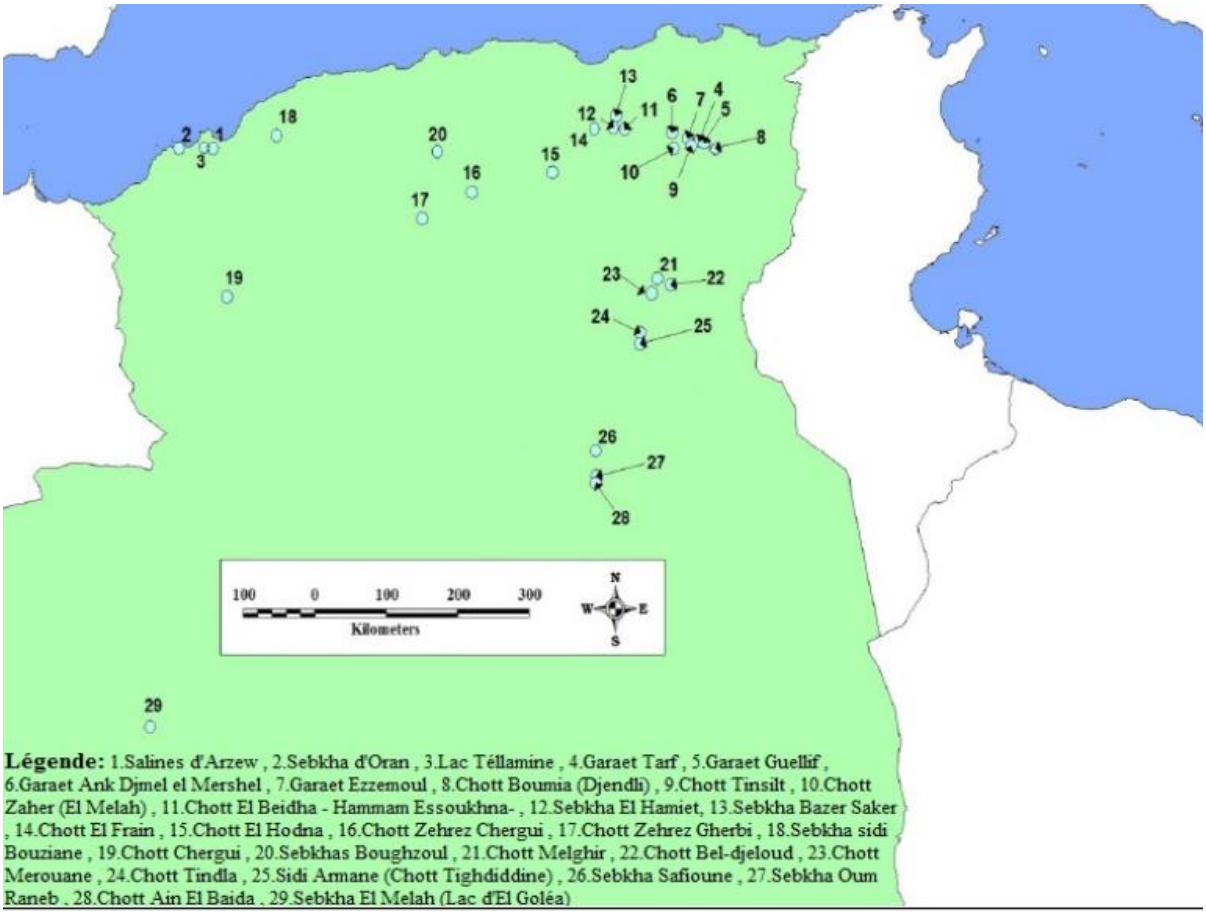


Figure I- 2 Répartition des chotts et sebkha en Algérie (Demnati, 2013)

I.5 Conclusion

En conclusion, les sols salés sont un problème courant dans les zones arides et semi-arides et peuvent présenter des défis pour les ingénieurs civils lors de la conception et la construction de structures.

Dans ce chapitre, nous présentons une étude bibliographique sur les sols salés, la salinisation des sols et les environnements arides. Dans le but d'identifier les facteurs qui ont une influence sur la formation des sebkhas. Les sols sebkha sont localisés dans les zones arides ou semi-arides. Ces sols sont définis comme étant des sols salés ayant une salinité élevée.

CHAPITRE II

LES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DES SOLS SALES

II.1 Introduction

L'Algérie est un pays afro-méditerranéens, compte un nombre important de lacs salés (chotts et sebkhas) essentiellement réparti entre les deux chaines montagneuses, l'Atlas tellien, l'Atlas saharien et Erg oriental. Les sols compressibles de mauvaise qualité (sols salés) ont toujours existé dans ces zones. Ces sols sont considérés comme des sols difficiles qui posent plusieurs problèmes pendant la réalisation des ouvrages.

- Des tassements différentiels à cause de l'hétérogénéité du sol de sebkha.
- Diminution de capacité portante des sols après inondations.
- Les concentrations élevées de certains sels (SO4 et Cl) ont un effet sur le béton et l'acier.

Donc il est très important de passer par une recherche bibliographique sur l'effet de la salinité sur les caractéristiques géotechniques des sols afin de récolter le maximum d'informations.

Dans ce chapitre, on parle de quelques études réalisées qui concernent les caractéristiques physiques et mécaniques des sols riches en sels, notamment l'analyse granulométrique, la teneur en eau et les limites d'Atterberg, le compactage et la compressibilité. En fin, le chapitre sera clôturé par une conclusion.

II.2 les caractéristiques géotechniques des sols salés

II.2.1 Analyse granulométrique

Al-Amoudi et al. 1992, durant l'étude des caractéristiques géotechniques d'un sol de sebkha en Arabie saoudite ont proposés l'utilisation de la saumure naturelle et le chlorure de méthylène pour la détermination de la granulométrie de ce type de sols (figure III.1).

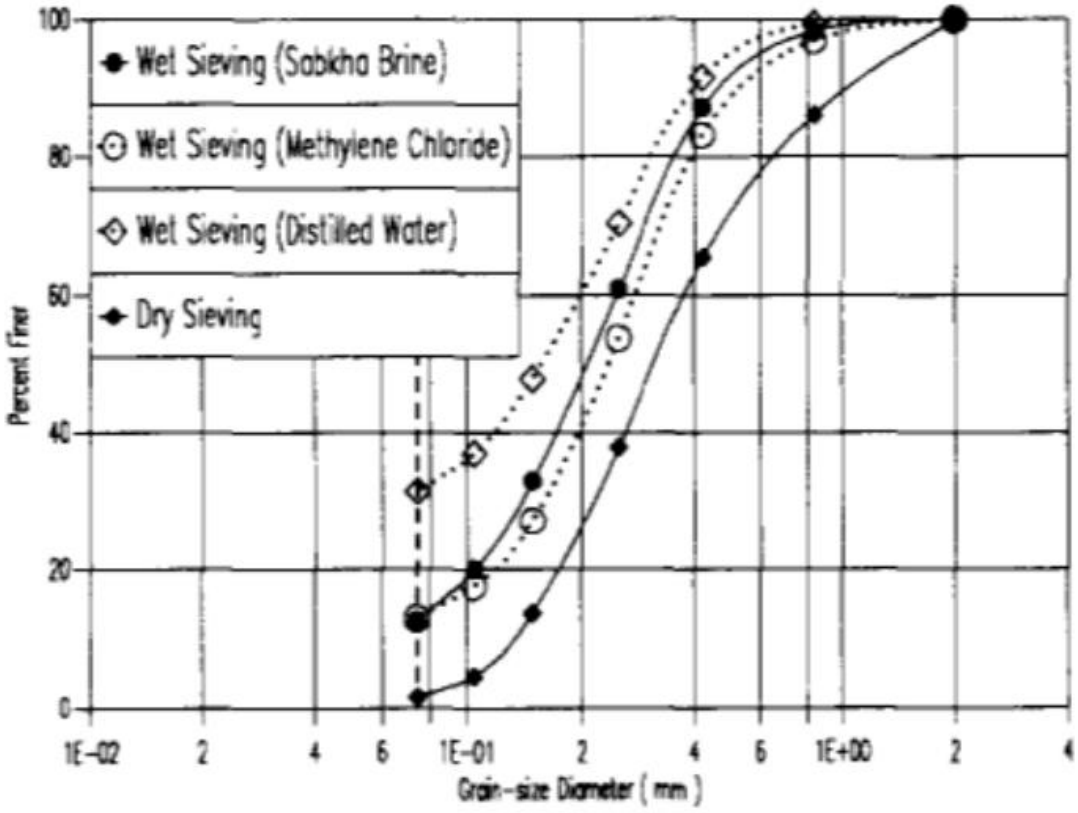


Figure II- 1 Analyse granulométrique du sol de sebkha (Al-Amoudi et al, 1994)

Mansour et al. (2008), ont réalisés des essais d'analyse granulométrique sur des échantillons de sol de la mer morte par l'utilisation de l'eau distillée et de la saumure naturelle. Les résultats obtenus ont indiqués que l'utilisation de la saumure naturelle de la mer morte diminue le pourcentage des fines en comparaison avec les essais réalisés par de l'eau distillée (figure III.2).

Cette différence est attribuée à la dissolution des sels et la séparation des matériaux cimentés Provoquées par l'utilisation de l'eau distillée

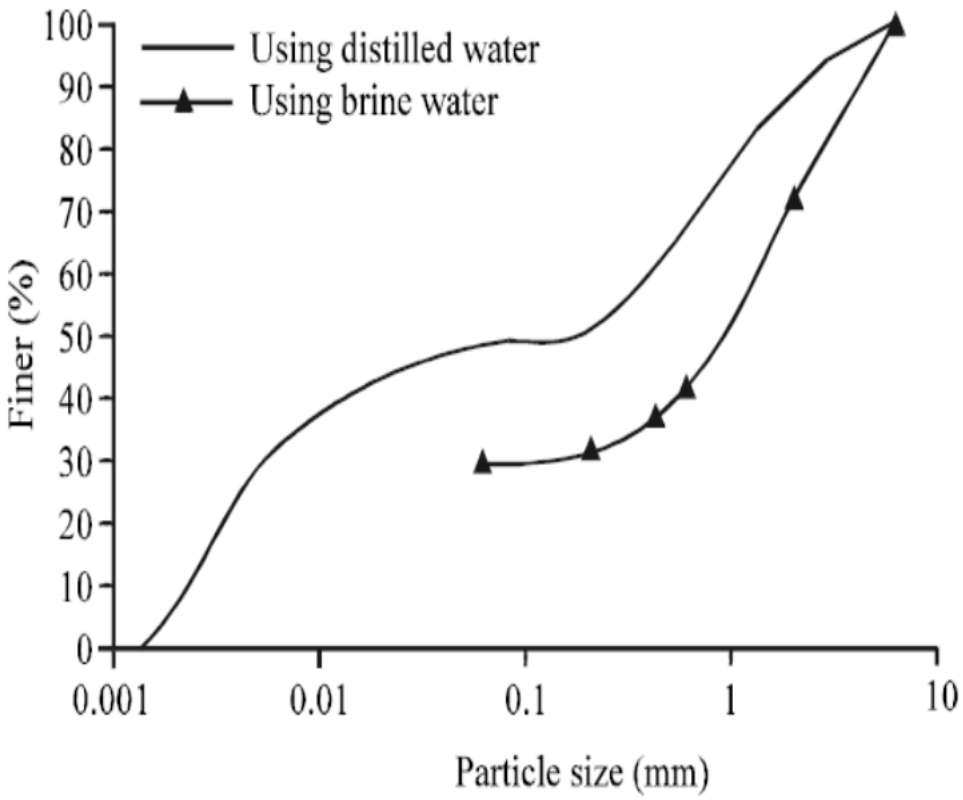


Figure II-2 Analyse granulométrique (Mansour et al, 2008)

II.2.2 Teneur en eau

La détermination de la teneur en eau consiste à peser une quantité de sol, intact, remanié ou reconstitué, à son état humide, puis le sécher à environ 105°C et le pesé à nouveau. La teneur en eau est donc le rapport entre la différence entre les deux poids (humide et sec) et du poids sec.

Teneur en eau conventionnelle :

$$Wc\ (\%) = \frac{W - Wd}{Wd} = \frac{poids\ de\ l'eau}{poids\ du\ sol\ sec}$$

W: Poids de sol humide.

Wd : Poids du sol après étuvage à 105°C ± 5°C.

La norme américaine se réfère à des matériaux contenant du gypse et des sols contenant des quantités substantielles de sel et recommande qu'ils doivent être séchés à une température de 60 °C.

Quand un échantillon de sol salé est séché dans une étuve son eau interstitielle s'évapore mais le sel reste avec les particules solides ce qui influe sur la valeur de la teneur en eau.

Pour cela toutes les propriétés physiques des sols salés (l'indice des vides, le degré de saturation, etc.,) ainsi que les relations de phase entre les différents paramètres du sol, sont donc influencés.

La Teneur en fluide (Noorany, 1984)

Noorany (1984), a suggéré d'utiliser la teneur en fluide au lieu de la teneur en eau dans le cas des sols salés

$$Wf = \frac{Wb}{Ws} = \frac{W - Wd}{Wd - rW} = \frac{Wc}{1 - r - rWc}$$

Avec : $r = \frac{Wsa}{Wb}$

Wsa: le poids de sel.

Wb : le poids de la saumure.

Frydman et al. (2008), en étudiant les propriétés géotechniques du sol de la mer morte ont proposés une nouvelle formule pour le calcul de la teneur en fluide des sols salés à condition que l'échantillon soit saturé et intacts (pour pouvoir mesurer le poids volumique total).

$$Wf = \frac{Wsw}{Ws} = \frac{Gsw}{Gs} * \frac{Gs\gamma w - \gamma t}{\gamma t - Gsw\gamma}$$

Avec :

Wf: Teneur en fluide.

Gsw : Densité de la saumure.

Gs : Densité spécifique des grains solides.

γw : Poids volumique de l'eau fraiche.

γt : Poids volumique total mesuré sur des échantillons de sol intacts.

II.2.3 Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont les principaux constituants des propriétés géotechniques. Les tests d'Atterberg sont utilisés pour classifier les sols et pour voir si la présence des sels dans le sol change ses propriétés (limite de liquidité LL, limite de plasticité PL et indice de plasticité IP), Ces limites ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition considéré, exprimée en pourcentage du poids du matériau sec.

La différence Ip=Wl-Wp qui définit l'étendue du domaine plastique, et particulièrement importante, c'est l'indice de plasticité.

La faible influence de la salinité sur la limite de plasticité peut résulter d'une faible humidité du sol, ce qui entraîne une diminution de l'interaction entre le sol et le soluté dans l'eau. Mais dans la limite liquide, dans lequel l'humidité du sol est plus élevée, l'effet de la salinité sera plus.

Mansour et al, 2008, ont indiqué que la présence de cations échangeables de haute valence dans la saumure de la Mer Morte diminue la distance entre les particules en diminuant les forces répulsives dans la microstructure du sol.

La limite plastique est observée dans le sens où, lorsque le sol trempé est testé pour la limite plastique, la plasticité diminue progressivement avec l'augmentation des concentrations de sel.

La plasticité diminue en raison de l'augmentation de la teneur en sel. La plasticité est diminuée à cause de l'effet de la solution saline sur la force d'adhésion des particules. Les particules d'argile se floculent, transforme les particules d'argile naturelles en forme de plaques en structures métallines imbriquées en forme d'aiguilles, ce qui rend les sols argileux. Les flocs se comportent comme des particules de limon qui sont les moins plastiques. C'est pourquoi une réduction est observée dans la limite plastique.

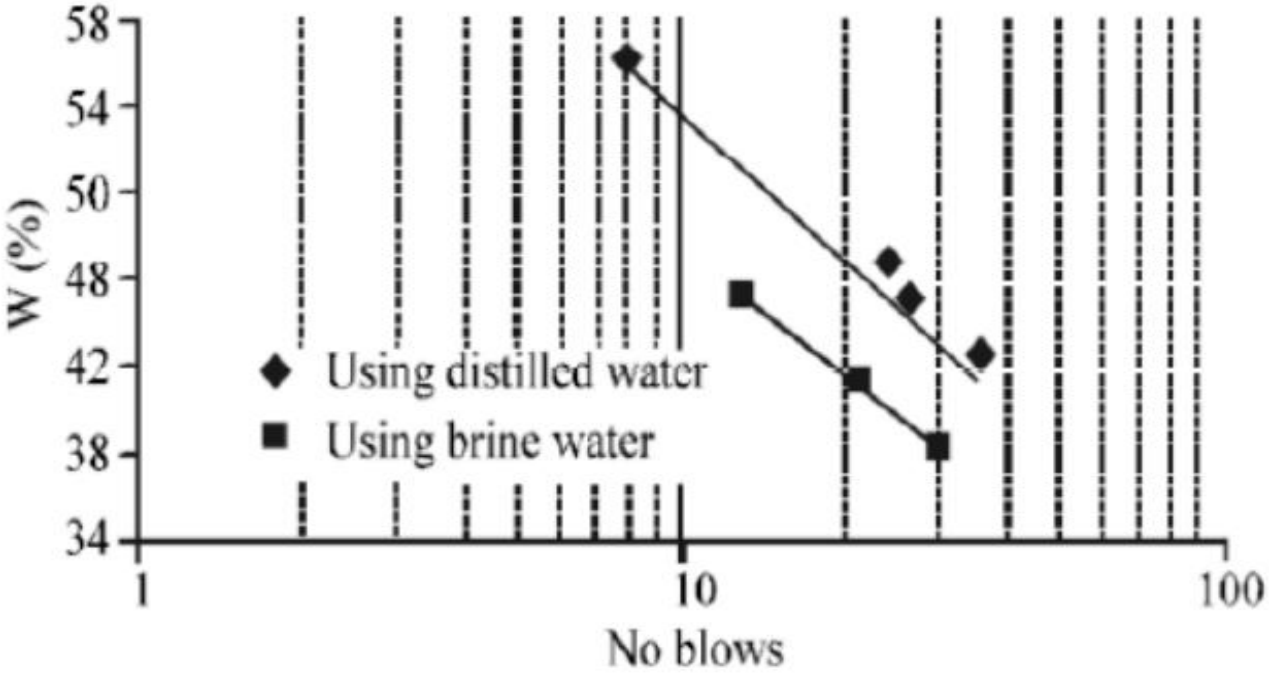


Figure II- 3 Limite de liquidité (Mansour et al 2008)

II.2.4 Le compactage

Le compactage est la densification des sols par application d'énergie mécanique. Il vise à améliorer les propriétés géotechniques des sols (Holtz et Kovacs, 1981). Il peut aussi conduire à une modification de la teneur en eau aussi bien que la graduation du sol. Il vise à améliorer les propriétés géotechniques des sols Pour but:

- Réduire les tassements
- Améliorer la résistance et la stabilité des sols
- Améliorer la capacité portante des infrastructures routières
- Limiter les variations de volume

Les essais de compactage permettent de déterminer le poids volumique sec maximal pour une valeur d'énergie de compactage donnée

Dans le but de déterminer l'effet de la salinité sur les caractéristiques de compactage, Al-Amoudi et al (1992), ont réalisé des essais Proctor sur des échantillons d'un sol sableux de sebkha de Ras Al-Ghar en Arabie Saoudite en utilisant l'eau distillée et la saumure naturelle. Les résultats ont indiqués qu'il n'ya pas de différence entre lors de l'utilisation de l'eau distillée ou de la saumure naturelle.

Des résultats similaires ont été trouvés par Ajalloeian et Mansouri (2015) en utilisant trois types d'eau : l'eau distillée, eau demi-salée et l'eau salée.

Des essais Proctor sont réalisés par Mansour et al (2008) sur des échantillons de sol de la mer morte en utilisant l'eau distillée et la saumure naturelle. L'échantillon traité par la saumure naturelle est séché à l'air libre puis testé a nouveau par la saumure pour le but d'augmenter la concentration en sel. Les résultats obtenus :

- La teneur en eau optimale diminue en fonction de la salinité
- Le poids volumique sec maximal augmente en fonction de la salinité

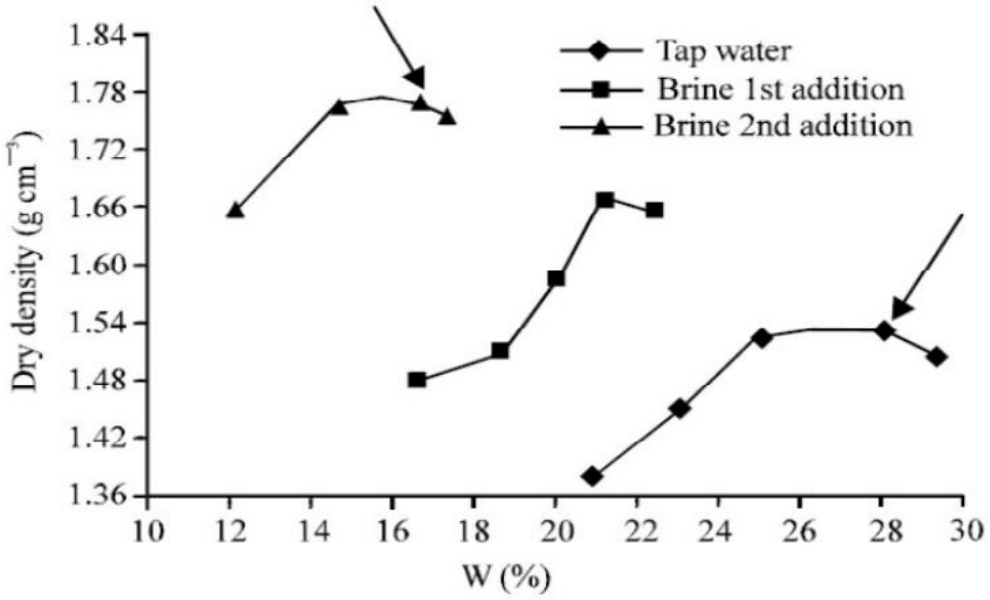


Figure II- 4 Courbe de compactage (Mansour et al, 2008)

II.2.5 Compressibilité

Kim et al (2008) ont étudié l'effet de salinité sur les caractéristiques de compressibilité d'un argile marine, pour la but de réduire la salinité des échantillons de 17.96 et 16.26 g/l à environ 3 g/l, ils ont effectué un lessivage par l'utilisation de l'eau distillée, le lessivage a nécessité environ 25 jours.

Les essais de compressibilité ont été effectués sur des échantillons de sol naturels et lessivés. Les résultats on montré que :

- La contrainte de pré consolidation diminue lorsque la salinité diminue ;
- L'indice de compression et de gonflement augmentent lorsque la salinité diminue.

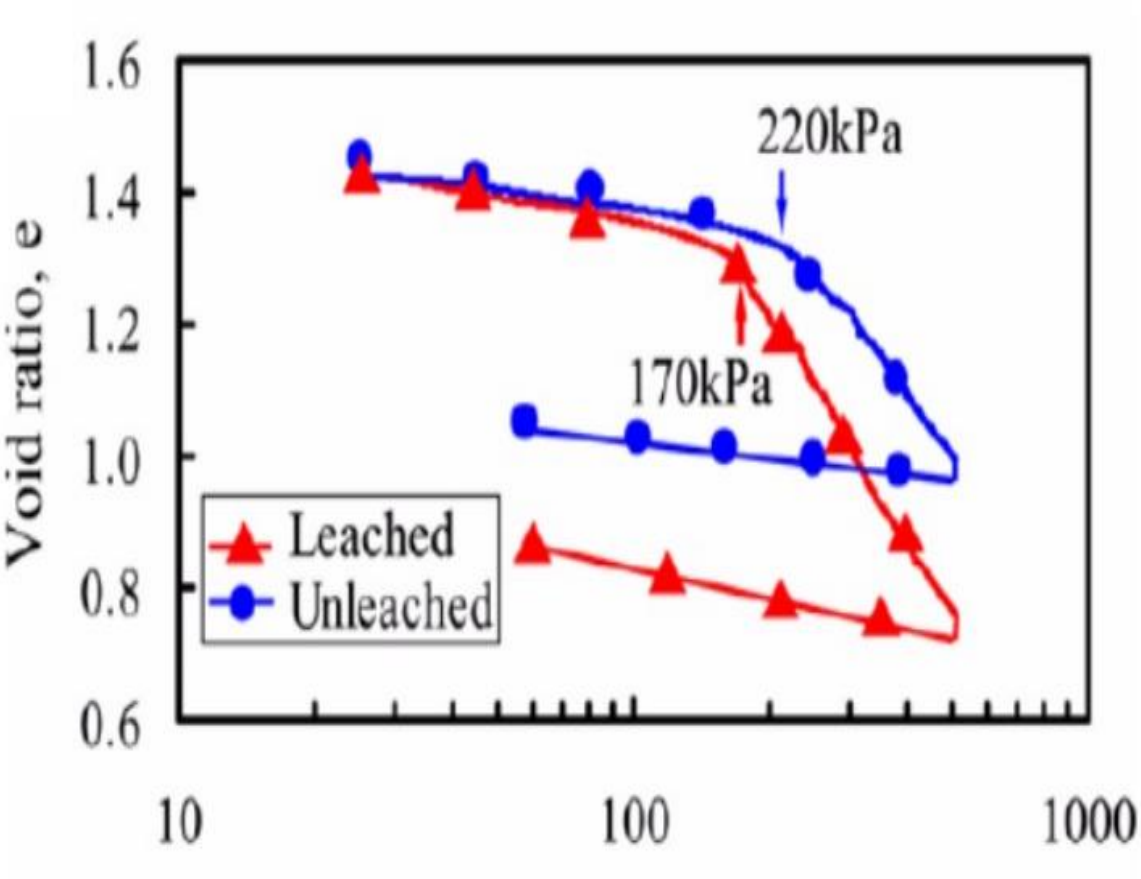


Figure II- 5 Courbe de compressibilité des échantillons naturel et lavé (Kim et al, 2008)

Ajalloeian et al (2013), ont réalisé des essais de compressibilité à l'oedomètre conventionnel sur des échantillons à l'aide de trois types de solutions : l'eau distillée, eau demi salée et eau salée. Les résultats montre que :

- Les indices de compression et de gonflement diminuent lorsque la salinité augmente.

II.2.6 la perméabilité

Messad et al, (2015), a indiqué que les résultats de la perméabilité obtenue pendant les essais œdométriques avec percolation (de l'eau distillée et de la saumure) et avec lessivage présentée dans **la figure III.6**, montre que la perméabilité augmente avec l'augmentation de l'indice des vides et diminue en fonction de l'augmentation de la salinité.

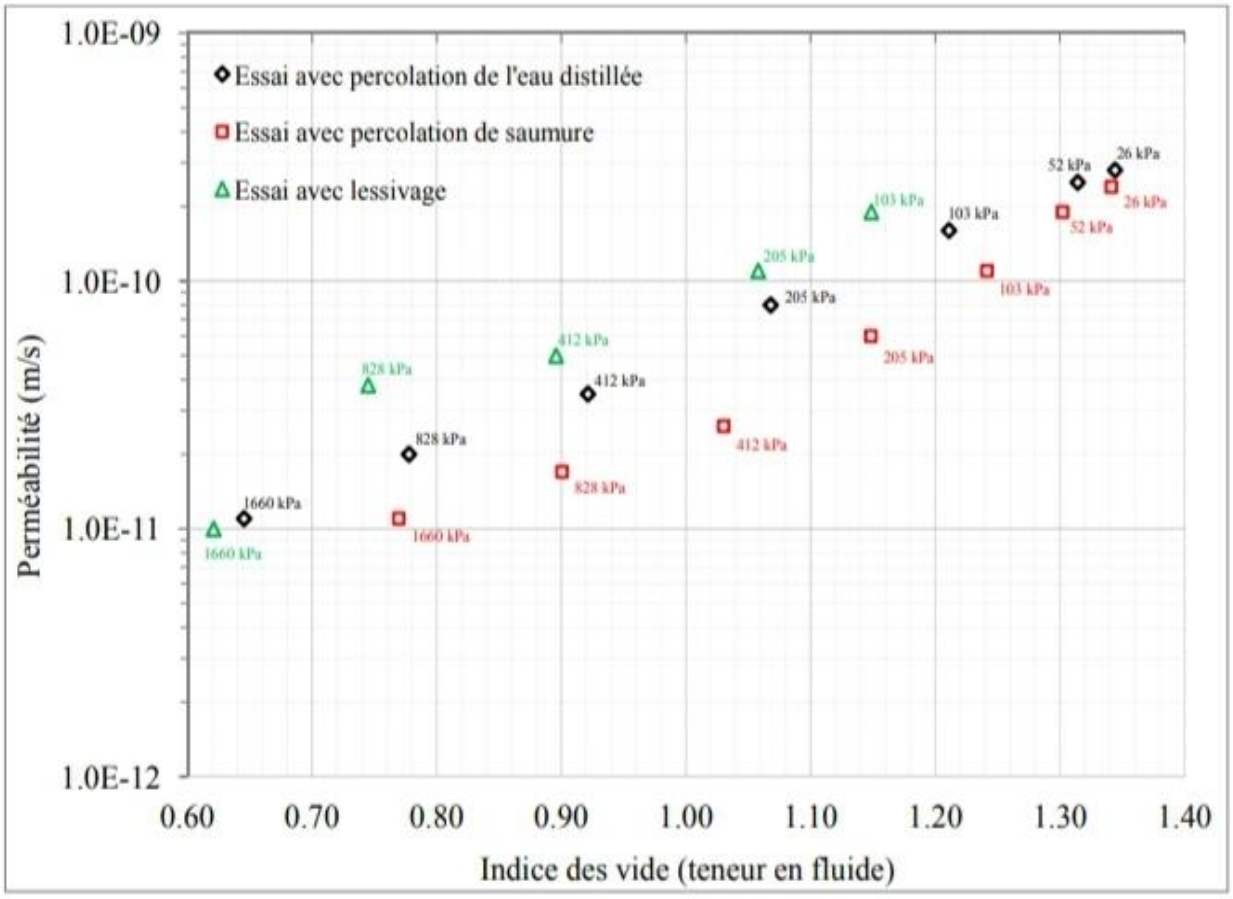


Figure II- 6 Evolution de la perméabilité en fonction des indices des vides déterminés sur la base de la teneur en fluide (Messad, 2015)

I.3 Conclusion

Les sols salés présentent des caractéristiques géotechniques particulières, dépendent des types et des quantités des sels présents dans le sol (le calcium, carbonate (CaCO3); gypsum CaSO4 2 H2O et l'Halite (NaCl)), qui doivent être prises en compte lors de la construction des structures de génie civil

Dans ce chapitre, nous avons présenté les études du comportement des sols sebkha en se basant sur l'effet de l'eau distillée sur les propriétés mécaniques et physiques de ces sols, notamment l'analyse granulométrique, la teneur en eau et les limites d'Atterberg, compactage et compressibilité. Ces études ont montré que la percolation de l'eau distillée à travers le sol sebkha provoque la destruction des liaisons naturelle des grains, ce qui entraine un effondrement, une augmentation de la perméabilité, une réduction de la résistance et une augmentation du tassement.

CHAPITRE III

Etude Expérimentale

III.1 Introduction

Les essais géotechniques de laboratoire sont très importants pour connaitre les caractéristiques d'un sol, ce qui nous permet de connaitre le sol et sa qualité à travers des tests d'identification tels que : test d'analyse granulaire, limite d'Atterberg, la valeur du bleu de méthylène, etc.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le programme expérimental des essais effectués, une description des appareils, le but et le principe de chaque essai ainsi que les caractéristiques des matériaux utilisés.

III.2 Caractéristiques des Matériaux utilisées

L'étude expérimentale sera menée sur quatre types des sols : Argile, Kaolinite, Sable de dune et Sable de carrière.

Argile

L'argile utilisée provient de la région d'Ouzera (Médéa), Algérie.



Figure III- 1 Matériaux Argileux prélevée d'ouezra

Sable des Dunes (sable 1)

Le sable utilisé provient de la région de Laghouat, de couleur jaune doré. Séché à l'étuve à 105°C pendant 24heures



Figure III- 2 Sable de dune (sable 1 Laghouat)

Sable de carrière (sable 2)

Le sable utilisé provient de la région de Tamoulga (Ain defla), Algérie très utilisée dans les travaux routiers, Séché à l'étuve à 105°C pendant 24heures



Figure III- 3 sable de carrière (sable 2 Tamoulga)

Kaolinite

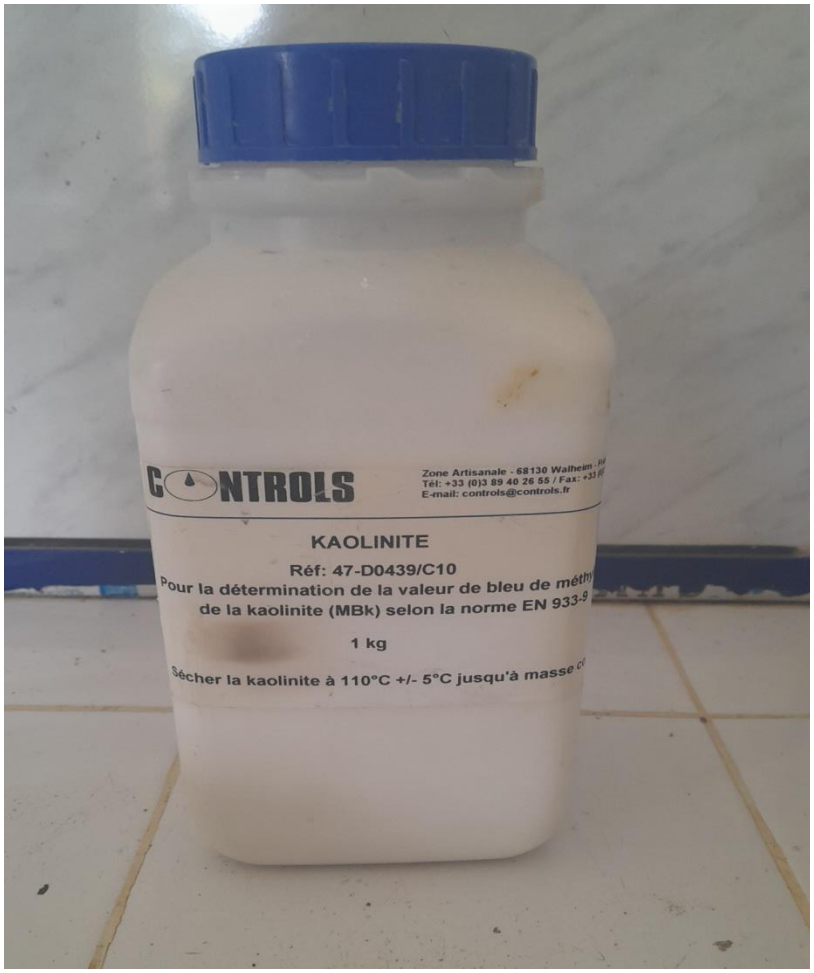


Figure III- 4 kaolinite pure

La saumure naturelle

Les saumures sont des solutions électrolytiques, formées d'un mélange homogène entre de l'eau et des sels dissous sous forme d'espèces aqueuses. La présence de solutés modifie les propriétés de la solution, par rapport à une solution non salée. Lorsque la concentration de la saumure dépasse un certain seuil, l'eau est saturée en sels (une quantité du sel se cristallise).

La saumure naturelle utilisée provient de Chott El Hodna, qui est le deuxième plus grand chott d'Algérie. Il est situé dans la région nord-est à environ 130 km de la méditerranée

.

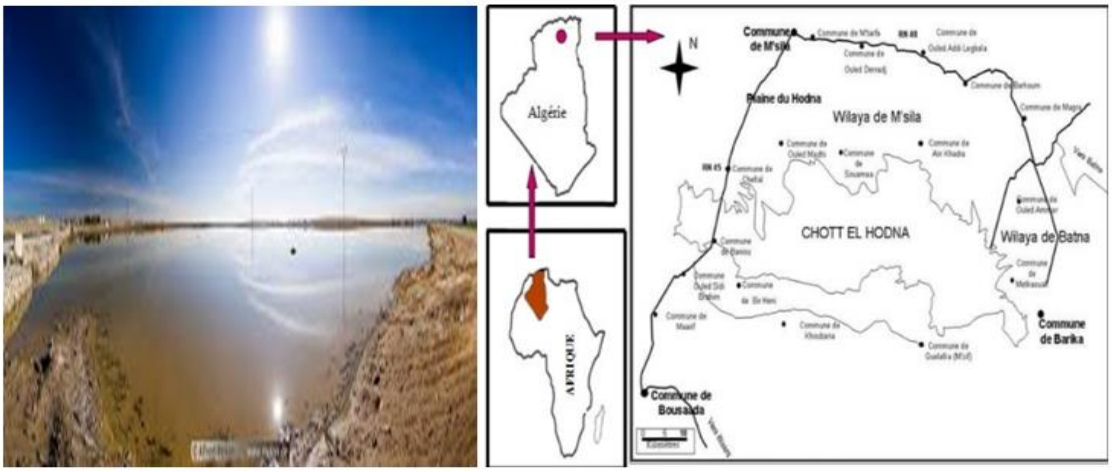


Figure III- 5 Chott el Hodna

III.3 Programme d'Essais

Les essais d'identification du sol reconstitué du présent travail sont les suivants :

- La teneur en eau naturel
- L'analyse granulométriques par tamisage
- L'analyse granulométriques par sédimentométrie pour l'argile et sable de carrière
- Limite d'Atterberg.
- L'essai de l'équivalent de sable.

III.4 Caractérisation géotechnique

III.4.1 Teneur en eau naturel (NF P 94-050)

La teneur en eau naturelle W_{nat} d'un sol la teneur en eau mesurée immédiatement après le prélèvement in situ et correspond à la teneur en eau au moment du prélèvement.

La teneur en eau est calculée par l'équation :

$$W\% = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

P_h : poids du sol humide

P_s : poids du sol sec

III.4.2 La masse volumique des grains solides ρs (NF P 94-053)

L'essai consiste à trouver la masse d'eau (**Mw**) déplacée par émersion dans un pycnomètre d'une masse connue de sol sec (**Ms**). Pour ce faire, on mesure la masse d'un pycnomètre rempli d'eau distillée et désaérée (**M2**) et la masse du même pycnomètre dans lequel on a placé l'échantillon de sol et qu'on a rempli d'eau distillée et désaérée (**M3**). Les mesures des masses **M2** et **M3** se font à une même température (**T2**). La masse d'eau déplacée est alors égale à :

$$\mathbf{Mw= Ms+M2-M3}$$

$$\rho s = \frac{Ms}{Vs}$$

Avec :

Ms : la masse des grains solides

Vs : Volume des grains solides

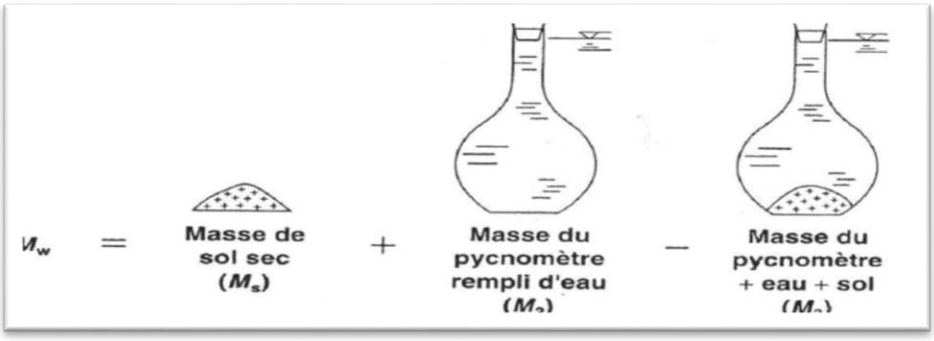


Figure III- 6 La masse volumique des grains solides

III.4.3 Analyse granulométrique

❖ Par Tamisage (NF P94-056)

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série des tamis, emboites les uns dans les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieur des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. Utiliser pour les grains d'un diamètre supérieur à 80µm.



Figure III- 7 Analyse granulométrique par tamisage

❖ **Par Sédimentométrie (NF P94-057)**

Elle consiste à laisser une suspension de sol se déposer au fond d'une éprouvette pleine d'eau. Plus les grains sont fins, plus la vitesse de décantation est lente. (Loi de Stockes). La mesure de la densité de la suspension à des intervalles de temps variables permet de calculer la proportion de grains de chaque diamètre.

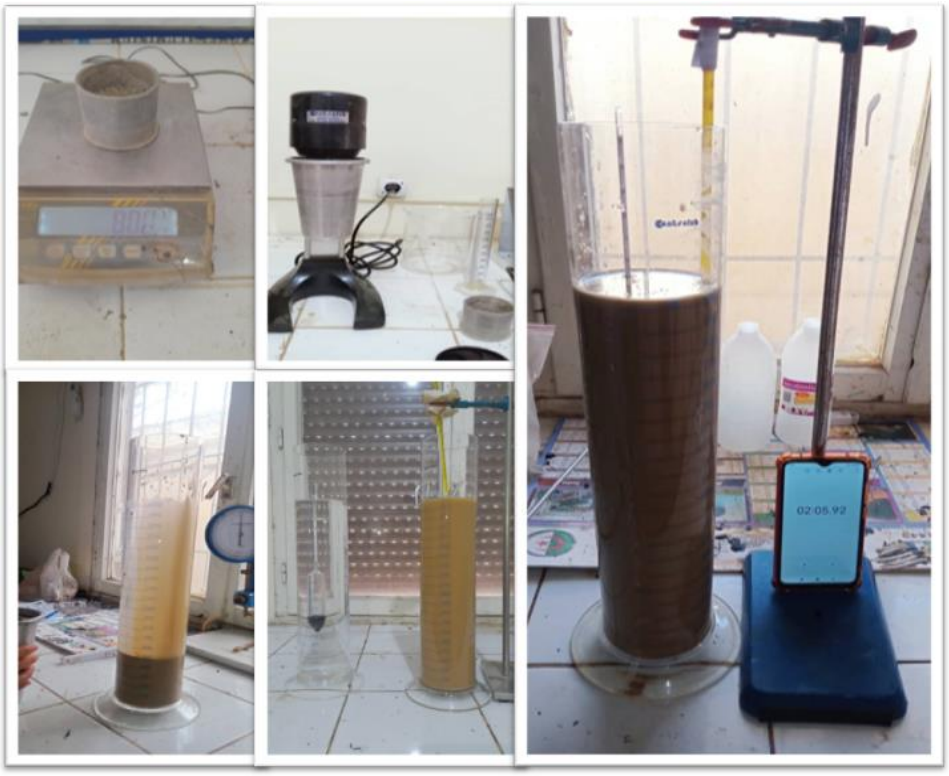


Figure III- 8 Analyse granulométrique par sédimentométrie

III.4.4 Limites d'Atterberg (NF P94-051)

Des essais ont été conduits pour déterminer la limite de liquidité (WL) et la limite de plasticité (WP) du sol, il est basé sur la norme (NFP 94-051).

❖ **La limite de liquidité WL:** La limite de liquidité (WL) représente la teneur en eau massique du matériau à la limite entre l'état liquide et l'état plastique. Dans notre cas, nous avons déterminé cette limite à la coupelle de Casagrande (WL correspond à la teneur en eau pour laquelle l'incision faite dans le matériau se referme après 25 chocs).



Figure III- 9 Essai de limites de liquidité

❖ **La limite de plasticité WP:** la recherche de la teneur en eau WP qui présente la teneur en eau massique du matériau à la limite entre l'état plastique et l'état solide. Elle correspond à la teneur en eau limite pour laquelle il est possible de confectionner en les roulant sur un marbre des petits rouleaux de matériau de 10 cm de longueur et 3 mm de diamètre sans les fractionner.



Figure III- 10 Essai de limites de plasticité

❖ **L'indice de plasticité IP:**

Le calcul de l'indice de plasticité s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$Ip = WL - Wp$$

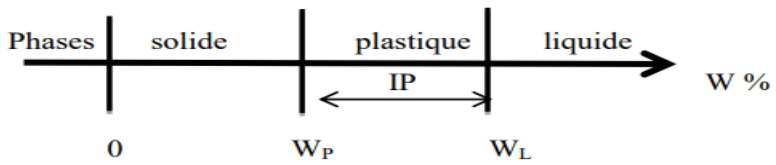


Figure III- 11 Représentation des limites d'Atterberg

III.4.5 Equivalent de sable (NF P 18-598)

L'équivalent sable est un indice, utilisé en géotechnique, pour caractériser la propreté de sable ou gravier. Il indique la teneur en éléments fins, essentiellement l'origine Argileuse.

$$ES = (h1/h2)* 100$$

Avec :

- Hauteur h1 : sable propre + éléments fins
- Hauteur h2 : uniquement du sable propre



Figure III- 12 Essai d'équivalent de sable

III.5 Étude de l'effet du sel sur l'essai au bleu de méthylène

Des essais au bleu de méthylène ont été réalisés sur des échantillons de sols (sable 1, sable2, argile et kaolinite) par l'utilisation des pourcentages 0%,20% et 30% de deux saumures naturels de 26% et 15% de salinité

III.5.1 Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)

L'essai au bleu de méthylène dit à la tache permet la détermination de l'activité et de la quantité de la fraction argileuse d'un échantillon. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement des quantités de solution de "bleu" et en contrôlant l'adsorption au fur et à mesure Une goutte de suspension est prélevée et est déposée sur un filtre. L'essai consiste à déterminer l'adsorption maximale obtenue lorsque la tâche est entourée d'une auréole bleu-clair persistante (Selon la norme NF P94-068)



Figure III- 13 Essai au bleu de méthylène

III.5.2 Préparation des échenillons

Préparation de sable 1

0% de saumure naturelle

Un échantillon de sable (de dune Laghouat) est préparé de telle sorte qu'il contienne de 30 g de la fraction 0/2 mm. Il est séché à 110 °C, refroidi à la température ambiante, puis passé au tamis de 2 mm et toutes les particules retenues au tamis de 2 sont éliminées. L'échantillon résiduel est ensuite pesé (en gramme).

Pour préparer la suspension, il convient de verser 200ml d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché en remuant bien avec la spatule.

20% et 30 % de saumure naturelle (saumures 26% et 15% de salinité)

Un échantillon de sable (de dune Laghouat) est préparé de telle sorte qu'il contienne de 30 g de la fraction 0/2 mm. Il est séché à 110 °C. Puis on ajoute un pourcentage de 20% et 30 % de saumure naturel puis séché à une température de 60 °C.

$$\mathrm{W}f = \frac{Mf}{Ms}$$

Avec :

Wf : La teneur en fluide

Mf : La masse du fluide

Ms : La masse du sol sec

$$Mf = Ms * \mathrm{W}f$$

Pour préparer la suspension, il convient de verser 200ml d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché en remuant bien avec la spatule.



Figure III- 14 Echantillon de sable de dune (20% et 30%)

Préparation de sable 2

0% de saumure naturelle

Un échantillon de sable (de carrière Tamoulga) est préparé de telle sorte qu'il contienne de 30 g de la fraction 0/3 mm. Il est séché à 110 °C, refroidi à la température ambiante, puis passé au tamis de 0.8 mm et toutes les particules retenues au tamis de 0.8 sont éliminés. L'échantillon résiduel est ensuite pesé (en gramme).

Pour préparer la suspension, il convient de verser 200 ml d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché en remuant bien avec la spatule.

20% et 30% de saumure naturelle (saumures 26% et 15%)

Un échantillon de sable (de carrière Tamoulga) est préparé de telle sorte qu'il contienne de 30 g de la fraction 0/3 mm. Il est séché à 110 °C, toutes les particules retenues au tamis de 0.8 sont éliminés. L'échantillon résiduel est ensuite pesé (en grammes). Puis on ajoute un pourcentage de 20% et 30 % de saumure naturel puis séché à une température de 60 °C.

$$Mf = Ms * Wf$$

Pour préparer la suspension, il convient de verser 200ml d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché en remuant bien avec la spatule



Figure III- 15 Echantillon de sable de carrière (20% et 30%)

Préparation de l'argile (Ouzera)

0% de saumure naturelle

Un échantillon de l'argile (Ouzera) est préparé de telle sorte qu'il contienne de 60 g. Il est séché à 110 °C, refroidi à la température ambiante, puis passé au tamis de 5 mm et toutes les particules retenues au tamis de 5 sont éliminées. L'échantillon résiduel est ensuite pesé (en gramme).

Pour préparer la suspension, il convient de verser 500 ml d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché en remuant bien avec la spatule.

20% et 30% de saumure naturelle (saumures 26% et 15% de salinité)

Un échantillon de l'argile (Ouzera) est préparé de telle sorte qu'il contienne de 30 g. Il est séché à 110 °C, toutes les particules retenues au tamis de 5 sont éliminées. L'échantillon résiduel est ensuite pesé (en grammes). Puis on ajoute un pourcentage de 20% et 30 % de saumure naturel puis séché à une température de 60 °C.

$$Mf = Ms * \mathrm{W}f$$

Pour préparer la suspension, il convient de verser 250 ml d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché en remuant bien avec la spatule



Figure III- 16 Echantillon d'argile (20% et 30%)

Préparation de kaolinite

0% de saumure naturelle

Un échantillon de kaolinite est préparé de telle sorte qu'il contienne de 30 g. Il est séché à 110 °C, L'échantillon résiduel est ensuite pesé (en grammes).

Pour préparer la suspension, il convient de verser 500 ml d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché en remuant bien avec la spatule

20% et 30% de saumure naturelle (saumures 26% et 15% de salinité)

Un échantillon de kaolinite est préparé de telle sorte qu'il contienne de 30 g. Il est séché à 110 °C, L'échantillon résiduel est ensuite pesé (en grammes). Puis on ajoute un pourcentage de 20% et 30 % de saumure naturel puis séché à une température de 60 °C.

$$Mf = Ms * \mathrm{W}f$$

Pour préparer la suspension, il convient de verser 500 ml d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché en remuant bien avec la spatule

Exécution de l'essai

Agiter la solution à la vitesse de 700 tr/min pendant 1 min, puis agiter continuellement à 400tr/min pendant la poursuite de l'essai. Après chaque injection de colorant à l'aide de la burette (5ml toutes les minutes), le test à la tache consiste à prélever à l'aide de la tige de verre une goutte de la suspension et de la déposer sur le papier filtre disposé au fond du bécher. La tache qui se forme est composée d'un dépôt central de matériau, en général d'une couleur bleu foncé, entouré d'une zone humide incolore

Le test est considéré comme positif si, dans la zone humide, une auréole bleu clair persistante d'environ 1 mm apparaît autour du dépôt central. Le point final doit être confirmé en répétant le test à la tache toutes les minutes pendant 5 min sans ajoute de solution de colorant.

CHAPITRE IV

Interprétation des résultats

IV.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats et discussion. Les résultats de caractérisation géotechnique ont été discutés, cependant pour certaines caractérisations la discussion de chaque caractéristique est terminée par une classification du sol. Également, dans ce chapitre, les résultats des essais effectués pour étudier l'effet de la salinité sur l'activité des argiles (essai au bleu de méthylène) ont été illustrés et discutés.

Ⅳ.2 Caractérisation géotechnique

IV.2.1 Teneur en eau naturel

La teneur en eau naturel de l'échantillon d'argile est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec.

$$W\%=\frac{Ph-Ps}{Ps}*100$$

P_h : poids du sol humide

P_s : poids du sol sec

$$W\%=\frac{646.7-535}{535}*100$$

W%=20.87%

La teneur en eau naturel de l'échantillon d'argile est : 20.87%

IV.2.2 La masse volumique des grains solides

Des essais de détermination de la masse volumique des grains solides ont été réalisés sur des échantillons d'argile Ouzera et sable de carrière

- Les résultats obtenus indiquent que la masse volumique des grains solides de l'argile est de 2.72 g/m3
- Les résultats obtenus indiquent que la masse volumique des grains solides de sable 2 (sable de carrière) est de 2.70 g/m3

IV.2.3 Analyse granulométrique

Les résultats de cette analyse sont présents sous forme d'une courbe granulométrique portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages des tamisât cumulés en ordonnée, sur une échelle arithmétique.

Sable 1 (de dune Laghouat)

Les résultats sont présentés dans le tableau

Tableau IV- 1 : Analyse granulométrique (sable 1 de dune)

Tamis (mm)	Refus(g)	Refus(%)	Tamisats(%)
4	0	0	100
2	3	0.3	99.7
1	5	0.5	99.5
0.4	23.1	2.31	97.69
0.315	71.8	7.18	92.82
0.2	863	86.3	13.7
0.1	994.7	99.47	0.53
0.08	997.6	99.76	0.24

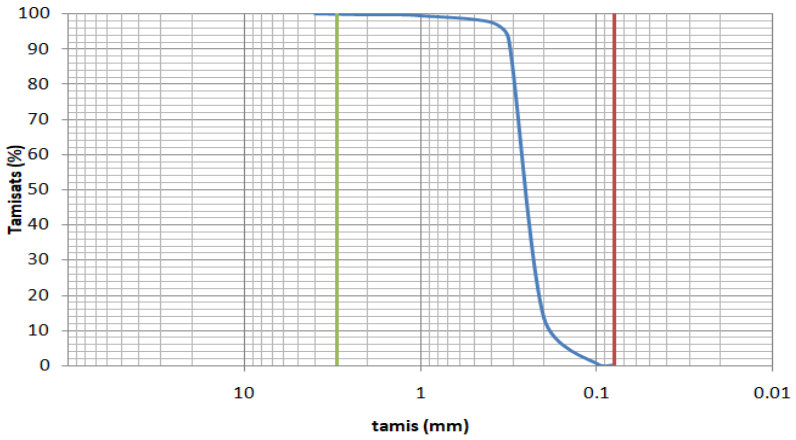


Figure IV- 1 courbe granulométrique sable 1 (sable de dune)

A partir d'analyses granulométriques on peut classifier le matériau comme suit :

- sable de dune : sable

Sable 2 (de carrière Tamoulga)

Les résultats de l'analyse granulométrique ont montrés que le pourcentage des passants au tamis (0.008 mm) est de 15.29 %.

Le poids volumique de grains solides est de 2.72 g/m3

Tableau IV- 2 : Analyse granulométrique (sable 2 de carrière)

	Tamis (mm)	**Refus partielles**	**Refus cumulés**		**Tamisât cumulé**	
ANALYSE GRANULOMETRIQUE	**(mm)**	**(g)**	**(%)**		**(%)**	
	50	0		0.00		100.00
	20	0		0.00		100.00
	10	0		0.00		100.00
	5	0.6	0.06	99.94	0.06	99.94
	2	379.7	37.97	62.03	37.97	62.03
	1	599.2	59.92	40.08	59.92	40.08
	0.4	747	74.70	25.30	74.70	25.30
	0.2	808.5	80.85	19.15	80.85	19.15
	0.1	839.8	83.98	16.02	83.98	16.02
	0.08	847.1	84.71	15.29	84.71	15.29
COMPLEMENT SEDIMENTOMETRIQUE	**Temps (mn)**	**Température (° C)**	**Lecture Rt (g/cm3)**	**% P sur le 80 µm**	**% P sur le 50 mm**	**D (mm)**
	0.5	24	1.022	85.36	13.05	0.066
	1	24	1.021	84.16	12.87	0.047
	2	24	1.020	79.40	12.14	0.034
	5	24	1.019	75.05	11.48	0.021
	10	24	1.017	67.11	10.26	0.015
	20	24	1.014	53.22	8.14	0.011
	40	24	1.010	39.32	6.01	0.008
	80	25	1.007	27.41	4.19	0.006
	240	24	1.005	19.47	2.98	0.004
	1440	24	1.001	3.59	0.55	0.002

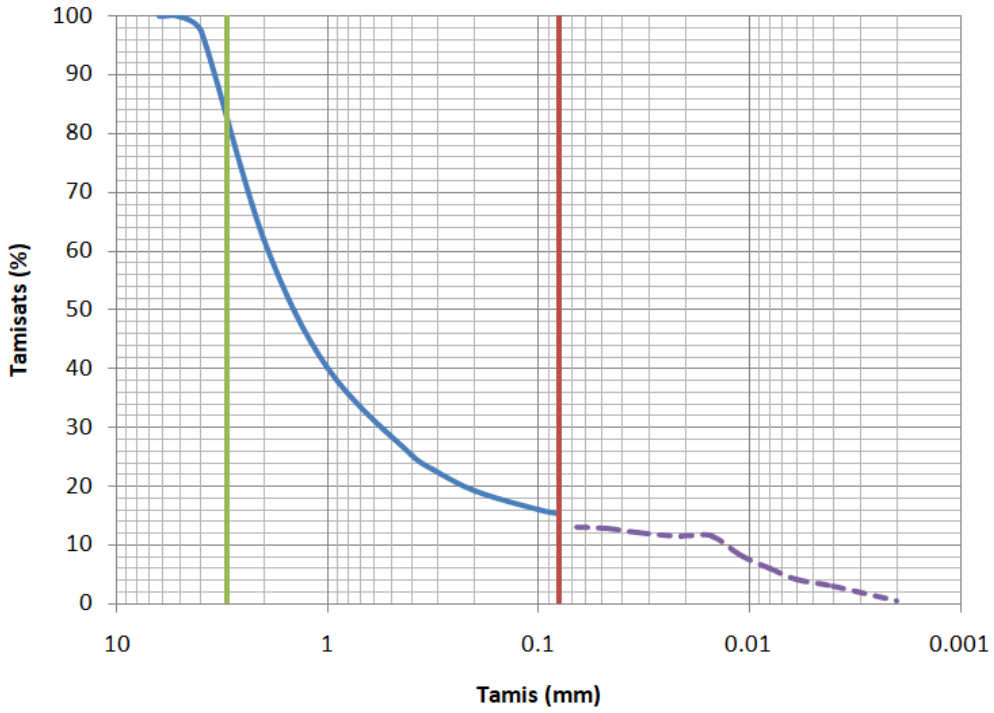


Figure IV- 2 Courbe granulométrique sable 2 (sable de carrière)

Argile (Ouzera)

Les résultats de l'analyse granulométrique ont montrés que le sol présente une composition fine. Le pourcentage des passants au tamis (0.008 mm) est de 100%. Le poids volumique de grains solides est de 2.72 g/m3

Tableau IV- 3 : Analyse granulométrique (Argile)

	Temps	Température	Lecture	% P sur	D
	(mn)	(° C)	Rt (g/cm3)	le 80 µm	(mm)
COMPLEMENT SEDIMENTOMETRIQUE	0.5	23.5	1.0235	91.31	**0.066**
	1	23.5	1.0235	91.31	**0.047**
	2	23.5	1.0235	91.31	**0.034**
	5	23.5	1.0235	90.93	**0.021**
	10	23	1.0235	90.93	**0.015**
	20	23	1.0235	90.93	**0.011**
	40	23	1.0225	86.96	**0.008**
	80	22.5	1.021	82.99	**0.006**
	240	23	1.018	71.08	**0.004**
	1440	21.5	1.0125	47.26	**0.002**

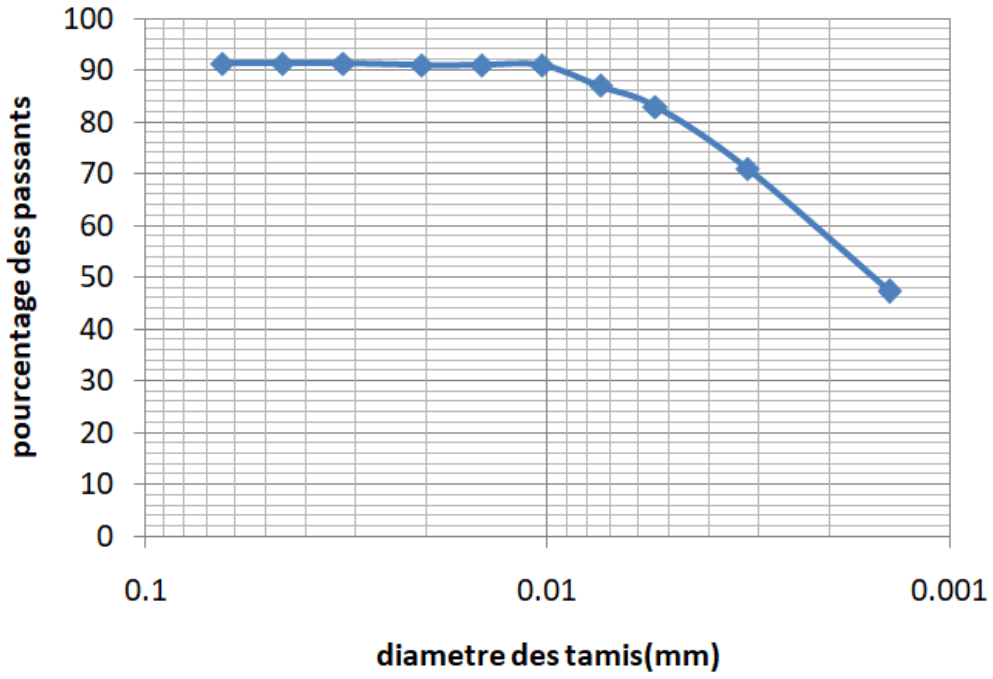


Figure IV- 3 Courbe granulométrique Argile (Ouzera)

IV.2.4 Limites d'Atterberg

❖ **Limite de liquidité (WL)**

Les résultats de cette essai sont présente sous forme de courbe (W%=f(Nc))

- Poids de l'eau = poids humide – poids sec
- Poids de sol sec = poids totale sec – poids de la tare
- Teneur en eau = (poids de l'eau / poids sec)*100

W_L= (poids de l'eau / poids sec)*100%

WL moy = 60.50 %

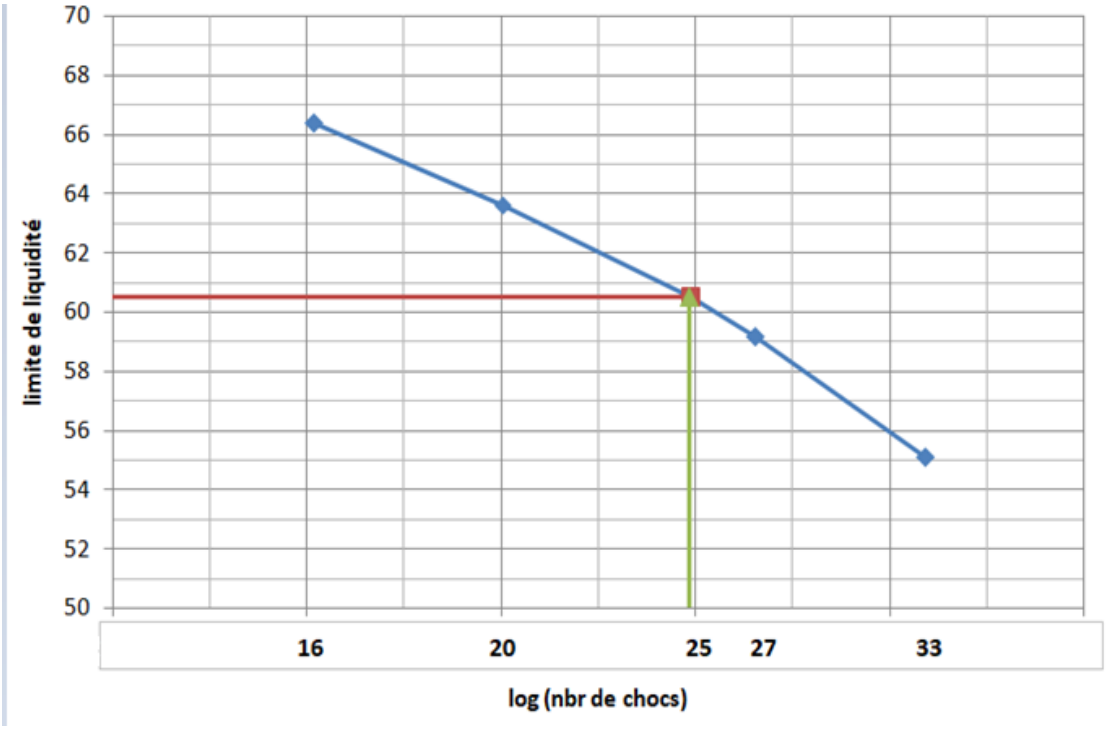


Figure IV- 4 courbe de limite de liquidité

❖ Limite de plasticité (WP)

Les résultats sont présentés dans le tableau

Tableau IV- 4 : Résultats limites de plasticité (Argile)

numéro de la tare	9	10	11
poids totale humide	7.1	7.024	6.38
poids totale sec	6.57	6.5	5.9
poids de la tare	3.872	3.92	3.516
poids de l'eau	0.53	0.52	0.48
poids du sol sec	2.698	2.58	2.384
teneur en eau	19.64	20.31	20.13

Wp= (poids de l'eau / poids sec)*100%

Wp= 20.03%

❖ **L'indice de plasticité :**

$$Ip = WL - Wp$$

$$Ip = 40.47\%$$

Les résultats des essais des limites d'Atterberg, ont montré que ce matériau est classé dans la catégorie des argiles. Avec un indice de plasticité Ip = 40.47% et limite de liquidité WL= 60.50%, ce sol est classé selon le diagramme de Casagrande dans la famille des argiles très plastiques.

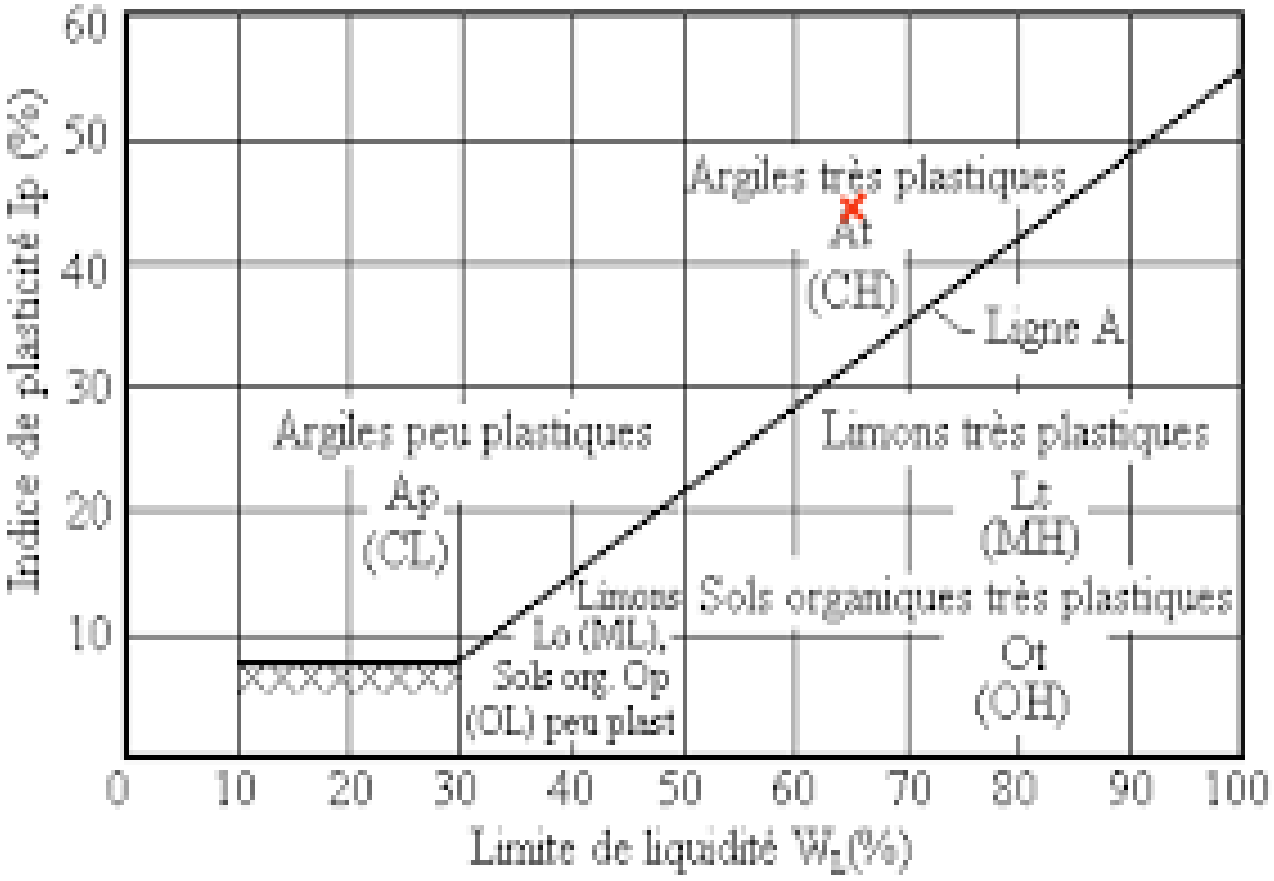


Figure IV- 5 Position du sol testé dans l'abaque de Casagrande

IV.2.5 Equivalent de sable

Sable 1 (de dune Laghouat)

ES = ($\frac{h2}{h1}$)* 100

Les résultats sont présentés dans le tableau

Tableau IV- 5 : Equivalent de sable (sable1 de dune)

Tube (N)	Hauteur totale	Hauteur H1 (sable visible)	Hauteur de sable H2 (piston)	ES=(H2/H1)*100 (%)
1	43	10.1	7.8	77.22
2	43	10.7	8.1	75.7
			Moyenne (%)	76.46

65% ≤ ES ≤ 80% Donc ce type de sable est un sable propre à faible pourcentage de fines argileux

Sable 2 (de carrière Tamoulga)

ES = ($\frac{h2}{h1}$)* 100

Les résultats sont présentés dans le tableau

Tableau IV- 6 : Equivalent de sable (sable2 Tamoulga)

Tube (N)	Hauteur totale	Hauteur H1 (sable visible)	Hauteur de sable H2 (piston)	ES=(H2/H1)*100 (%)
1	43	12	8	66.66
2	43	12.5	8.4	67.2
			Moyenne (%)	66.93

60 % ≤ ES < 70% Dons ce type de sable est un sable légèrement argileux

IV.3 Étude de l'effet du sel sur l'essai au bleu de méthylène

Les résultats des essais au bleu de méthylène réalisés sur des échantillons de sols (sable 1, sable2, argile et kaolinite) par l'utilisation des pourcentages 0%,20% et 30% de deux saumures naturels de 26% et 15% de salinité, sont présentés ci-dessous

IV.3.1 Essai au bleu de méthylène

Sable 1 (sable de dune Laghouat)

les résultats des essais au bleu de méthylène réalisés sur le sable de dune avec l'utilisation des pourcentages 0%,20% et 30% des saumures naturels de 26% et 15% de salinité sont présentés ci-dessous

0 % de saumure (témoin)

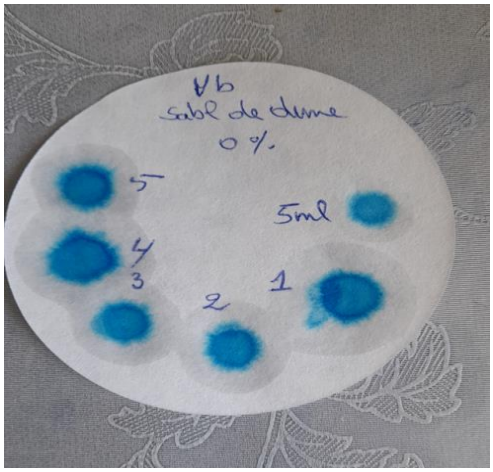


Figure IV- 6 résultat essai au bleu 0% de saumure (sable1 Laghouat)

La valeur au bleu de méthylène pour 0% de saumure :

$$\textbf{Vb (0\%de saumure)} = \frac{V1}{M1}$$

Avec :

V1 : le volume total de solution de colorant injectée, en millilitres

M1 : la masse d'échantillon en grammes

$$Vb=\frac{5}{30}=0.16$$

Vb=0.16

20% de saumure (saumure 26% de salinité)

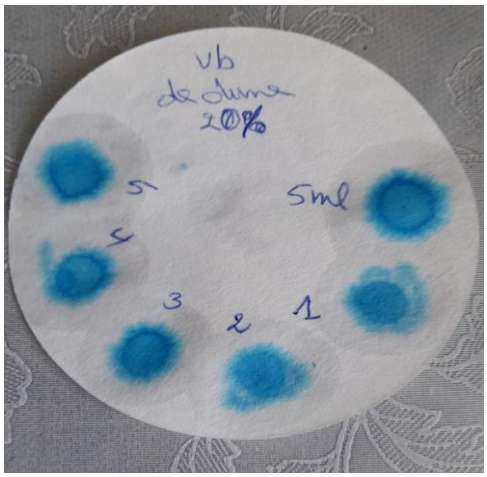


Figure IV- 7 résultat essai au bleu (20%) de saumure de 26% de Salinité (sable1 Laghouat)

La valeur de bleu de méthylène pour 20% de saumure 26% :

$$\textbf{Vb (20\% de saumure)} = \frac{V1}{M1}$$

$$Vb = \frac{5}{30} = 0.16$$

Vb 20% =0.16

30% de saumure (saumure 26% de salinité)

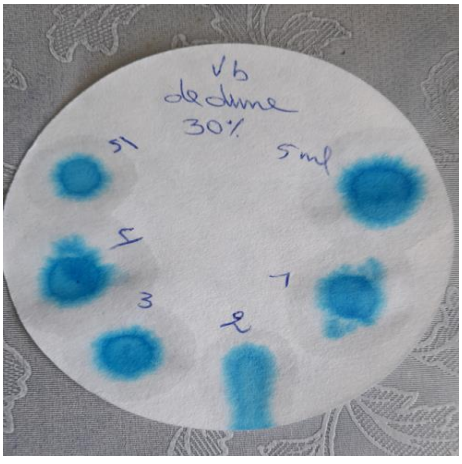


Figure IV- 8 résultat essai au bleu (30%) de saumure de 26% de salinité (sable1 Laghouat)

La valeur de bleu de méthylène pour 30% de saumure (saumure 26% de salinité) :

$$\textbf{Vb (30\%de saumure)} = \frac{V1}{M1}$$

$$Vb=\frac{5}{30}=0.16$$

Vb 30% =0.16

20% de saumure (saumure 15%de salinité)

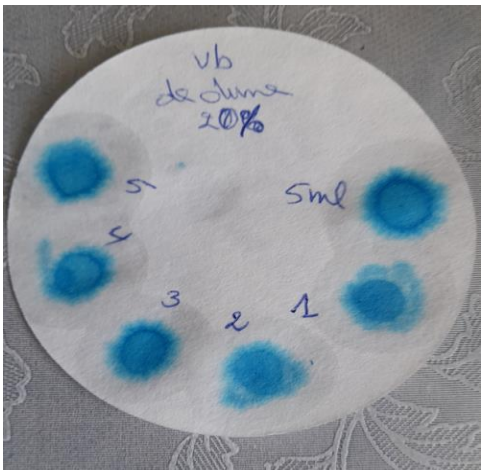


Figure IV- 9 résultat essai au bleu (20%) de saumure de 15% salinité (sable 1 Laghouat)

La valeur de bleu de méthylène pour 20% de saumure (saumure de 15% de salinité) :

$$\textbf{Vb (20\% de saumure)} =\frac{V1}{M1}$$

$$Vb=\frac{5}{30}=0.16$$

Vb 30% =0.16

30% de saumure (15%)



Figure IV- 10 résultat essai au bleu (30%) de saumure de 15% de salinité (sable 1 Laghouat)

La valeur de bleu de méthylène pour 30% de saumure (saumure de 15% de salinité) :

$$\textbf{Vb 30\%} = \frac{V1}{M1}$$

$$Vb = \frac{5}{30} = 0.16$$

Vb 30% =0.16

Sable 2 (sable de carrière Tamoulga)

résultats des essais au bleu de méthylène réalisés sur le sable de carrière avec l'utilisation des pourcentages 0%,20% et 30% des saumures naturels de 26% et 15% de salinité sont présentés ci-dessous

0 % de saumure (témoin)

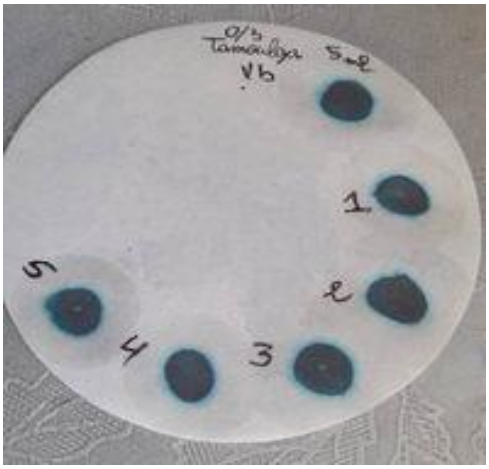


Figure IV- 11 résultat essai au bleu 0% (sable 2 Tamoulga)

La valeur de bleu de méthylène pour 0% de saumure :

$$\textbf{Vb 0\%} = \frac{V1}{M1}$$

$$Vb = \frac{5}{30} = 0.16$$

Vb=0.16

20% de saumure (saumure 26% de salinité)

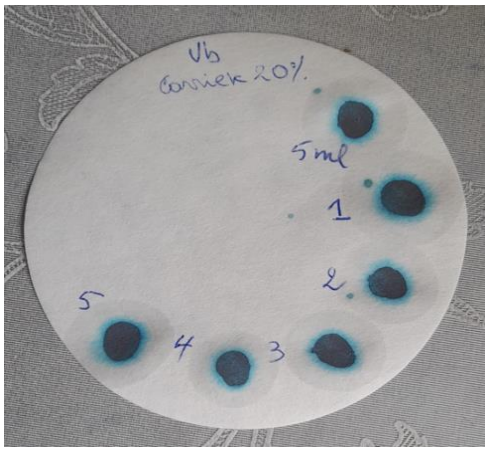


Figure IV- 12 résultat essai au bleu (20%) de saumure de 26% de salinité (sable 2 Tamoulga)

La valeur de bleu de méthylène pour 20% de saumure (saumure 26% de salinité) :

$$\textbf{Vb 20\%} = \frac{V1}{M1}$$

$$Vb = \frac{5}{30} = 0.16$$

Vb 20%=0.16

30% de saumure (saumure 26% de salinité)

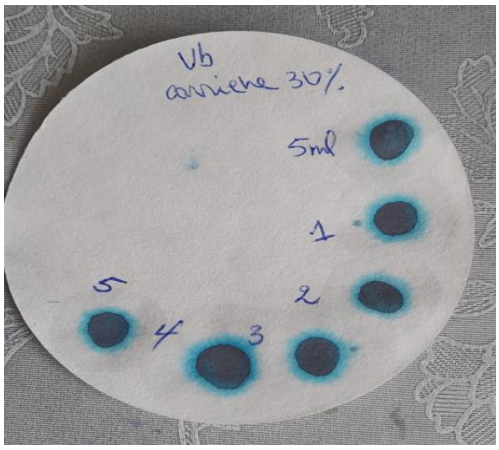


Figure IV- 13 résultat essai au bleu (30%) de saumure de 26% salinité (sable 2 Tamoulga)

La valeur de bleu de méthylène pour 30% de saumure (saumure de 26% de salinité) :

$$\textbf{Vb 30\%} = \frac{V1}{M1}$$

$$Vb = \frac{5}{30} = 0.16$$

Vb 30%=0.16

20% de saumure (saumure 15% de salinité)

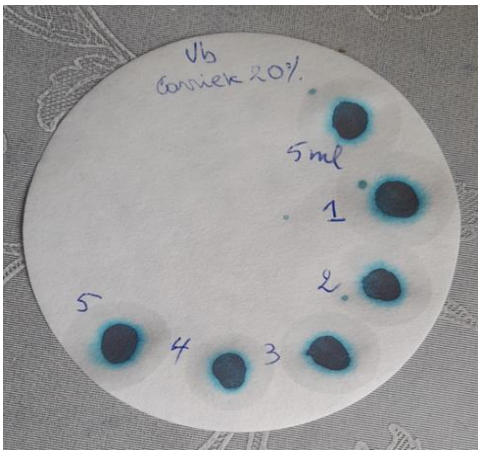


Figure IV- 14 résultat essai au bleu (20%) de saumure 15% (sable 2 Tamoulga)

La valeur de bleu de méthylène pour 20% de saumure 15% :

$$\textbf{Vb 20\%} = \frac{V1}{M1} = \frac{5}{30} = 0.16$$

Vb 20%=0.16

30% de saumure (saumure 15% de salinité)

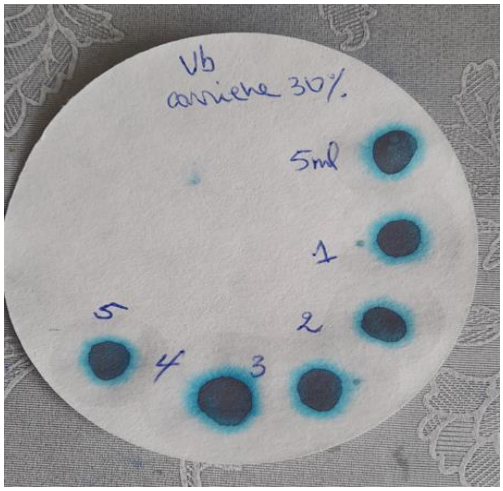


Figure IV- 15 résultat essai au bleu (30%) de saumure 15% (sable 2 Tamoulga)

Les résultats des essais réalisés sur les deux sables (sable1 et sables2) sont présentés dans le Tableau IV- 7:

Tableau IV- 8 : Essai au bleu de méthylène des sables avec des teneurs en fluides (saumures 26% et 15%)

	Salinité (%)	
Teneur en fluide (%)	**26%**	**15%**
0%	0.16	0.16
20%	0.16	0.16
30%	0.16	0.16

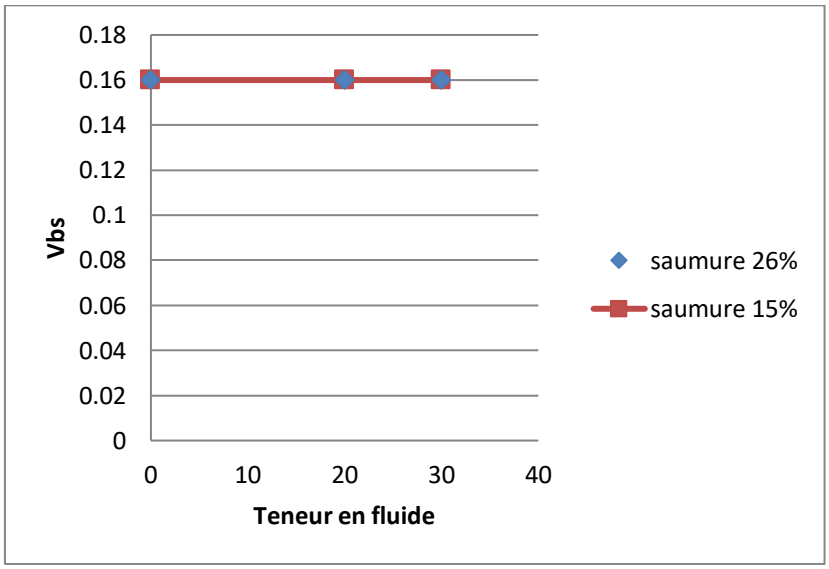


Figure IV- 16 Représentation de Valeur au bleu de méthylène en fonction de salinité des sables (saumure 26% et 15%)

Pour illustrer l'effet de salinité sur l'activité des argiles deux types de sables ont été utilisés pour l'essai au bleu de méthylène avec pourcentages de saumure naturelle (26% et 15%),

La Figure IV- 16 montre la variation de la valeur au bleu de méthylène en fonction de teneur en fluide de saumure naturelle, nous constatons que La valeur au bleu de méthylène est constante (absence des fines), ce qui indique qu'on a aucune réaction chimique entre bleu de méthylène et sels.

Argile (Ouzera)

Les résultats des essais au bleu de méthylène réalisés sur l'échantillon d'argile avec l'utilisation des pourcentages 0%,20% et 30% des saumures naturels de 26% et 15% de salinité sont présentés ci-dessous

0% de saumure (témoin)

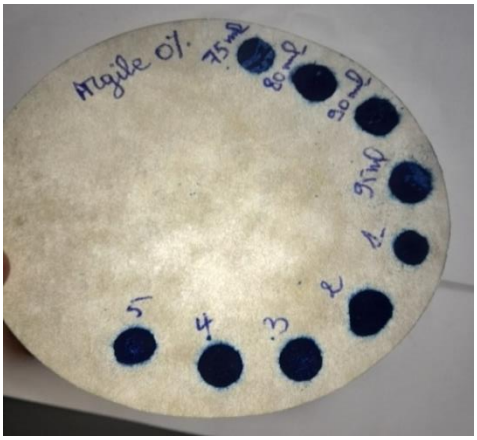


Figure IV- 17 résultat essai au bleu 0% de salinité (Argile)

La valeur de bleu de méthylène pour 0% de saumure :

$$\mathbf{VBs}=\frac{B*0.01}{mo}*C*100$$

Avec:

B : Le volume de bleu injectée

mo : La masse séche de la prise d'essai

C : Proportion de 0/5 mm (soumis a l'essai) dans la fraction 0/50 mm du matériau sec.

$$VBs=\frac{95/100}{30}*1*100=3.16$$

$$\mathbf{VBs}=3.16$$

20% de saumure (saumure 26% de salinité)

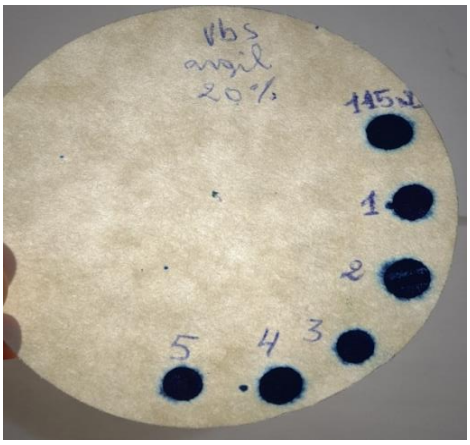


Figure IV- 18 résultat essai au bleu (20%) de saumure 26% (Argile)

La valeur de bleu de méthylène pour 20% de saumure 26% de salinité :

$$\mathbf{VBs}=\frac{B*0.01}{mo}*C*100$$

$$VBs=\frac{115/100}{30}*1*100=3.83$$

$$\mathbf{VBs}=3.83$$

30% de saumure (saumure 26% de salinité)



Figure IV- 19 résultat essai au bleu (30%) de saumure 26% (Argile)

La valeur de bleu de méthylène pour 30% de saumure 26% de salinité :

$$\mathbf{VBs}=\frac{B*0.01}{mo}*C*100$$

$$\mathbf{VBs}=\frac{130/100}{30}*1*100=4.33$$

$$\mathbf{VBs}=4.33$$

20% de saumure (saumure 15% de salinité)

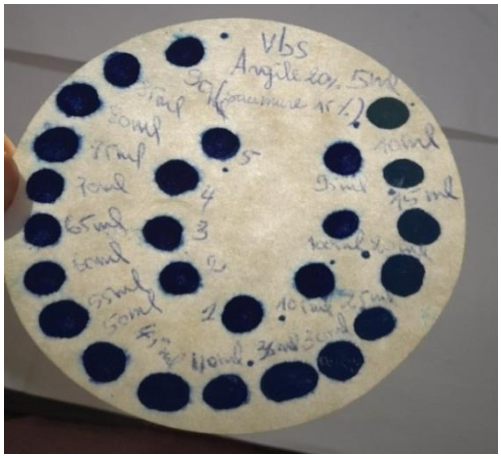


Figure IV- 20 résultat essai au bleu (20%) de saumure 15% (Argile)

La valeur de bleu de méthylène pour 20% de saumure 15% de salinité:

$$\mathbf{VBs}=\frac{B}{mo}*C*100$$

$$\mathbf{VBs}=\frac{105/100}{30}*1*100=3.5$$

$$\mathbf{VBs}=3.5$$

30% de saumure (saumure 15%de salinité)



Figure IV- 21 résultat essai au bleu (30%) de saumure 15% (Argile)

La valeur de bleu de méthylène pour 30% de saumure 15% de salinité:

$$\mathbf{VBs}=\frac{B}{mo}*C*100$$

$$\mathbf{VBs}=\frac{110/100}{30}*1*100=3.66$$

$$\mathbf{VBs}=3.66$$

Les résultats des essais réalisés sur l'argile sont présentés dans le Tableau IV- 9 :

Tableau IV- 10 : Essai au bleu de méthylène Argile avec des teneurs en fluides (saumures 26% et 15%)

	Salinité (%)	
Teneur en fluide (%)	**26%**	**15%**
0%	3.16	3.16
20%	3.83	3.5
30%	4.33	3.66

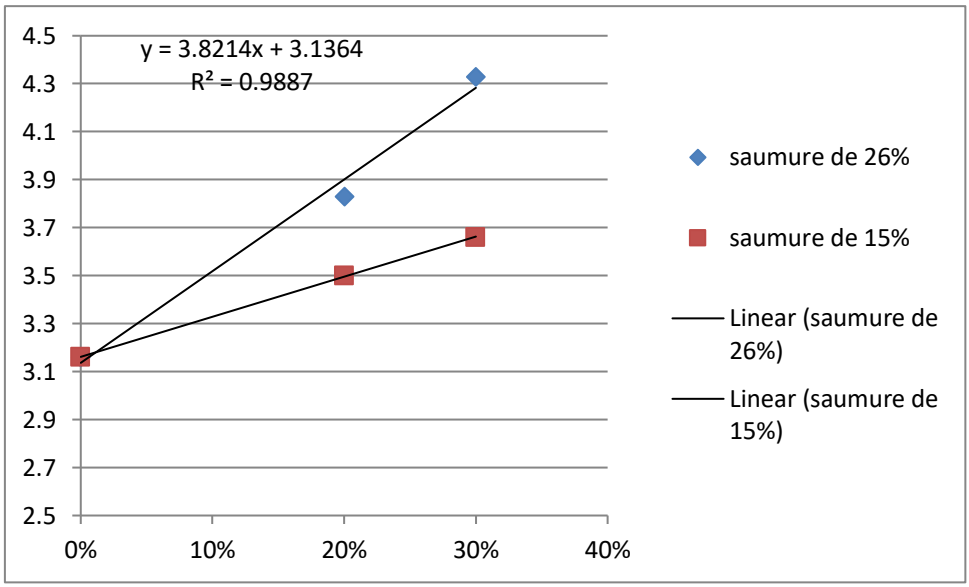


Figure IV- 22 Représentation de Valeur au bleu de méthylène en fonction de salinité d'Argile (saumure 26% et 15%)

Pour illustrer l'effet de salinité sur l'activité des argiles, un échantillon d'argile a été utilisé pour l'essai au bleu de méthylène avec pourcentages de saumure naturelle (26% et 15%),

La **Figure IV - 22** montre la variation de la valeur au bleu de méthylène en fonction des teneurs en fluides des saumures naturelles, nous constatons que La valeur au bleu de méthylène est proportionnelle avec la teneur en fluide et la salinité ce qui indique qu'on a une réaction chimique entre le bleu de méthylène et sels.

La valeur au bleu de méthylène augmente en fonction de salinité

La Kaolinite

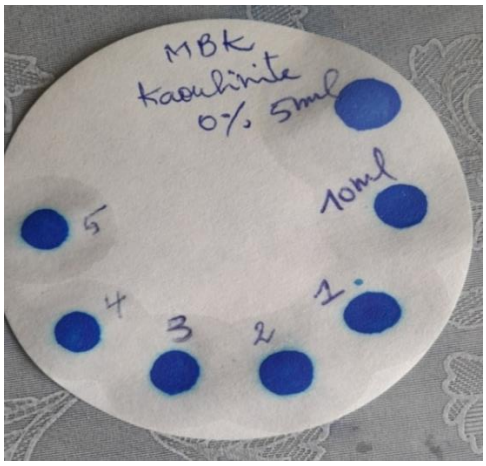


Figure IV- 23 résultat essai au bleu 0% de salinité (Kaolinite)

La valeur de bleu de méthylène, VB, est obtenue à l'aide de l'équation suivante :

$$\mathbf{MBK}=\frac{v}{M}$$

V : le volume total de solution de colorant injectée, en millilitres

M : la masse d'échantillon en grammes

$$\text{MBK} =\frac{10}{30}$$

$$\mathbf{MBK}=0.33$$

20% de saumure (saumure 26% de salinité)

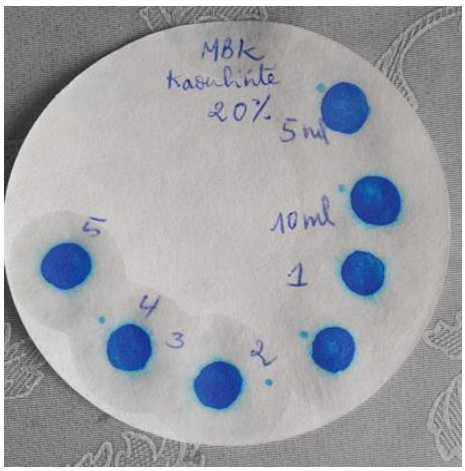


Figure IV- 24 résultat essai au bleu (20%) de saumure 26% (Kaolinite)

La valeur de bleu de méthylène pour 20% de saumure de 15% de salinité:

$$\mathbf{MBK}=\frac{v}{M}$$

$$\text{MBK}=\frac{10}{30}$$

$$\mathbf{MBK}=0.33$$

30% de saumure (saumure 26% de salinité)

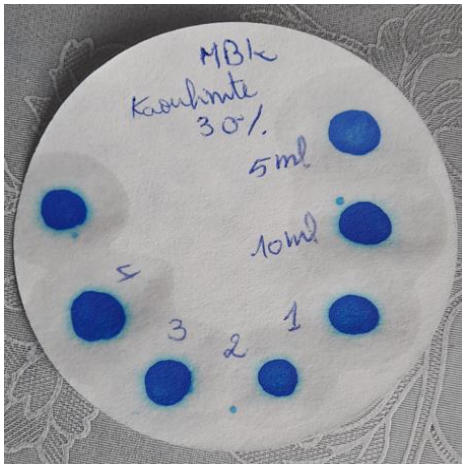


Figure IV- 25 résultat essai au bleu (30%) de saumure 26% (Kaolinite)

La valeur de bleu de méthylène pour 30% de saumure de 26% de salinité :

$$\mathbf{MBK}=\frac{v}{30}$$

$$\text{MBK}=\frac{10}{30}$$

$$\mathbf{MBK}=0.33$$

20% et 30% de saumure (15%)

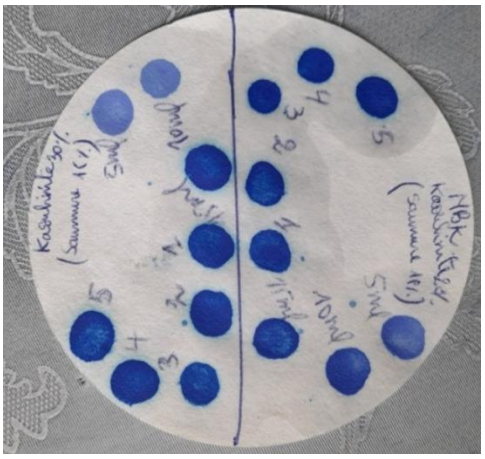


Figure IV- 26 résultat essai au bleu (20% et 30%) de saumure 15% (Kaolinite)

La valeur de bleu de méthylène pour 20 % et 30% de saumure de 15% de salinité:

$$\mathbf{MBK}=\frac{v}{30}$$

$$\mathrm{MBK}=\frac{15}{30}$$

MBK (20%)=0.5

MBK (30%)=0.5

Les résultats des essais réalisés sur la kaolinite sont présentés dans le Tableau IV- 11

Tableau IV- 12 : Essai au bleu de méthylène de kaolinite avec des teneurs en fluides (saumures 26% et 15%)

	Salinité (%)	
Teneur en fluide (%)	26%	15%
0%	**0.33**	0.33
20%	**0.33**	0.5
30%	**0.33**	0.5

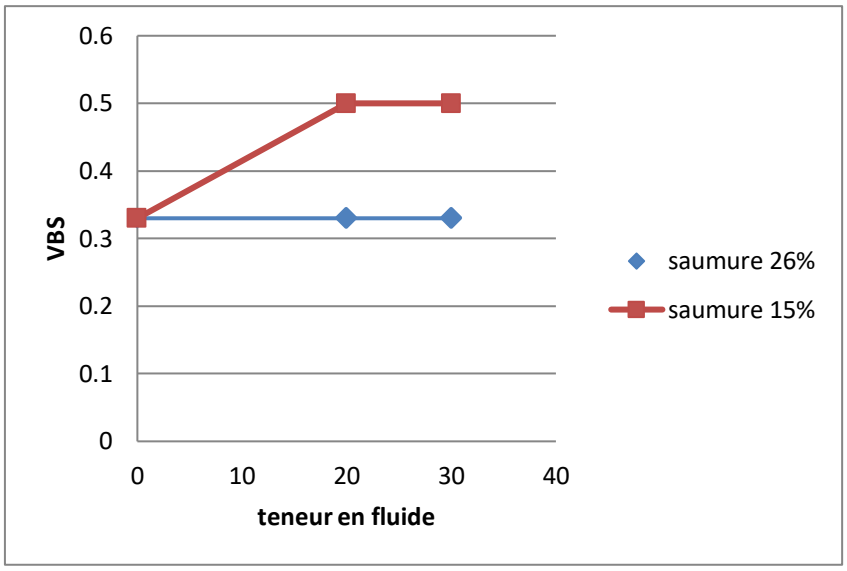


Figure IV- 27 Représentation de Valeur au bleu de méthylène en fonction de salinité d'Argile (saumure 26% et 15%)

Pour illustrer l'effet de salinité sur l'activité des argiles, un échantillon de kaolinite a été utilisé pour l'essai au bleu de méthylène avec pourcentages de saumure naturelle (26% et 15%),

La **Figure IV- 28** montre la variation de la valeur au bleu de méthylène en fonction de teneur en fluide de saumure naturelle et en fonction de salinité, nous constatons que :

- La valeur au bleu de méthylène est constante en fonction de teneur en fluide dans le cas de saumure naturelle de 26% de salinité
- La valeur au bleu de méthylène au départ augmente en fonction de teneur en fluide. Puis, elle se stabilise au-delà de 20 % de teneur en fluide dans le cas d'utilisation de la saumure de 15 % de salinité.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail de recherche est entrepris dans le but de déterminer l'effet de salinité sur l'essai au bleu de méthylène.

L'étude bibliographique nous a permis d'identifier les facteurs qui ont une influence sur la formation des sols salés, notamment l'aridité et la salinisation des sols. Puis, on a parlé de quelques études réalisées qui concernent les caractéristiques physiques et mécaniques des sols salés, notamment l'analyse granulométrique, la teneur en eau et les limites d'Atterberg, le compactage et la compressibilité.

L'étude du comportement des sols salés demeure un phénomène complexe pour les géotechniciens. À travers cette étude expérimentale, on a pu apporter des informations concernant l'effet de salinité sur l'essai au bleu de méthylène (activité des argiles) en utilisant la saumure naturelle prélevée de chott El Hodna sur quatre types des sols (deux sables et deux argiles). Des conclusions ont été tirées comme suit :

- L'étude réalisée sur les sables montre que la valeur au bleu de méthylène reste constante en fonction d'augmentation de salinité. Donc on n'a aucune réaction chimique entre le bleu de méthylène et le sol salé, et cela à cause d'absence des argiles.
- Les études réalisées sur l'échantillon d'argiles montrent que La valeur au bleu de méthylène est proportionnelle avec la teneur en fluide et la salinité, elle augmente en fonction de salinité, ce qui indique qu'on a une réaction chimique entre le bleu de méthylène et sels.
- Donc la valeur au bleu de méthylène des sols argileux est influencée par la présence des sels, lorsque la salinité augmente la valeur au bleu de méthylène augment

Références bibliographiques

Abduljauwad, S.N., Al-Amoudi, O.S.B., 1995. Geotechnical behaviour of saline sabkha soils. Géotechnique, 45, 425-445.

Abuelgasim, A., Ammad, R., 2019. Mapping soil salinity in arid and semi-arid regions using Landsat 8 OLI satellite data. Remote Sens. Appl. Soc. Environ. 13, 415–425.

Ajalloeian R., Mansouri H., Sadeghpour A.H. (2013) Effect of saline water on geotechnical properties of fine-grained soil. Electron J Geotech Eng 18:1419–1435.

Akili W., Torrance J.K. The Development and Geotechnical Problems of Sabkha, with preliminary experiments on the static penetration resistance of cemented sands. Quarterly Journal of Engineering Geology 1981;14(1):59-73

Al-Amoudi O.S.B., Abduljauwad S.N. Laboratory and field leaching tests on coastal saltbearing soils. Journal of Geotechnical Engineering ASCE 1994;120(10):1900-1902.

AL-Amoudi O.S.B., Sahel N.A. (1994) Modified oedometer for arid saline soils. Journal of Geotechnical Engineering – ASCE 120: 1892-1897.

Al-Amoudi, O.S.B., 2008. Testing and stabilization of saline sabkha soils: a review, Sixth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, paper.

Aubert G., (1960) Les sols de la zone aride. UNESCO/NS/AZ/514 Colloque général sur les problèmes de la zone aride, communication n°5, Paris.

Boualla N., Benzeiane A., Derrich Z. (2012) Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'leta, Oran Algérie. Journal of Applied Biosciences 53: 3787 – 3796.

Chebuy B., (1991). Les sols salés et leur réhabilitation. p. 35.

Daoud Y. 1993- Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux, Thèse Doctorat d'Eta. INA Alger, 233p.

Demnati F., Biodiversité et Enjeux Socio-économiques des lacs salés (Chotts et Sebkhas) d'Algérie : Cas du Chott Merouane et Melghir. Thèse de doctorat en sciences Agronomiques. Université MOHAMED KHIDER, BISKRA(2013).

Duchaufour P, 1977-Pédologie. Pédogenèse et classification. Tome 1, Ed. Masson, Paris, 477p.

Durand J.H 1983-les sols irrigables. Étude pédologique. ED. Imprimerie Boudin, Paris 339p

F.A.O, 2008. Annuaire statistique de la FAO.

Frydman S., Charrach J., Goretsky I. (2008) Geotechnical properties of evaporite soils of the Dead Sea area. Eng Geol 101:236–244.

Hafouf Ilyas, Étude de l'endommagement des sols salés soumis à des sollicitations d'humidification Séchage (température- humidité). Thèse doctorat en géotechnique Université Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd (2022)

Hullin M, 1983- Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. Cours polycopié, Vol. 3, INA, Algérie,

IRD, 2008. Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles.21p.

Johnson H., Kamal M.R., Pierson G.D. Ramsay J.B. Sabkhas of eastern Saudi Arabia. in: AlSayani, S.S. and Zotl, J.G. (Ed.), Quaternary Period in Saudi Arabia, Springer-Verlag, Austria, 1978;84-93.

Kemker Ch., (2014) Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids. Fundamentals of Environmental Measurements. Fondriest Environmental, Inc. 3 Mar 2014.

Maliva R, Missmer T. (2012) Arid lands water evaluation and Management. Environmental Science and Engineering. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg

Mansour Z.M., Taha M.R., Chik Z. (2008) Fresh-brine water effect on the basic engineering properties of Lisan Marl-Dead Sea-Jordan. J Appl Sci 8:3603–3611.

MARC, L. Le contrôle de la salinité dans les rizières. Mémento Technique de Riziculture, 2001,

Messad A., L'effet de la salinité de l'eau sur les caractéristiques géotechniques du sol de Chott El Hodna. Thèse doctorat en géotechnique Université Houari Boumediene (2015).

Noorany I. (1984) Phase relations in marine soils. J Geotech Eng ASCE 110(4):539–543.

Normes

NF P 94-056 : Sols : reconnaissances et essais - **Analyse granulométrique** d'un sol par **tamisage**. Mars 1996.

NF P 94-057 : Sols : reconnaissances et essais - **Analyse granulométrique** d'un sol par **Sédiment métrique** Mai 1992.

NF P 18-598 : Sols : reconnaissances et essais - **Equivalent de sable** Octobre 1991.

NF P 94-051 : Sols : reconnaissances et essais **- Limite d'Atterberg**. Mars 1993.

NF P 94-068 : Sols reconnaissance et essais **- Détermination de la valeur de bleu de méthylène.**

NF P 94-054 : Sols : reconnaissances et essais - **Masse volumique** Octobre 1991

NF P 94-068 : Sols : reconnaissances et essais **essai au bleu de méthylène**