

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université de Blida1**



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de biotechnologie

Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention

Du diplôme de Master

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Science Agronomique

**Spécialité :** Eau et environnement

**Thème**

**Contribution à l'étude des sols salés de la région de Bousaâda**

Présenté par

**HAMMADI Houssam**

Devant le Jury composé de :

Président : Mm. **YAHIA N.**

MCB Blida 1

Promoteur : Mr. **HADJMILOUD S.**

MAA Blida 1

Examineurs : Mr. **BOUTAHRAOUI S.**

MCB Blida 1

Année Universitaire : **2016 /2017**

## **DEDICACES**

*Je dédie ce travail*

*A mes parents, les deux personnes qui n'ont jamais cessé de sacrifier  
rien que pour mon devenir.*

*A tous mes oncles : Ismail, Hacem, et Madjid*

*A mes tantes : Wenassa. Keltoum*

*A tous mes cousins et mes cousines.*

*A tous mes amis et toute la promotion eau et environnement 2017*

*A toute personne que j'aime, et qui m'aime.....*

# *Remerciements*

*Avant tous, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance à monsieur HADJ MILOUD. S. pour m'avoir proposé se thème et pour son encadrement.*

*Je dois une mention particulière à monsieur HADJ MILOUD. S. Promoteur pour son efficacité du point de vue méthodologie au niveau du thème.*

*Je remercie toute l'équipe technique de l'office national de météorologie.*

*Je remercie Mme. YAHIA NABILA pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous les membres de jury, composé de Mr. BOUTAHRAOUI. S, et Mr. HADJ MILOUD. S.*

*A tous le corps enseignants de l'Université SAAD DAHLEB de Blida, particulièrement aux enseignants de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et de Biotechnologie.*

## SOMMAIRE

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction générale.....</b>                             | <b>1</b>  |
| <b>CHAPITRE I. synthèse bibliographique.....</b>              | <b>3</b>  |
| Introduction.....   | 4         |
| 1. La salinisation.....                                       | 4         |
| 1.1. Définition.....  | 4         |
| 1.2. Origine de la salinisation.....                          | 4         |
| 1.3. Les propriétés des sols salés.....                       | 7         |
| 1.4. Causes de la salinisation des sols.....                  | 8         |
| 1. 5. Dynamique des sels.....                                 | 9         |
| 1. 6. Répartition des sols salés.....                         | 11        |
| 1. 7. Les différents types des sols salés dans l'Algérie..... | 14        |
| 1. 8. Méthode d'évaluation de la salinité des sols.....       | 15        |
| 2. Echelle de la salinité.....                                | 18        |
| 2. 1. Effet de la salinité sur le sol.....                    | 19        |
| 2. 2. Effet de la salinité sur les végétaux.....              | 20        |
| Conclusion.....   | 21        |
| <b>Chapitre II. Matériel et Méthode.....</b>                  | <b>22</b> |
| Introduction.....   | 23        |

|   |           |
|---|-----------|
| 1. Présentation de la région d'étude.....   | 23        |
| 1. 2. Géomorphologie.....   | 24        |
| 1.3. Climat.....  | 24        |
| 1. 4. Classification des sols.....  | 29        |
| 1. 5. Hydrologie.....   | 32        |
| 2. Méthodologie.....  | 32        |
| 2.1. Analyses du sol.....   | 33        |
| 2. 2. Analyses de la solution du sol.....   | 33        |
| Conclusion.....   | 34        |
| <b>Chapitre III. Résultats et discussion.....</b>                                   | <b>35</b> |
| Introduction.....   | 36        |
| 1. Analyse des constitutions du sol.....  | 36        |
| 1. 1. Analyse des constitutions du sol du sondage 1.....                            | 36        |
| 1. 2. Analyse des constitutions du sol du sondage 2.....                            | 37        |
| 1. 3. Analyse des constitutions du sol du sondage 3.....                            | 38        |
| 2. Analyse de la solution du sol.....   | 40        |
| 2. 1. Analyse de la solution du sol du sondage 1.....                               | 40        |
| 2. 2. Analyse de la solution du sol du sondage 2.....                               | 43        |
| 2. 3. Analyse de la solution du sol du sondage 3.....                               | 45        |
| 3. Le faciès chimique.....  | 48        |
| 4. Relation entre la salinité et la composition chimique de la solution du sol..... | 50        |
| 5. Discussion générale.....   | 52        |
| <b>Conclusion générale.....</b>   | <b>54</b> |

## **Contribution à l'étude des sols salés de la région de Bousaada**

### **Résumé**

L'objectif de cette étude est de réaliser une analyse des données de l'état de salinité des sols salés de la Hodna situé dans la région de Boussaâda et d'expliquer le fonctionnement salin de ces sols. Il s'agit donc de caractériser la solution des sols, de définir les profils de distribution des sels dans les sols et de déterminer les faciès chimiques des solutions des sols. Les données utilisées ont été extraites d'une base de données pédologique. Les analyses ont montré que les sols du sondage 2 et 3 sont plus salés par rapport au sol du sondage 1. Les faciès chimiques sont de type : hyper chlorurée calcique et l'hyper sulfatée calcique. Cette étude a montré que la position topographique de la région jouerait un rôle déterminant dans le fonctionnement salin de ces sols.

**Mots clés :** salinité, sols salés, fonction salin, faciès chimiques, pédologique, topographique.

## مساهمة في دراسة التربة المالحة في منطقة بوسعادة

### الملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحليل المعطيات عن حالة الملوحة للتربة المالحة في شط الحضنة الواقعة بمنطقة بوسعادة وشرح الوظيفة المالحة لهذه التربة. ومن ثم فإن الأمر يتعلق بتوصيف محلول التربة، وتحديد ملامح توزيع الأملاح في التربة وتحديد السمات الكيميائية لمحاليل التربة. تم استخدام المعطيات المستخرجة من قاعدة معطيات التربة. وأظهرت التحاليل أن التربة في الحفرة 2 و 3 كانت أكثر ملوحة من التربة في الحفرة 1. أما الوجوه الكيميائية فهي من النوع : الكالسيوم المفرط الكلور والكالسيوم المفرط الكبريت. وأظهرت هذه الدراسة أن الوضع الطبوغرافي للمنطقة سيؤدي دورا حاسما في توزيع الملوحة لهذه التربة.

**الكلمات الأساسية :** الملوحة, الوظيفة المالحة, السمات الكيميائية, الوضع الطبوغرافي.

## **Contribution to the study of saline soils of the region Bousaâda**

### **Summary**

The objective of this study is to analyze the data of the salinity status of the Hodna saline soils in the Boussaâda region and to explain the saline function of these soils. It is therefore a matter of characterizing the soil solution, defining the distribution profiles of salts in soils and determining the chemical facies of soil solutions. The data used were extracted from a soil database. The analysis showed that the soils of whole 2 and 3 are more salty compared to the soil of whole 1. The chemical facies are of type: hyper chlorinated calcium and the hyper sulphated calcium. This study showed that the topographical position of the region would play a decisive role in the saline functioning of these soils.

**Keywords:** salinity, salty soils, saline function, chemical facies, pedological, topographic.

## Liste des figures

| N° de<br>Figure | Titre de figure  | Page |
|-----------------|--|------|
| Figure 01. a    | Premier type de profil salin (descendent)  | 11   |
| Figure 01. b    | Deuxième type de profil salin (Ascendant)  | 11   |
| Figure 01. c    | Troisième type de profil salin (Convexe)   | 12   |
| Figure 02       | Carte de classification des solonchaks dans la région nord de l'Algérie            | 16   |
| Figure 03       | Le Géonics EM38  | 18   |
| Figure 04       | Géo localisation de la commune de Bou-Saâda sur la carte d'Algérie                 | 25   |
| Figure 05       | Diagramme ombrothermique de Gaussen de la période 1996-2005 de la région de M'sila | 30   |
| Figure 06       | Histogramme de la granulométrie du sondage 1                                       | 40   |
| Figure 07       | Histogramme de la granulométrie du sondage 2                                       | 41   |
| Figure 08       | Histogramme de la granulométrie du sondage 3                                       | 42   |
| Figure 09       | Distribution des sels en fonction de la profondeur du sondage 1                    | 44   |
| Figure 10       | Histogramme des ions existents dans la solution du sol du sondage 1                | 44   |
| Figure 11       | Distribution des sels en fonction de la profondeur du Sondage 2                    | 46   |
| Figure 12       | Histogramme de la concentration des ions dans le sol du sondage 2                  | 47   |
| Figure 13       | Distribution des sels en fonction de la profondeur du sondage 3                    | 48   |
| Figure 14       | Histogramme de la concentration des ions dans le sol du sondage 3                  | 49   |
| Figure 15       | Faciès chimiques des solutions du sol du sondage 1 (diagramme de Piper)            | 51   |
| Figure 16       | Faciès chimiques des solutions du sol du sondage 2 (diagramme de Piper)            | 51   |
| Figure 17       | Faciès chimiques des solutions du sol du sondage 3 (diagramme de Piper)            | 52   |
| Figure 18       | Relation entre la conductivité électrique et le $\text{Na}^+$                      | 53   |
| Figure 19       | Relation entre la conductivité électrique et le $\text{Mg}^{2+}$                   | 54   |
| Figure 20       | Relation entre la conductivité électrique et le $\text{Cl}^-$                      | 54   |

## Table des matières

|   |          |
|---|----------|
| <b>Introduction générale.....</b>                           | <b>1</b> |
| <b>CHAPITRE I. synthèse bibliographique.....</b>            | <b>4</b> |
| 1. La salinisation.....                                     | 5        |
| 1.1. Définition.....  | 5        |
| 1.2. Origine de la salinisation.....                        | 5        |
| 1. 2. 1. La salinité primaire.....                          | 5        |
| 1. 2. 2. La salinisation secondaire (Anthropique).....      | 7        |
| 1.3. Les propriétés des sols salés.....                     | 8        |
| 1.3.1. Les propriétés physico-chimiques des sols salés..... | 8        |
| 1.4. Causes de la salinisation des sols.....                | 9        |
| 1. 5. Dynamique des sels.....                               | 10       |
| 1. 6. Répartition des sols salés.....                       | 12       |
| 1. 6. 1. Répartition des sols salés dans le monde.....      | 12       |
| 1. 6. 2. Répartition des sols salés en Algérie.....         | 13       |
| 7. Les différents types des sols salés dans l'Algérie.....  | 15       |
| 1. 8. Méthode d'évaluation de la salinité des sols.....     | 16       |
| 1. 8. 1. Analyse au laboratoire.....                        | 16       |
| 1. 8. 2. Mesure In situ.....                                | 17       |
| 2. Echelle de la salinité.....                              | 19       |
| 2. 1. Effet de la salinité sur le sol.....                  | 20       |

|   |           |
|---|-----------|
| 2. 1. 1. Effet sur les propriétés physiques.....                                  | 19        |
| 2. 1. 2. Effet sur les propriétés chimiques.....                                  | 19        |
| 2. 2. Effet de la salinité sur les végétaux.....                                  | 20        |
| 2. 2. 1. Effet sur la croissance et le métabolisme.....                           | 21        |
| 2. 2. 2. Effet de la salinité sur les mécanismes physiologiques de la plante..... | 22        |
| 2. 2. 3. Effet de la salinité sur le rendement.....                               | 23        |
| <b>Chapitre II. Matériel et Méthode.....</b>                                      | <b>24</b> |
| 1. Présentation de la région d'étude.....   | 25        |
| 1. 2. Géomorphologie.....   | 26        |
| 1.3. Climat.....  | 26        |
| 1. 3. 1. Synthèse climatique.....   | 30        |
| 1. 3. 2. Classification du climat.....  | 30        |
| 1. 4. Classification des sols.....  | 32        |
| 1. 4. 2. Gypsomorphie.....  | 32        |
| 1. 4. 3. Halomorphie (accumulation des sels a comme les origines).....            | 32        |
| 1. 4. 4. Vertisolisation.....   | 33        |
| 1. 4. 5. Steppisation.....  | 33        |
| 1. 4. 6. Désertification.....   | 33        |
| 1. 4. 7. Zonalité pédologique.....  | 34        |
| 1.5. Hydrologie.....  | 34        |
| 2. Méthodologie.....  | 34        |
| 2.1. Analyses du sol.....   | 35        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2. 2. Analyses de la solution du sol.....   | 35        |
| <b>Chapitre III. Résultats et discussion.....</b>                                   | <b>36</b> |
| 1. Analyse des constitutions du sol.....  | 39        |
| 1.1. Analyse des constitutions du sol du sondage 1.....                             | 39        |
| 1.2. Analyse des constitutions du sol du sondage 2.....                             | 40        |
| 1.3. Analyse des constitutions du sol du sondage 3.....                             | 41        |
| 2. Analyse de la solution du sol.....   | 43        |
| 2.1. Analyse de la solution du sol du sondage 1.....                                | 43        |
| 2. 2. Analyse de la solution du sol du sondage 2.....                               | 45        |
| 2. 3. Analyse de la solution du sol du sondage 3.....                               | 48        |
| 3. Le faciès chimique.....  | 50        |
| 4. Relation entre la salinité et la composition chimique de la solution du sol..... | 52        |
| 5. Discussion générale.....   | 55        |
| <b>Conclusion générale.....</b>   | <b>57</b> |

## **Liste des abréviations**

**A.N.R.H:** Agence National des Ressources Hydriques.

**C.E :** Conductivité électrique.

**C.E.M :** Conductivité électromagnétique.

**O.N.M :** Office National des Météorologie.

**S.A.R :** Sodium adsorption ratio.

**pH :** Potentiel Hydrogène.

**C.E.C:** Capacité d'échange cationique.

**U.S.S.L :** U.S Salinity Laboratory.

**F.A.O :** Food and Agriculture Organization.

**E.S.P :** taux de sodium échangeable.

**CV :** coefficient de variation.

**dS/m :** décisiemens par mètre.

**méq/l :** milli équivalent par litre.

**WRB :** IUSS Working Group, 2014.

**CPCS :** Commuté Pédologique pour la Classification du Sol.

### Liste des tableaux

| N° du tableau | Titre du tableau   | Page |
|---------------|--|------|
| Tableau I     | La différente couche géologique salifère en Algérie d'après (GAUCHER, 1947. DJAMAI, 1993)              | 06   |
| Tableau II    | Tableau comparative entre les différents types des sols salés (Daoud, 1993)                            | 09   |
| Tableau III   | Salinité en fonction de la conductivité électrique et d'extrait de pâte saturée et la somme des anions | 19   |
| Tableau IV    | Cumuls mensuels des précipitations (en mm), (ONM, 2005)  | 27   |
| Tableau V     | Moyen mensuelle des vitesses de vent moyen (en m/s), (ONM, 2005)                                       | 28   |
| Tableau VI    | Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales (en °C), (ONM, 2005)                       | 29   |
| Tableau VII   | Moyen mensuels des températures moyennes (en °c), (ONM, 2005)  | 29   |
| Tableau VIII  | Profondeurs des prélèvements   | 35   |
| Tableau IX    | Classes de salinités en fonction de la CE de l'extrait de pâte saturée à 25°C                          | 37   |
| Tableau X     | Résultats analytiques des constituants de sols du sondage 1  | 39   |
| Tableau XI    | Résultats analytiques des constituants du sol du sondage 2   | 40   |
| Tableau XII   | Résultats analytiques des constituants du sol du sondage 3   | 42   |
| Tableau XIII  | Caractéristiques analytiques de la solution du sol du sondage 1  | 43   |
| Tableau XIV   | Caractéristiques analytiques de la solution du sol du sondage 2  | 45   |
| Tableau XV    | Caractéristiques analytiques de la solution du sol du sondage 3  | 48   |
| Tableau XVI   | Corrélations entre la conductivité électrique et les différents paramètres chimiques.                  | 53   |

### INTRODUCTION

La salinisation est définie comme étant le processus pédologique suivant lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles, acquérant ainsi le caractère salin (Aubert, 1976).

Cependant, l'accumulation des sels solubles d'une manière excessive dans les sols cultivés entraîne la salinisation des sols. Cette dernière a été reconnue comme un processus majeur de dégradation des terres arables. Cette salinisation entraîne une perte considérable des terres arables, ce qui constitue une menace majeure pour la sécurité alimentaire et environnementale (Kovda, 1983).

Les sols salins ont une caractéristique du paysage de la région aride. Grâce à des mécanismes de formation très diversifiés. En Afrique du Nord, la combinaison du passé géologique favorable pour le stockage du sel, la déshydratation climatique, l'hydrographie et l'irrigation mal contrôlée rend la salinisation du sol comme étant une menace permanente (Aubert, 1976; Hulin, 1983).

En Algérie, La salinité est un problème majeur qui affecte 3.2 millions d'hectares (Daoud, 1993 ; Aubert, 1976 ; Halitim, 1988). La salinisation dans le sol peut se produire sans l'intervention de l'homme, comme c'est le cas pour la salinité primaire et peut également résulter de pratiques d'irrigation incontrôlées dans le cas de la salinisation secondaire (Durand, 1983 ; Djili et al., 2003).

En Algérie, d'Est en ouest, du nord au sud, les sols agricoles sont menacés ou bien vulnérables aux accumulations des sels solubles (Durand, 1958 ; Halitim, 1973).

En revanche, dans les régions arides, toutes les conditions sont remplies pour avoir une forte concentration de sels (Dubost, 1992). La région du Hodna en général plus précisément la région de Boussaâda est un exemple typique de l'environnement salin résultant de plusieurs facteurs de salinisation. Par conséquent, le développement de l'agriculture irriguée dans ce contexte nécessite une caractérisation des sols de la région, afin de définir l'état salin de ces sols et de l'eau avant toute tentative de mise en valeur de ces sols.

C'est dans ce contexte que nous avons étudié trois types des sols salés, qui semblent avoir un fonctionnement salin différent.

L'objectif de cette étude est de réaliser une caractérisation de l'état de salinité de ces sols salés de la Hodna plus précisément des terres agricoles dans le Chott situés dans la région de

## Introduction générale

---

Boussaâda et d'expliquer le fonctionnement salin de ces sols. Il s'agit donc de caractériser la solution des sols, de définir les profils de distribution des sels dans les sols et de déterminer les facies chimiques des solutions des sols.

Le présent document est structuré en chapitres.

- Le premier chapitre porte sur une étude bibliographique.
- Le deuxième chapitre porte sur la présentation de la région d'étude, méthodologie adoptée et le matériel utilisé pour réaliser cette étude.
- Les résultats obtenus sont présentés et discutés dans le troisième chapitre.

Enfin, nous terminons ce document par une conclusion.

Le sol est l'une des ressources naturelles nécessaires pour vivre sur Terre, mais l'activité humaine exerce une pression sur ces ressources de sorte qu'ils deviennent excessifs dans un état dégradé. Une gestion attentive des sols est un élément essentiel de l'agriculture durable et constitue également un levier précieux pour la régulation climatique et un moyen de préserver les services éco systémiques et la biodiversité.

La salinisation des sols est l'une des causes les plus imperceptibles et évolutives de la dégradation des sols, menaçant certaines des terres irriguées les plus productives.

L'accumulation du sel dans le sol fait baisser les rendements et peut anéantir la production agricole. La salinisation réduit les superficies irriguées du monde de 1 à 2 % par an et touche le plus durement les régions arides et semi-arides.

### **1. La salinisation**

#### **1. 1. Définition**

La salinisation est l'assemblage des sels solubles dans le sol. Elle a pour principales conséquences une toxicité pour les végétaux due à l'accumulation de certains ions, dont Na<sup>+</sup>, et une dégradation du sol. C'est une cause de dégradation de l'agriculture et de la biodiversité.

Ces sels solubles sont les sels qui ont une solubilité supérieure à celle de gypse, soit 2g/l à 20°C (U.S.S.L, 1954).

#### **1. 2. Origine de la salinisation**

La salinisation des sols peut avoir deux origines une origine primaire et une origine secondaire (Aubert, 1975).

##### **1. 2. 1. La salinité primaire (ou naturelle)**

La salinité primaire est un processus qui se déroule au début de la pédogenèse qui s'explique par l'assemblage des sels dans le sol sur une longue période de temps en deux processus naturels (Aubert, 1975).

**1. 2. 1. 1. Origine continentale ou géologique :** les sels solubles proviennent des roches approfondit sédimentaires salifères.

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

D'après le (tableau I), les processus de décomposition des roches contenant des minéraux sodique et potassique ou magnésique et la libération des sels solubles de divers types, principalement des chlorures de sodium, de carbonate et les bicarbonate, de magnésium, et dans une moindre mesure, les sulfates et les silicates de ces métaux (Zahow et Amrhein, 1992 ; Aubert, 1976). Lorsque la roche est gypso-salifère les sels, c'est généralement des sulfates et des chlorures qui sont libéré (Gaucher et Burdin, 1974). En Algérie, il existe des couches géologiques salifères (tableau I) comme le Trias qui est formé de roche d'argile schistosité gypseuses et qui constituent une source importante de gypse et des sels solubles dans les régions aride. Il apparait en diapir ou en injection dans les schismes au niveau des hautes plaines steppiques entre l'atlas tellien et l'atlas saharien. Il existe d'autres couches géologiques salifères par exemple l'Helvétien qui se situe dans la vallée du Cheliff.

**Tableau I :** La différente couche géologique salifère en Algérie d'après (Gaucher, 1947. Djamai, 1993).

| <b>Couche géologique</b> | <b>Localisation</b>                                   |
|--------------------------|---|
| Trais                    | Partout   |
| Albien                   | Hauts plateaux de Nord- Est Algérien                  |
| Turonien                 | Hauts plateaux de Nord- Est Algérien                  |
| Santonine                | Hauts plateaux  |
| Sénonien                 | Sud-est Algérien                                      |
| Suessionien              | Atlas tellien et hauts plateaux                       |
| Lutétien                 | Sud centre et Sud-est algérien                        |
| Eocène supérieur         | Algérois  |
| Oligocène continental    | Partout   |
| Carténier                | Nord -Est algérien                                    |
| Helvétien                | Mitidja, Nord -Est, Nord- Ouest algérien              |
| Vindobonien              | Vallée du Cheliff et Nord- Ouest                      |
| Sarmatien                | Nord -Est algérien                                    |
| Sahélien                 | Nord- Ouest algérien                                  |
| Pliocène continental     | Bassin fermés des Hauts plateaux Nord- Ouest algérien |
| Quaternaire              | plateaux et Sud algérien                              |

**2. 2. 1. 2. Origine Océanique :** la salinisation océanique peut être causée par le contact direct ou indirect du sol avec les eaux de mer, elle est éventuellement provoquée par quatre processus :

**1<sup>ère</sup> processus :** représente dans une submersion des terrains par la mer au cours des tempêtes, des marées exceptionnelles et des raz de marées.

**2<sup>ème</sup> processus :** la salinisation est déclenchée par les infiltrations des eaux de mer vers une nappe phréatique littorale qui est formée originellement par des eaux douces, la contamination des terres s'accomplit soit naturellement à la suite d'une remontée du niveau phréatique, soit par l'intervention de l'homme qui réalise à des pompages inconsidérés dans la nappe et à des irrigations au moyen par des eaux salées.

**3<sup>ème</sup> processus :** c'est la contribution du vent avec les embruns salés qui vient être rabat sur le sol et la végétation.

**4<sup>ème</sup> processus :** le dépôt des sels océaniques effectués dans le vent et la pluie : "les Sels cycliques" sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie, et sont principalement le chlorure de sodium.

L'eau de pluie contient de 6 à 50 mg/l de sel, la concentration de sels diminue avec la distance de la côte. Si la concentration est de 10 mg/l, il s'ajoute 10 kg/ha de sel pour chaque 100 mm de précipitations par année. L'accumulation de chlorure de sodium dans le sol serait considérable au cours des millénaires. La quantité de sel stocké dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible pour les sols sableux et élevée pour les sols contiennent un pourcentage élevé de minéraux argileux. Il varie aussi inversement avec la pluviométrie.

### **1. 2. 2. La salinisation secondaire (Anthropique)**

La salinisation secondaire est le résultat des activités humaines qui modifient l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration).

Les causes les plus fréquentes sont :

- Le déboisement des terres et le remplacement de la végétation maintenue avec des cultures annuelles ;

- L'utilisation des eaux d'irrigation riches en sel ;
- Un drainage insuffisant et un système d'irrigation déséquilibré...

Avant l'intervention des activités humaines, dans des climats arides ou semi-arides, l'eau utilisée par la végétation naturelle a été en équilibre avec la pluie, c'est à dire la végétation locale adaptée aux excès en sels solubles. A la compensation de mode d'irrigation, nous avons distingué une modification des interrelations entre le système pédo-sphérique, le système hydro-sphérique et le système atmosphérique qui ont été en équilibre, en outre les précipitations d'une part, et l'eau d'irrigation sur l'autre et la physico-chimie des sols d'autre part.

L'excès d'eau soulève la nappe souterraine et mobilise des sels précédemment stockés dans le sous-sol et les amènent jusqu'à la zone des racines. Les plantes utilisent l'eau et laissent le sel jusqu'à ce que l'eau du sol devienne trop salée pour l'absorption d'eau par les racines des autres. L'eau s'évapore en laissant des dépôts de sels à la surface et formant ainsi «brûlure du sel » dans des cas. Le sel peut également se mobiliser latéralement vers les cours d'eau pour augmenter leur degré de salinité.

En Algérie, près de 10-15 % de terres irriguées, sont concernées par ces problèmes. Bien que le problème d'alcalinisation, selon Daoud et Halitim (1994) ne se pose plus, on estime que les terres salinisées seront difficilement récupérables.

### **1. 3. Les propriétés des sols salés**

#### **1. 3. 1. Les propriétés physico-chimiques des sols salés**

Il existe trois catégories des sols salés (U.S.S.L, 1954) : les sols salins, les sols salin et sodique et les sols sodiques.

La présence des sels solubles en une grande quantité dans la solution du sol fait augmenter la pression osmotique.

**Tableau II.** Tableau comparative entre les différents types des sols salés (Daoud, 1993).

|  | <b>CE<sub>PS</sub></b><br>(dS/m) | <b>ESP %</b> | <b>pH</b>     | <b>Propriétés des sols</b>  |
|--|----------------------------------|--------------|---------------|---|
| <b>les sols salins</b>                       | CE ≥ 4                           | SAR < 15     | pH < 8,5      | - Une croûte Saline blanche à leur surface ;<br>- perméabilité égale ou supérieure à celle des sols similaire non salés ;<br>- La solution du sol est riche en sels soluble et en sodium échangeable.   |
| <b>Les sols salin et sodique (à alcalis)</b> | CE > 4                           | SAR > 15     | pH < 8,5      | - Des sols qui ont été affectés par les processus de salinisation et d'alcalisation aux cours de leurs formations ;<br>- L'effet néfaste de sodium échangeable ne captive pas sur la structure de sols. |
| <b>Sols sodique (à alcalis)</b>              | CE < 4                           | SAR > 15     | 8,5 < pH < 10 | - Les sols à alcalis présentent une faible perméabilité.  |

#### 1. 4. Causes de la salinisation des sols

La salinité est un phénomène naturelle qui peut être accélérer par les paramètres suivants :

**1. 4. 1. La carence du réseau du drainage :** l'absence d'un réseau de drainage adéquat risque d'augmenté le niveau de la nappe et la remontée capillaire augmente la salinité (FAO, 1972) ;

**1. 4. 2. La texture des sols :** les sols argileux entasse plus de sels solubles qu'un sol sableux à cause de ces propriétés physiques tel que (la perméabilité, la capacité de rétention, la circulation de l'eau (Durand, 1983 ; FAO, 1990) ;

**1. 4. 3. La qualité des eaux d'irrigation :** elle détermine l'intensité de la salinisation. L'eau d'irrigation contient une certaine quantité de sels dissous dans une mesure qui relever de leurs

origines. Il s'ensuit qu'à chaque irrigation, on ajoute une certaine quantité de sels dissouts dans l'eau au sol ;

**1. 4. 4. La topographie :** la saturation des sols se manifeste essentiellement dans les terres basses là où il y a un faible drainage interne faible (FAO, 1972). Dans ces cas on peut signaler la présence d'une nappe peu profonde (FAO, 1972 ; U.S.S.L, 1954).

### **1. 5. Dynamique des sels**

Les sels solubles dans le sol sont en perpétuelle évolution, leur évolution dépend de plusieurs facteurs à savoir les saisons, le climat et la présence d'une nappe salée.

#### **1. 5. 1. Evolution spatiale et temporelle de la salinité**

##### **- Rôle des saisons**

Des études de terrain réalisées en milieu méditerranéen sur des sols naturels couverts d'une végétation clairsemée ont montré une évolution de la salinité au cours de l'année (Servant, 1975). Dans ce cas, les sels ont pour origine une nappe marine. La distribution des sels dans les sols à croûte et encroûtement calcaire et dans les sols encroûtements gypseux, cela correspond au sol affecté par une nappe salée peu profonde, qui sont généralement localisées dans les zones basses.

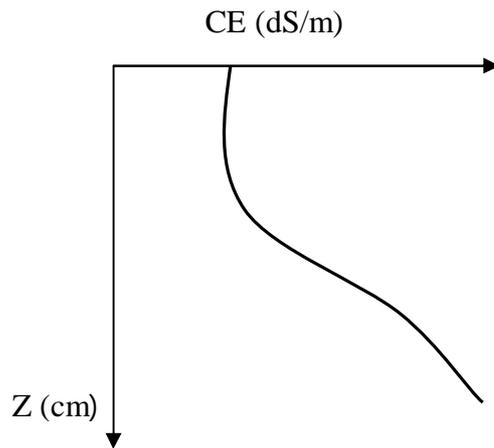
Lorsque la concentration de sel est très élevée, on observe à la surface du sol une texture en pseudo-sable et des efflorescences salines, il est caractérisé par une remontée capillaire et une lixiviation des sels.

D'après Halitim (1988), il existe trois types de profils salins en zone aride de l'Algérie semblables aux profils salins décrits par Servant (1975), les profils descendant, ascendant, convexe.

- **Profil descendant**

Le maximum de salinité se situe dans la partie inférieure du profil. Ce type de distribution est observé dans les sols à croûtes et encroûtement calcaires et dans les sols à encroûtement gypseux de surface des parties amont et médiane de la séquence du Zehrez.

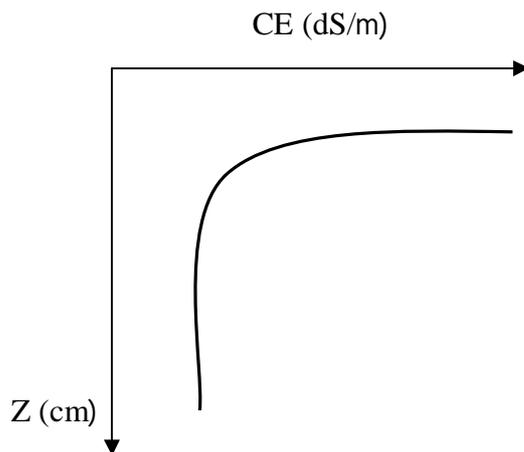
Ce type de profil salin a été qualifié de descendant par Servant (1975). Il indique qu'en général, le profil a subi une phase de lixiviation des sels solubles (figure 1. a).



**Figure 1. a.** Premier type de profil salin (descendant).

- **Profil ascendant**

Le maximum de salinité s'observe dans la partie supérieure du profil. Il correspond aux sols influencés par une nappe salée peu profonde et qui sont en général localisés dans les zones basses et déprimées des séquences. Les horizons les plus salés se localisent alors au-dessus des horizons gypseux et calcaires quand ces derniers sont présents. C'est le profil salin ascendant ou type A (Servant, 1975). Quand la concentration en sels est très forte et que la texture est argileuse, nous observons à la surface du sol une texture en pseudo-sables et des efflorescences salines. Cependant, la texture en pseudo-sables peut exister même s'il n'y a pas de nappe, à condition que les autres caractéristiques (une texture argileuse et une forte salinisation) soient présentes (figure 1. b).

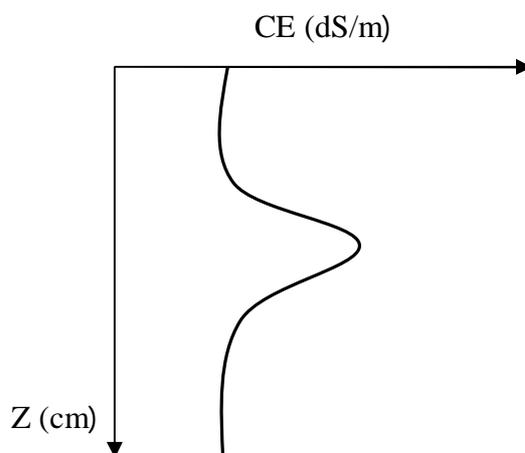


**Figure 1. b.** Deuxième type de profil salin (Ascendant).

- **Profil convexe**

La partie médiane du profil correspond à un maximum de salinité. Les profils concernés par ce mode de distribution des sels sont en général des sols dont la dynamique saline est caractérisée par une remontée capillaire et une lixiviation des sels. Ils correspondent au type B

(Servant, 1975) et peuvent aussi caractériser une phase de désalinisation des profils du deuxième type (figure 1. c).



**Figure 1. c.** Troisième type de profil salin (Convexe).

### 1. 6. Répartition des sols salés

Dans cette phase nous avons avoir dans un premier lieu la répartition des sols salés dans le monde ensuit dans l'Algérie et plus particulièrement dans la région de Hodna et leurs principales caractéristique.

#### 1. 6. 1. Répartition des sols salés dans le monde

La salinisation est un phénomène mondial qui peut touche tout les terres dans le monde, les estimations de la superficie affecte par la salinisation atteint 1 billion d'hectares soit 7% de la surface terrestre (Ghassemi et *al*, 1995). D'après la F.A.O environ 3000 million d'ha est déjà affecté par la salinisation sa représente 2% des terres cultivables. Ces sols enrichis en sels comme les (chlorures, Carbonates, Sulfates) sont basé principalement dans les régions arides est semi arides (Duchauffour, 1992). Nous les trouvons toujours dans ces domaines suivant :

Le long des bords à marées basses des cinq continents : des sols sulfatés qui peuvent être acides ou non.

Dans les zones à côté des régions volcaniques d'où viennent les eaux alcalines (pleines de l'Araxe en Arménie).

Dans les fragments mal drainées des régions méditerranéennes et arides, alimentés par des eaux ayant traversé des couches sédimentaire anciens salés (Durant, 1983) riches en évaporites généralement gypso-saline, associe à des bancs d'argiles colorées ou de produits gorgé d'évaporites (Gaucher et *al*, 1974).

### 1. 6. 2. Répartition des sols salés en Algérie

Ces sols ont une grande évolution dans les trois pays du Maghreb (G. Aubert, 1976). En Algérie on a remarqué que les eaux d'irrigation de palmiers pouvaient amener au sol entre 40 et 60 tonnes de sels divers par ha et par ans (Daoud et Halitim, 1994). Selon la F.A.O (2005), on rencontre plusieurs types des sols salés surtout dans les étages bioclimatiques arides et semi-arides.

Il existe en Algérie trois types de bassins salifères :

#### - Lagunaire aléozoïque (Primaire)

La partie inférieure du paléozoïque (Ordovicien-Silurien), relief sous forme de gneiss, micaschistes et quartzites dans la partie nordique : Monts de Ghar-Rouban, Tiffrit, Chenoua, Kabylie.

- **Le Dévonien** : la sédimentation comporte des ouvertures, recouvertes d'un ensemble schisto-gréseux avec calcaires rocheuses à Ghar-Rouban et Tlemcen, intégrant des incidents poussées.

- **Le Carbonifère** : il est connu dans le Djurdjura (faciès continentaux), dans les monts de Ghar Rouban (Viséen schisto-conglomératique) et dans la région de Tlemcen où sont inclus des accidents éruptifs.

#### - Lagunaire mésozoïque (Secondaire)

- **Le Trias** : il évolue d'une sédimentation gréseuse à de puissants dépôts évaporitiques se terminant par des calcaires dolomitiques avec intercalations de volcanites basiques. En Grande Kabylie, une partie du Permien et du Trias inférieur sont constitués de grès rouges surmontés par des calcaires du Mushelkalk en bancs épais ou en plaquettes. Une sédimentation gréseuse rouge reprend ensuite, accompagnée d'intercalations doléritic.

Au Sud, région des Babors, la partie supérieure du Trias, salifère et gypsifère, repose sur les calcaires du Mushelkalk. Cette sédimentation lagunaire s'étend tout le long de la zone tellienne. À l'Est, ce Trias lagunaire, argilo-détritique, évolue en tendance carbonatée au Mushelkalk. En fin de Trias, les dépôts évaporitiques se généralisent.

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

---

- **Le Jurassique** : il débute par une transgression marine ; les faciès calcaréo-dolomitiques à oolithes du Rhétien, reposant sur le Keuper, laissent place à des marnes au Lias supérieur. Dans la Hodna et à Boussaâda, des carbonates comblent la fosse atlasique.

Dans le Tell occidental et la Plate-forme saharienne, les dépôts sont carbonatés (200 m).

Le Dogger apparaît en Kabylie avec une sédimentation carbonatée réduite, et dans le Tell avec une sédimentation argilo-carbonatée épaisse au niveau des Hauts-Plateaux et du môle constantinois (carbonates), ainsi que dans la fosse atlasique. Pour la bordure sud de l'Oranais et de l'Atlas saharien occidental, le Bajocien montre une tendance détritique traduisant une activité fluvio-deltaïque. Au Malm, les grès s'étendent vers le Nord soulignant une régression. S'opposent alors les domaines marins du Nord et les domaines continentaux deltaïques du Sud. Cependant, au Sud quelques dépôts d'influences marines s'observent encore (Haut-Plateaux et fosse atlasique). À l'Est du méridien Sedrata-Laghouat, le milieu est marin jusqu'au Jurassique supérieur.

- **Le Crétacé** : détritique et siliceux, il affleure dans l'Atlas saharien, où il atteint 1 200 m de puissance. À l'Aptien, une transgression carbonatée à récifs marque la sédimentation dans le Hodna et les Aurès; les grès dominent au Sud et à l'Ouest (fluvio-deltaïque).

À l'Albien, des grès puis des flyschs se déposent dans l'Atlas saharien alors que dans le Tell, ce sont des faciès argilo-gréseux qui dominent. Dans le SE constantinois, une transgression Crétacé supérieur s'amorce avec des dépôts de carbonates.

Au Cénomanién, la mer est présente, peu profonde au Sud (évacorites) ou franchement marine dans le Tell (1 000 m de marnes pélagiques). Le Cénomanién est néritique (300 à 400 m de puissance) à Telagh et Tiaret, carbonaté dans le Hodna. Le Turonien marneux à lamellibranches et échinodermes couvre tout le Nord algérien à l'exception des Hauts-Plateaux et du constantinois.

Au Sénonien, la sédimentation marno-calcaire se poursuit marquée par un approfondissement marin.

### - Lagunaire cénozoïque (Tertiaire)

Il débute à l'Eocène par des dépôts étendus et puissants : marnes, calcaires et argiles dans le Tell et marnes gypseuses, calcaires phosphatés et à silex dans le Hodna.

À l'Oligocène, la sédimentation est dominée par les grès.

Au Miocène inférieur, une épaisse série de marnes bleues (+1 000 m) accompagne la transgression qui envahit l'Algérie depuis Tlemcen jusqu'à Biskra engendrant l'individualisation des bassins de Tafna, du bas et moyen Chelif, du Hodna et des Sébaou.

Au Miocène supérieur, la régression au Burdigalien est suivie d'une transgression dans le Chelif (marnes noires ou bleues, sables, grès, calcaires, diatomites, gypse).

Au Pliocène, des marnes bleues gréseuses (1 000 m) se déposent dans le Chéelif et la Mitidja. Partout ailleurs, la sédimentation est lagunaire ou continentale.

### 1. 7. Les différents types des sols salés en Algérie

Aubert (1975) a indiqué qu'il existe deux types de sols en Algérie, qui sont les solontchaks et les solontchaks-solonetz.

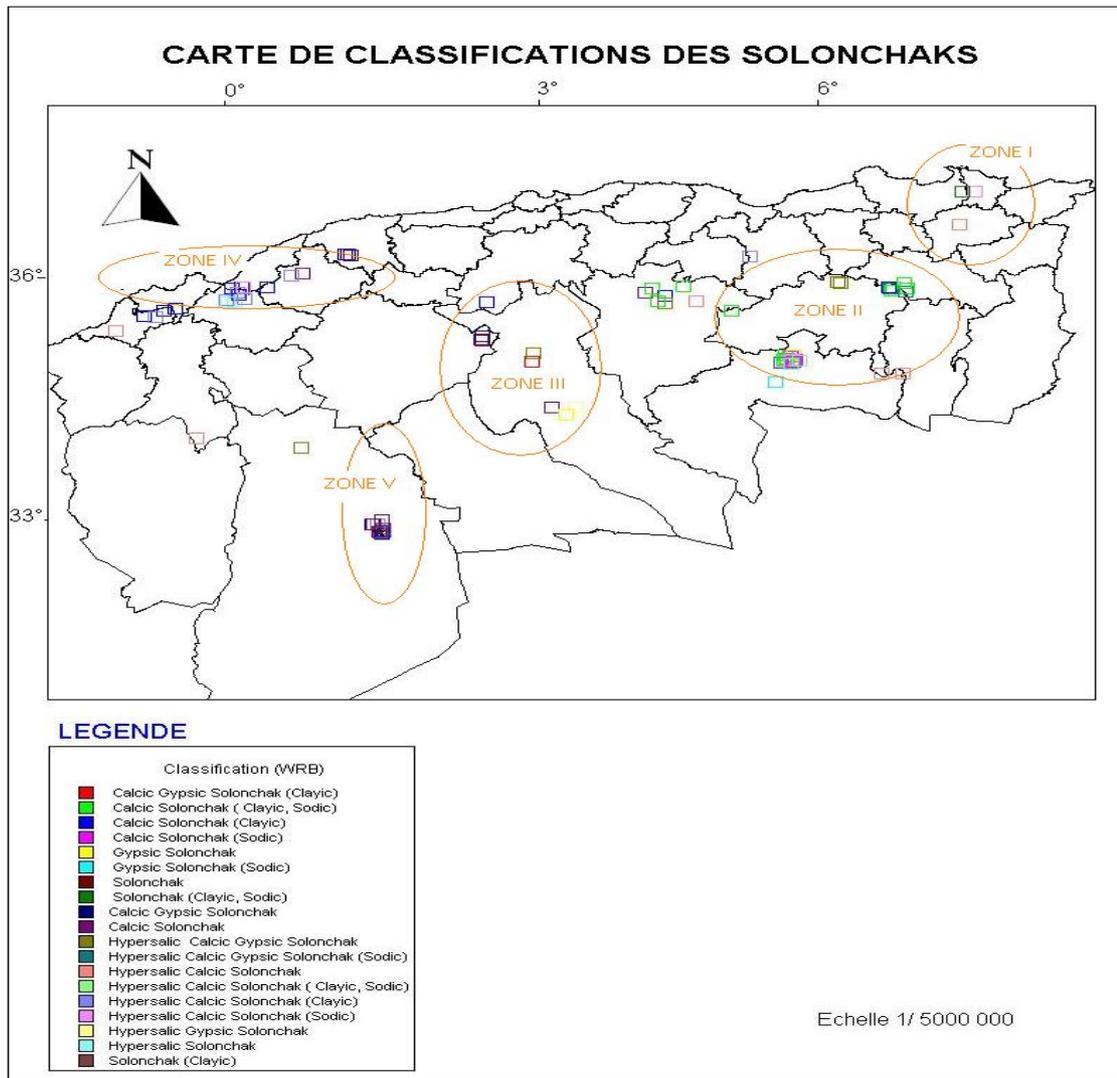
- **Les solontchaks** : ils sont caractérisés par l'accumulation des sels solubles à la surface des sols à cause de la convergence de la nappe phréatique et de l'évaporation intense.

- **Les solontchaks-solonetz** : sont très répandus ; caractérisés par une teneur de sels solubles et un taux de sodium échangeable élevé.

Selon Hadj miloud (2010) les solontchaks dans la région nord de l'Algérie sont localisés dans cinq zones principales (figure 2).

- La zone I : c'est la région d'Annaba et Guelma.
- La zone II : les régions de M'sila, Biskra, Oum el Bouaghi, Bordj-Bouarreridj, Batna, Sétif et Khenchela ;
- La zone III : les régions de Médéa, Djelfa et Tiaret (Ksar chellala) ;
- La zone IV : les régions de Chlef, Relizane, Mostaganem, Mascara, Oran et Aïn-Témouchent ;
- La zone V : la région d'El Bayadh.

- La distribution spatiale des solonchaks dans le nord de l'Algérie ne semble pas liée au climat. En effet, nous pouvons les rencontrer aussi bien dans les régions humides (zone I) que dans les régions semi-arides (zone II, zone III et IV) comme dans les régions arides (zone V) d'où le caractère azonal de ce type de sols comme mentionné par de nombreux auteurs (Durand, 1983 ; Djili, 2000).



**Hadj miloud (2010).**

**Figure 2.** Carte de classification des solonchaks dans la région nord de l'Algérie.

### 1. 8. Méthode d'évaluation de la salinité des sols

Ils peuvent être classés en deux grandes catégories comme suit :

**1. 8. 1. Analyse au laboratoire :** Pour apprécier la quantité de sel présent dans un échantillon de sol, il faut extraire ces sels de sol. Pour cela différentes méthodes sont utilisées :

- **Mesure de la conductivité électrique sur les extraits de pâte saturée** : c'est une méthode qui a servi comme standard pour mesurer la quantité des sels solubles dans le sol. Elle est mesurée selon la méthode recommandée par le laboratoire de Riverside (US Salinity Laboratory Staff, 1954).

- **Principe** : la salinité globale de la pâte saturée est déterminée par la mesure de la (CE) exprimée en dS/m et corrigée à une température 25 °C.

- **Mesure de la conductivité électrique sur les extraits dilués Le rapport sol/ eau est en général de 1/5** :

- **Principe** : Cette méthode consiste à mélanger l'échantillon de sol avec une quantité d'eau suffisante pour obtenir de fortes dilutions. Le rapport sol/ eau est en général de 1/5 ou 1/10. Ce rapport est le même quelque soit la texture de l'échantillon (Wade, 1998).

Les extraits sont plus faciles à réaliser et permettent ainsi de faire un grand nombre d'analyses, ce qui est au contraire difficile voire impossible par pâte saturée.

### 1. 8. 2. Mesure In situ

Parmi ces méthodes on trouve :

- **La conductivimètre électromagnétique (ECM)** : c'est une technique de géophysique récemment entraîné à l'étude des sols (Dejonec et *al*, 1979). Elle tolère entre autres de déterminer la salinité globale apparente des sols adhésés sur une profondeur d'à peut près deux mètre.

- **Principe** : Elle se fait en imposant le sol à un champ magnétique de haute fréquence. Ce champ conduit des courants qui sont d'autant plus intenses que le sol est conducteur (Boivin et *al*, 1988).

La conductivité électrique apparente (CEa) mesurée correspond à un volume de sol donné qui dépend des caractéristiques de l'appareil de mesure (longueur, fréquence de l'onde électromagnétique émise), de son mode l'utilisation (dipôle émetteur-récepteur, vertical ou horizontal, réponse...), et des caractéristiques physico-chimiques du sol (teneurs en eau et en argile, minéralisation de la solution du sol, compacité...) (Mc Neill, 1980).

Généralement utilisées en valeurs relatives, les mesures de CE a peuvent être calibrées par rapport à une méthode d'extraction de la solution du sol et de mesure de la CE au laboratoire (Corwin et Rhoades, 1990; Mckenzie et al, 1989; Montoroi, 1997). Cette calibration entraîne des biais dus à l'échantillonnage in situ et aux variations de teneur en eau et de texture dans le volume de sol exploré par la méthode électromagnétique (Johenston et *al*, 1997).

### - La conductivimètre électromagnétique (Le Géonics EM38)

L'appareil utilisé pour les mesures est un EM-38 de Géonics, cet instrument est le plus utile et le plus rapide pour la distinction et la cartographie des sols salés (Job et *al*, 1990).



**Figure 3 :** Le Géonics EM38.

- **Principe :** C'est un appareil constitué de deux bobines à axes parallèles et coplanaires séparées d'un mètre. La bobine émettrice ou spire primaire SP parcourue par un courant électrique de fréquence  $f$  produit un champ magnétique primaire  $H_P$  de même fréquence qui induit des courants dans le sol supposé homogène. Ces courants produisent à leur tour un champ secondaire  $H_S$  proportionnel à la conductivité du sol. Ce champ est capté par la bobine réceptrice ou spire secondaire. (Wade, 1998).

Le rapport entre les deux champs magnétique ( $H_s / H_p$ ) est proportionnel à la conductivité électrique apparente  $CE_a$  selon l'équation de (Mc Neill, 1980)

- **La résistivité du sol :** La méthode des quatre pointes de van der Pauw (en) est utilisable pour mesurer la résistivité d'une couche mince. Il faut placer les quatre pointes près des bords de la couche à caractériser.

- **Principe :** Soit un rectangle dont les côtés sont numérotés de 1 à 4 en partant du bord supérieur, et en comptant dans le sens des aiguilles d'une montre. On injecte le courant entre deux points du bord 1 et on mesure la tension entre les deux points du bord opposé (bord 3). Le rectangle pouvant ne pas être strictement un carré, on effectue une deuxième mesure en injectant cette fois-ci le courant entre les deux points du bord 4, et comme précédemment on mesure ensuite la tension entre les deux points du bord opposé (bord 2). Il suffit ensuite de calculer à l'aide de la loi d'Ohm, le rapport  $V/I$  pour chaque configuration de mesures.

### 2. Echelle de la salinité

Le développement de l'échelle agronomique par l'US Salinity Laboratory est graduée selon les valeurs de la conductivité électrique de 0 jusqu' à 16 dS/m (tableau III).

Au-delà 8 dS/m la majorité des plantes constatent des changements dans leurs productivités affectées par la salinité, seules les plantes adaptées peuvent réussir dans le domaine de conductivité électrique à 16 dS/m.

Servant (1976), offre une autre échelle enveloppant le domaine des sols très salés comme ceux rencontrés le long du littoral méditerranéen, cette échelle est exprimée en fonction de la CE et de la somme des anions.

**Tableau III :** Salinité en fonction de la conductivité électrique et d'extrait de pâte saturée et le somme des anions.

| Classe | Désignation         | CE (dS/m à 25° C) | Somme des anions (mécq/l) |
|--------|---------------------|-------------------|---------------------------|
| 0      | Non salé            | < 2,5             | < 25                      |
| 1      | Faiblement salé     | 2,5 – 5           | 25 – 55                   |
| 2      | Moyennement salé    | 5 – 10            | 50 – 105                  |
| 3      | Salé                | 10 – 15           | 105 – 165                 |
| 4      | Fortement salé      | 15 – 20           | 165 – 225                 |
| 5      | Très fortement salé | 20 – 27,5         | 225 – 315                 |
| 6      | Excessivement salé  | 27,5 – 40         | 315 – 620                 |
| 7      | Hyper salé          | > 40              | > 620                     |

Servant (1976)

### **2. 1. Effet de la salinité sur le sol**

L'excès de sels dans un sol entraîne une modification dans les propriétés physiques et chimiques. Cette altération des conditions édaphiques constitue un stress indirect pour la croissance des plantes (Gregory, 2005).

#### **2. 1. 1. Effet sur les propriétés physiques**

L'effet de la salinité sur le sol est indésirable. Les propriétés physiques sont destinées par des modifications important, surtout sur la structure du sol lorsqu'il y a un passage de forte teneur en sodium sur le complexe adsorbant, à l'état sec. A l'état humide l'argile est dispersée lorsque il y a une diminution dans la force cohésion entre les particules fines, ces derniers vont occuper l'espace libre dans la matrice, ce qui conduit à diminuer la perméabilité.

#### **2. 1. 2. Effet sur les propriétés chimiques**

- **pH (potentiel hydrogène)** : La réaction du sol est influencée par la nature du sol certains des sels sont alcalinisant comme ( $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), ainsi certains sont acidifiants comme ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$ ).

- **Pourcentage du sodium échangeable (ESP)** : Le taux de sodium échangeable à une grande importance surtout dans les sols alcalins, En raison de ce derniers retiennent de faible concentration en sels solubles et la grande quantité de sodium se trouve sous la forme échangeable. Alors que dans les cas des sols salés la grande partie de sodium se trouve dans la solution du sol.

#### **- La relation solution du sol - complexe adsorbant**

Du fait de la présence de charges négatives à leur surface, les colloïdes adsorbent les ions chargés positivement tels que le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium. Les cations adsorbés neutralisent les charges négatives des colloïdes à travers une association électrostatique. Ces cations sont en partie remplacés ou échangés par les cations de la solution du sol. Chaque sol est caractérisé par une capacité d'échange cationique et une garniture cationique (F.A.O., 1990).

Le sodium, le calcium et le magnésium sont facilement échangeables, alors que cet échange est plus contraignant pour l'ammonium et le potassium à cause du phénomène de rétrogradation exercé par les argiles (U.S.S.L., 1954).

La solution des sols salés des régions arides se concentre par évaporation ou par absorption de l'eau par la plante induisant progressivement la précipitation des sels les moins solubles tels que le gypse, le carbonate de calcium, le carbonate de magnésium. Cette précipitation provoque une augmentation relative de la concentration du sodium dans cette solution.

Dans ces conditions, une partie du calcium et du magnésium échangeables est remplacée par le sodium au niveau du complexe adsorbant (U.S.S.L., 1954).

Les sites occupés par le sodium échangeable au niveau du complexe adsorbant sont exprimés par le pourcentage de sodium échangeable (ESP : Echangeable Sodium Pourcentage) (U.S.S.L., 1954).

$$ESP = Na^+_e \times 100 / C.E.C.$$

La quantité du sodium fixée sur le complexe adsorbant est en équilibre avec la concentration du calcium, du magnésium et du sodium présent dans la solution du sol, cet état est exprimé par le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio) (U.S.S.L., 1954) :

$$S.A.R. = Na^+ / ((Ca^{2+} + Mg^{2+})/2)^{1/2}$$

$Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ : en méq/l

C'est par ce paramètre qu'il est possible d'évaluer les risques d'alcalinisation des sols.

### **2. 2. Effet de la salinité sur les végétaux**

#### **2. 2. 1. Effet sur la croissance et le métabolisme**

La salinité du milieu provoque l'accélération du cycle biologique avec changement de la voie métabolique de fixation du carbone ou des modifications des structures anatomiques (Levigneron et al., 1995).

El-iklil et al. (2000) suggèrent que l'ajustement osmotique nécessite beaucoup d'énergie et sa qui se influence sur la croissance des plantes. En fait, l'ajustement osmotique est un mécanisme permettant d'intervenir à tous les stades du développement de la plante, pour assurer le contrôle des activités physiologiques et le transfert des assimilât à des niveaux de potentiel hydrique très bas, et retarder aussi le vieillissement en favorisant l'extraction de l'eau par les racines (Turner, 1997).

L'accumulation de certains composés organiques ou inorganiques en réponse à la salinité est considérée comme une source de résistance chez la tomate (El-IkliL et al, 2000).

### **2. 2. 2. Effet de la salinité sur les mécanismes physiologiques de la plante**

Étudier les effets de la salinité sur les mécanismes physiologiques impliqués dans l'exécution du processus de développement pour comprendre le comportement de la plante dans ces circonstances, et permet ainsi d'identifier certains des traits des caractéristiques morphologiques et physiologiques pour adapter à la salinité (Katerji, 1995; Levigneron et al, 1995; Wincov, 1998).

Les effets directs sont en termes de physiologie végétale, c'est l'effet de la pression osmotique, les effets spécifiques des ions ainsi que l'effet d'équilibre ionique.

#### **- Pression osmotique**

L'augmentation de la concentration en sels dans le milieu entraîne une augmentation de la pression osmotique, par conséquent une diminution de la pénétration de l'eau dans les racines (Hayward H. E. and Spurr W. D., 1994). Le résultat est une réduction de la disponibilité de l'eau pour la plante, car dans de nombreux cas les symptômes du stress salin dans le milieu racinaire peut être confus avec les symptômes du stress hydrique.

#### **- Effet spécifique des ions**

Cependant, la pression osmotique ne peut pas fonctionner seule, car les différences, provoquées par les sels ou les hydrates de carbone, n'ont pas eu le même effet sur le niveau de production et le comportement des plantes. De même, un sel particulier peut avoir les mêmes effets sur différentes plantes.

Un milieu dominé par le chlorure de sodium (NaCl), n'a pas le même effet sur la croissance des plantes glycophytes que dans les halophytes: dans le glycophyte, l'ajout de chlorure de sodium au milieu nutritif provoque une réduction rapide et significative de la production (pois, haricot).

D'autre part, l'addition d'un cation au milieu nutritif agit différemment sur la production, et ceci en fonction de la nature de l'anion accompagnateur. C'est ainsi que le sodium réduit beaucoup moins la production de glycophytes si du sulfate est administré à la place du chlorure (Fisher K. J., 1967).

De plus, certains ions toxiques ou perturbateurs de métabolisme peuvent s'accumuler dans le liquide intracellulaire, selon le cas, de telles actions peuvent être toxiques ou perturbatrices à cause des ions qui étaient auparavant présents dans l'environnement racinaire. Dans d'autres cas, ces ions peuvent être nouveaux et aboutir, comme par exemple  $\text{NH}_4^+$ , d'une synthèse perturbée des protéines sous l'effet du stress salin (Berg. V. D., 1973).

### - **Equilibre ionique**

Les effets toxiques des ions sont avant tout le résultat de troubles nutritionnels après un changement important de l'équilibre ionique (Heinman H., 1958).

Le niveau élevé de salinité ne se traduit pas nécessairement par une réduction de la production. Chez les halophytes, le rendement augmente jusqu'au niveau optimal de salinité, d'autant plus élevé que l'espèce est plus résistante aux sels (Bolyn J. H. L., 1974).

L'augmentation de la salinité du milieu affecte les activités enzymatiques, en particulier celles impliquant un transfert d'énergie. L'équilibre hormonal impliquant les auxines, les gibbérellines et les cytokinines est modifié chez les plantes exposées au stress salin (Bolyn J. H. L., 1974).

### **2. 2. 3. Effet de la salinité sur le rendement**

On sait que la salinité entraîne une réduction dans le rendement de la tomate lorsque la CE dépassera 2.5dS/m jusqu'à 3dS/m l'extrait du sol (Faustino et Agtarap, 1996 ; Balibrea et *al*, 1997). Selon les mêmes auteurs, lorsque la salinité est tempérée, le rendement est surtout affecté par le poids des fruits que par leur nombre. Par contre, une salinité élevée affecte en même temps les deux composantes du rendement.

Meiri et Levy (1973) indiquent que le rendement pur obtenu sous condition saline est d'une grande signification économique. Bien qu'on considère le plus souvent sous les conditions salines un rendement relatif car le rendement est contrôlé par l'interaction entre le potentiel génétique de la plante et son environnement pédoclimatique (Katerji, 1995; Wincov, 1998).

Boussaâda est une commune de la wilaya de M'Sila, située à 69 km au sud-ouest de M'Sila et à 241 km au sud-est d'Alger. Boussaâda est aussi surnommée encore « porte du désert » étant l'oasis la plus proche du littoral algérien, elle est située à la périphérie de la Chott avec une superficie de 249.34 Km<sup>2</sup>. Les communes d'El Hamel et d'Oultem dépendent de la daïra de Boussaâda.

### 1. Présentation de la région d'étude

Le Hodna (ou bassin du Hodna) est situé à 200 Km à vol d'oiseau au sud-est d'Alger. Isolé de la mer méditerranéenne par 150 Km de montagnes, il est entouré pas les monts du Hodna au nord, le massif des Aurès à l'est, les monts du Zab au sud-est, ceux de Ouled Nail au sud-ouest et à l'ouest par les hauts plateaux algérois (figure 4). L'ensemble de ce bassin peut être subdivisé en :

- Région montagneuse au nord ;
- Plaine du Hodna ;
- Chott et sebkha au centre ;
- Région du R'mel (sable) au sud du chott.

La zone d'étude se situe au niveau au sud de la sebkha.



Figure 4. Situation géographique du chott El Hodna.

### 1. 2. Géomorphologie

La région est typée par des grandes surfaces planes avec des pentes douces, et ils s'étendent jusqu'aux pieds des montagnes. Ces surfaces est d'âge allant du fin des années trente au début des années quarante récente, appelé Glacis.

Le bassin entier du Hodna peut être divisé en plusieurs terrains confinés :

- Pleines du Hodna ;
- Région montagneuse ;
- Piémont ;
- Chott et Sebkhia ;
- Région du R'mel.

### 1. 3. Climat

Dans le Hodna, le climat joue un grand rôle dans la vie de l'homme, il détermine le modèle de la vie humaine et du matériel pour leur mode de vie. En exigeant par exemple, la migration avec des moyens nécessaire à leur subsistance, leurs troupeaux vers les régions fertiles durant la saison sèche (Dekkiche, 1974).

D'après l'analyse de sont climat, il représente un point de transition entre les plaines humides et les déserts sec. Situé au de-là du Tell maritime et au de-là le désert saharien, il se trouve parfois dans peu de temps sujet à des perturbations qui affectent le bassin occidental de la méditerranée, et ainsi tantôt aux impactes desséchante du désert (Sebhi, 1987).

D'autre part, la région du bassin méditerranéenne est située entre les climats tempérés et tropicaux, et la région du Hodna est sous réserve de l'effet relativement important du climat tropical et équatorial.

Dans la barrière montagneuse au Nord composé par des montagnes de Hodna et de Titteri (1400-1800 m) orthogonales à la circulation atmosphérique général, par conséquent empêcher l'air froid chargé d'humidité d'origine méditerranéenne pour atteindre le haut plateau de Hodna (400-700 m). La région soufferte profondément d'une sécheresse plus sévère provenant du désert là où elle est ouverte en raison de la faible vigueur de l'Atlas saharien peu élevé en particulier au niveau des monts du Zab.

**- Précipitations**

A partir du tableau IV on apostille que les précipitations dans la région de M'sila sont rares et irrégulières repartis selon les saisons, par fois des neiges sur les monts (ONM 2005). Elles variées de 0 à 74.7 mm pendant la période 2000 à 2005. En 2005, elles allant de 0 mm en Mai vers 31.4 en Septembre. On note aussi que 25.2% à 12.7% des précipitations qui tombent de manière différent pendant l'automne et l'hiver. Pour les deux premiers mois des années 2001 jusqu'au 2005, les précipitations sont comparables respectivement.

**Tableau IV.** Répartition des moyens mensuels des précipitations (en mm).

| Mois<br>Année         | Jan  | Fév  | Mar  | Avr  | Mai  | Juin | Juil | Aout | Sep  | Oct  | Nov  | Déc  | Cumuls<br>annuel<br>(mm) |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| <b>2000</b>           | 0    | 0    | 4,8  | 3,1  | 24,5 | 1,7  | 1,3  | 1,6  | 54,3 | 15,0 | 6,6  | 30,6 | 143,5                    |
| <b>2001</b>           | 24,7 | 2,2  | 5,3  | 25,4 | 0    | 0    | 0    | 4,6  | 44,6 | 16,9 | 14,5 | 18,3 | 156,5                    |
| <b>2002</b>           | 10,5 | 5,9  | 1,3  | 4,7  | 4,6  | 2,3  | 2,3  | 15,8 | 8,6  | 15,9 | 25,6 | 12,8 | 108                      |
| <b>2003</b>           | 74,7 | 10,7 | 2,9  | 17,9 | 28,9 | 27,7 | 2,3  | 2,6  | 46,8 | 83   | 28,8 | 24,7 | 351                      |
| <b>2004</b>           | 4,4  | 5,0  | 31,1 | 35,6 | 74,8 | 9,7  | 1,5  | 28,9 | 14,1 | 8,3  | 15,2 | 27   | 255,6                    |
| <b>2005</b>           | 0,6  | 18,0 | 5,8  | 5,7  | 0    | 7,0  | 3,5  | 2,8  | 31,4 | 15,9 | 27,5 | 6,3  | 124,5                    |
| <b>Moyen<br/>(mm)</b> | 23,4 | 9,7  | 11,6 | 20,8 | 27,2 | 8,8  | 1,8  | 9,6  | 33,8 | 23,4 | 20,8 | 22,0 | 209,4                    |

**- Les vents**

Dans la région de Hodna les vents soufflent Durant toute l'année avec une vitesse moyenne annuelle 1,8 (m/s). Durant l'hiver les vents sont froids et humides provenant de nord et de nord-ouest, pendant la période estivale les vents sont chauds et secs provenant sud saharien.

## Chapitre II. Matériel et méthode

En générale, sur toute la région de Hodna découle sur des masses d'air à partir de méditerranée occidentale. Ces vents d'ouest et de Nord-ouest s'introduisent à travers les vallées d'oued El Ham. Les vents du nord-ouest pénètrent à travers le bassin hodnéenne à travers les couloires de Ngaous et Seggana, par la suite s'orientent vers Biskra.

Pendant la saison estivale le sirocco qui un vent chaud et sec, d'origine saharienne, là ou le relief est très peut élever pour intercepter ces vents du sud. Ce vent coïncidence est le résulte d'une augmentation brusque de la température et d'une diminution non seulement rapide du degré d'humidité d'où une forte évaporation.

**Tableau V.** Moyen mensuelle des vitesses de vent moyen (en m/s).

| Mois<br>Année  | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Aout | Sept | Oct | Nov | Déc | Annuel<br>(m/s) |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----------------|
| Moyen<br>(m/s) | 1,6 | 1,9 | 1,9 | 2,4 | 2,1 | 2,0  | 2,1  | 1,8  | 1,7  | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 1,8             |

### - Les températures

La température joue un rôle très important dans l'évolution hydrologique et la caractérisation du climat d'une région donnée.

La caractéristique de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minimums et des maximums, la moyenne mensuelle, le minimum absolu et le maximum absolu ainsi que l'amplitude thermique (Djebailli, 1984).

Le tableau VI montre que le système thermique de la région est caractérisé par des températures estivales élevées et des températures hivernales relativement basses. La température minimale enregistrée est 3,4 °C en janvier et la température maximale est de 38,7 °C en Juillet. Les températures les plus élevées ont été enregistrées pendant les mois de juillet et d'août, où il atteint un maximum de 31,8 °C, ce qui correspond à l'extrême évaporation et la remontée capillaire de la nappe phréatique. Les basses températures se manifestent aux mois de Janvier avec une température moyenne de 8,6 °C.

## Chapitre II. Matériel et méthode

**Tableau VI.** Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales (en °C).

|                            | Jan  | Fév  | Mar  | Avr  | Mai  | Jui  | Juil | Aou  | Sep  | Oct  | Nov  | Déc  | Annuel |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| <b>T<sub>min</sub>(°C)</b> | 3,4  | 4,3  | 8,1  | 11,2 | 16,4 | 21,7 | 24,9 | 24,3 | 19,3 | 14,7 | 8,3  | 4,9  | 13,5   |
| <b>T<sub>max</sub>(°C)</b> | 13,8 | 16,1 | 20,9 | 23,6 | 29,1 | 35,4 | 38,7 | 37,8 | 31,7 | 26,3 | 18,7 | 14,4 | 25,6   |

**Tableau VII.** Moyen mensuelle des températures moyennes (en °C).

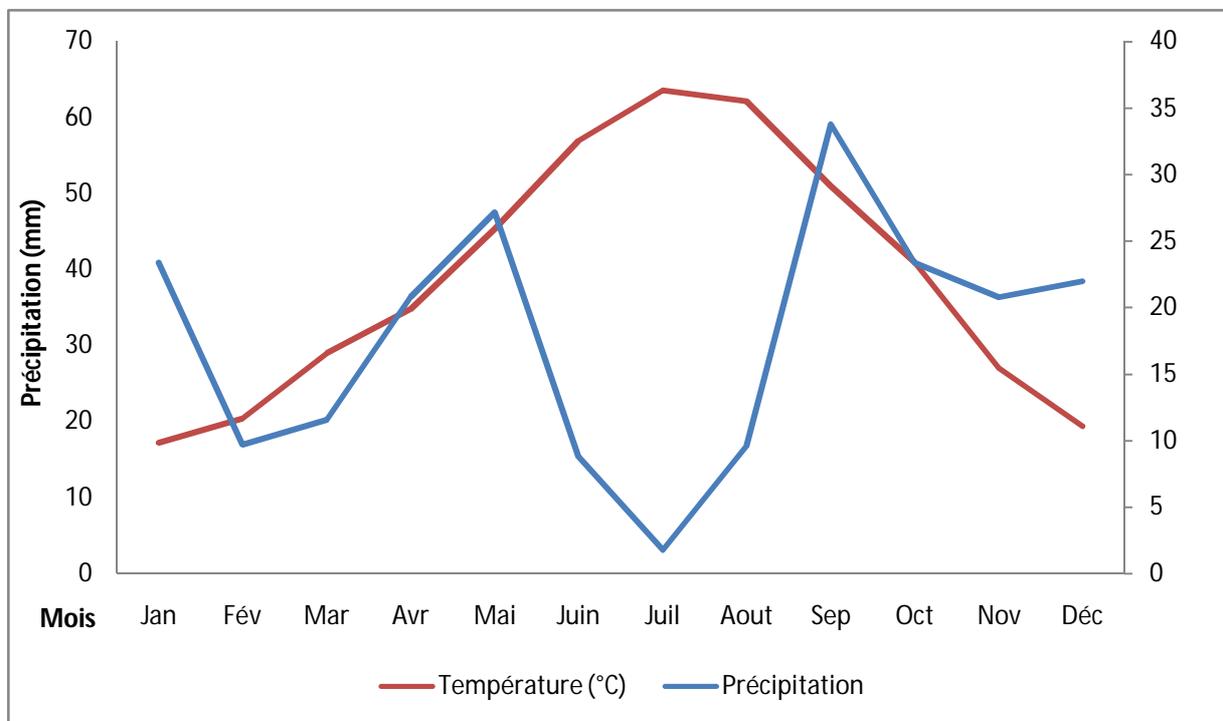
| Mois<br>Année         | Jan | Fév  | Mar  | Avr  | Mai  | Juin | Juil | Aou  | Sep  | Oct  | Nov  | Déc  | Annuel<br>(°C) |
|-----------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| <b>2000</b>           | 6,6 | 10,8 | 15   | 18,1 | 25,1 | 27,9 | 32,4 | 31   | 26,3 | 18,8 | 14,3 | 10,7 | 19,8           |
| <b>2001</b>           | 9,2 | 10,3 | 17,6 | 17,7 | 22,1 | 29,3 | 32,3 | 31,8 | 26,1 | 23,8 | 13,4 | 8,6  | 20,3           |
| <b>2002</b>           | 8,4 | 11,4 | 15,5 | 18,1 | 23   | 29,2 | 31,5 | 30,0 | 25,4 | 20,9 | 14,5 | 11,2 | 20,3           |
| <b>2003</b>           | 8,9 | 8,8  | 14,2 | 18,1 | 23,5 | 29,9 | 31,5 | 30,0 | 25,4 | 20,9 | 14,5 | 11,2 | 20             |
| <b>2004</b>           | 9   | 11,6 | 14,3 | 15,6 | 18,1 | 26,7 | 30,9 | 32,1 | 25,5 | 21,7 | 12,2 | 9,6  | 19             |
| <b>2005</b>           | 6,7 | 7,4  | 14,8 | 18,1 | 25,8 | 29,1 | 33,5 | 30,7 | 24,8 | 20,9 | 12,9 | 8,7  | 19,5           |
| <b>Moyen<br/>(°C)</b> | 8,6 | 10,2 | 14,5 | 17,4 | 22,7 | 28,5 | 31,8 | 31,1 | 25,5 | 20,5 | 13,5 | 9,7  | 19,5           |

### 1. 3. 1. Synthèse climatique

Les données dans les tableaux III et IV nous permettent de tracer le graphe ombrothermique de Gaussen. Ceci est un moyen graphique pour déterminer les temps sec et humide au cours de l'année, où sont portés sur l'axe des abscisses les mois et sur l'axe des ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec  $P=2T$ .

Gaussen considère l'intersection des deux courbes détermine la saison sèche ( $P \text{ mm} \leq 2T \text{ }^\circ\text{C}$ ) et la saison humide ( $P \text{ mm} > 2T \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Dajoz, 1971. Amichi, 2010).

Analyse du diagramme montre que la période sèche dure cinq mois de l'année, dont février, mars et juin, juillet, août. Elle est plus accentuée en été (Figure 5).



**Figure 5.** Diagramme ombrothermique de Gaussen de la période 1996-2005 de la région de M'sila.

### 1. 3. 2. Classification du climat

Il existe trois différents étages bioclimatiques dans la région :

### **- Etage semi-aride (aride supérieur)**

Il est caractérisé par une période de sécheresse de 4 à 5 mois par ans et une pluviométrie annuelle de 300 à 400 mm.

Ce secteur n'implique pas le bassin Hodnéenne. Il comprend principalement la zone montagneuse de l'atlas Tellien (Monts du Hodna, massif des Belezma) au Nord et à l'est, aussi les monts de Ouled Naïl au Sud-ouest.

### **- Etage subaride**

Il correspond à une grande partie du bassin Hodnéenne qui couvre à la fois les contreforts et les collines au Nord de la Sebkha. La pluviométrie varie entre 200 et 300 mm par ans, les précipitations varient de 200 à 300 mm par an, avec la fluctuation de la saison sèche entre 5 et 9 mois. La limite supérieure de cette région suivie sur les pentes Sud de montagne de l'Atlas Tellien.

On distingue deux sous étages :

- Sous étage Subaride sévère, qui se caractérise par une pluviométrie annuelle de 200 à 250 mm pour 40 à 45 jours de pluie et une période de 8 à 9 mois de sécheresse. C'est le domaine de la steppe pure.
- Sous étage Subaride peu sévère, qui se caractérise par une pluviométrie annuelle de 250 à 300 mm distribué sur 70 à 80 jours et 5 à 6 mois sec.

### **- Etage aride subdésertique (aride inférieur)**

Il couvre principalement la zone de Sebkha et R'mel. Mettant en vedette une sécheresse presque permanente avec 11 à 12 mois secs, les précipitations annuelles sont inférieures à 150 mm par an et la température annuelle de 20 à 22°C.

La région du Hodna est balisée par l'aridité simultanément avec des risques locaux. Les précipitations concentrent dans le semestre le plus froid de l'année (de Novembre à Avril), le reste de l'année est sec. Des changements fondamentaux des précipitations d'une année à l'autre forment le connexe majeur du climat.

### 1. 4. Classification des sols

La répartition des terres dans la région du Hodna est liée avec les phénomènes pédologiques qui changent en direction nord-sud, ces phénomènes sont :

#### 1. 4. 1. La calcimorphie

Il s'agit non seulement augmenter le taux de calcaire, mais aussi les différentes formes de calcaire exister. Les formes observées sont les suivants :

- Croûte calcaire : elle est caractéristique des glacis anciens et moyens.
- Encroutement calcaire : cette forme est liée à des glacis anciens et moyens.
- Amas et nodules calcaires : ils caractérisent beaucoup plus les glacis moyens.
- Calcaires diffuse : il est caractéristique des glacis récents.

#### 1. 4. 2. Gypsomorphie

L'accumulation de gypse dans le sol dans le bassin ont des origines différentes, il se présente sous plusieurs formes :

Croûte et encroûtement gypseux : sur les glacis anciens et moyen avec une nappe phréatique profonde.

Accumulation de gypse de la nappe : sur les limites du Chott et surtout nappe phréatique se trouve de 2 à 7 cm de profondeur.

Sable gypseux : ce sont des dunes stabilisées aux tours de la Sebkha.

Amas et cristaux de gypse : dans la partie moyenne ou basse au-dessous d'un horizon d'accumulation de calcaire au-dessous d'un horizon argileux.

#### 1. 4. 3. Halomorphie (accumulation des sels a comme les origines)

Origines lithologiques : les marnes gypseuses riches en sels dissous qui affleurent sur les pentes donnent naissance après altération, dans un climat semi-aride à des sols très fortement salins.

Origines en rapport avec les eaux de la nappe phréatique : l'accumulation des sels dans le sol est en fonction de profondeur de la nappe et en fonction de la composition chimique de leurs eaux.

Origines en rapport avec les eaux d'irrigation : on le trouve dans les périmètres irrigués du Ksob ainsi dans les régions d'épandage de crues.

Origine éolienne : dans le Chott et la Sebkha on rencontre des nebkas et des micro-nebkas de pseudo-sable énormément salines.

L'accumulation des sels est plus grande près de la surface du sol.

Origine biologique : la teneur élevée en sodium  $\text{Na}^+$  et en chlorure  $\text{Cl}^-$  dans certaines plantes du Hodna servent à augmenter la concentration des sels solubles dans le sol.

### **1. 4. 4. Vertisolisation**

Ces phénomènes pédologiques sont en rapport avec les produits d'altération et la géomorphologie. Ainsi la vertisolisation se manifeste dans les plaines du Hodna sur des glacières rhabbiennes constituées des produits d'altération des marnes.

### **1. 4. 5. Steppisation**

Il survient sur des glacières récentes, ces glacières sont recoupées par des rigoles de 5 cm de profondeur sur l'amont et rétrécissent progressivement sur l'aval pour atteindre la zone d'accumulation des sels.

La stéppisation est caractéristique du paysage lorsque la nappe phréatique se trouve à une profondeur supérieure à 7 m.

### **1. 4. 6. Désertification**

L'accumulation de terre de sable de dimension variable associée à des collines rocheuses isolées et des glacières encroûtées forme le paysage de la région du R'mel qui subit cette forme de désertification. De plus, le sable a commencé à déborder des plaines du Hodna où il s'accumule sous forme de nebkas et micro monticules.

### 1. 4. 7. Zonalité pédologique

Les études pédologiques (FAO, 1974) ont conduit à diviser la région du Hodna en un grand compartiment pédologique comme suite :

- Zone montagneuse xérique : comprend une partie des monts du Hodna (Dj. Boutaleb) les sols de cette zone sont inapte pour l'agriculture en raison de leur faible profondeur et de leur relief, ils sont recommander pour le reboisement.
- Zone steppique de dépôt quaternaire ancien et moyen : cette zone est située au paravent au Sud des monts du Hodna s'étendant jusqu' au Nord du Chott. On y trouve des sols sur croûtes calcaires, à encroûtement calcaire, nodule calcaire, gypseux, minéraux bruts.
- Zone steppique des dépôts alluviaux récents : elle se trouve au sud de la région précédente et arrive jusqu'à la limite méridionale du Chott. Les sols sont de types évolué est peu évolué, d'apport alluviale verticale, hydromorphe ou salin.
- Zone sub-désertique argileuse du Chott et de la sebkha : les sols de la sebkha sont fortement salinisés et irrécusable, dans le chott et à la périphérie de la zone, les sols sont moins salinisés.
- Zone Sub-désertique sableuse : cette zone est limité au nord par le chott et au sud par les monts de l'Atlas saharien. Les sols les plus fréquents sont des sols minéraux bruts xériques inorganisés, des sols peu évolués d'apport alluvial et des sierozems modaux.

### 1. 5. Hydrologie

Le bassin versant est drainée vers le Chott et la Sebkha par plusieurs oueds et cours d'eau (El Ham, Souballa, Ksob, Barika, M'sif). Le ruissèlement annuelle moyen est de 2 à 10 % des pluviométries annuelle ; lorsque l'intensité des précipitations augmente ce pourcentage peut atteindre 30 %.

### 2. Méthodologie

L'objectif de cette étude consiste à une caractérisation de l'état de salinité de trois sols d'une topo-séquence, qui se trouvent dans la région du Hodna. Il s'agit de caractériser la solution des sols, de définir les profils de distribution des sels dans les sols, de déterminer les facies chimiques des solutions des sols et expliquer le fonctionnement salin de ces derniers.

## Chapitre II. Matériel et méthode

Nous avons étudiés trois sondages (S) (S1, S2 et S3). A partir de chaque sondage un échantillon de sol a été prélevé tout les 30 cm (tableau VIII) jusqu'à une profondeur de 1,5 m. Ainsi, le nombre d'échantillons par sondage est de 5 échantillons, d'où un total de quinze (15) échantillons.

Le sondage 1 se situe dans la partie amont de la topo-séquence, par contre le sondage 2 et 3 se localisent dans la partie aval de la topo-séquence

De ce fait, nous avons étudié 5 niveaux de profondeur pour chacun. Le choix de 30 cm reste un choix délibéré du fait qu'il n'y a pas eu une description complète de sondages.

**Tableau VIII.** Profondeurs des prélèvements

| Niveaux  | Profondeurs (cm) |
|----------|------------------|
| Niveau 1 | 0-30             |
| Niveau 2 | 30-60            |
| Niveau 3 | 60-90            |
| Niveau 4 | 90-120           |
| Niveau 5 | 120-130          |

Les données utilisées ont été extraits d'une base de données pédologique englobant des études d'inventaire pédologique réalisées dans la région Nord de l'Algérie.

### 2. 1. Analyses du sol

Pour le sol les méthodes d'analyses utilisées sont :

- L'analyse granulométrique : tamisage ;
- La conductivité électrique (pâte saturée) : méthode électrique ;
- Le pH : extrait (1/2.5) ;
- Calcaire total : méthode volumétrique au calcimètre de Bernard ;
- Le gypse : dosage par attaque puis précipitation, par le chlorure de baryum.

### 2. 2. Analyses de la solution du sol

- La conductivité électrique (CE): méthode électrique ;
- Les sulfates : méthode gravimétrique par précipitation (chlorure de baryum) ;
- Les carbonates et les bicarbonates : méthode volumétrique, dosage par une solution acide ;
- Les chlorures : méthode volumétrique au nitrate d'argent ;

## Chapitre II. Matériel et méthode

---

- Le sodium et le potassium : par photométrie de flamme.
- Le calcium et le magnésium : par photométrie d'absorption atomique.

Les valeurs de la CE (extrait dilué 1/5) ont été transformés en valeurs de CE (pâte saturée), car cette dernière constitue une méthode de référence pour l'interprétation des degrés de la salinité (tableau VIII). De ce fait, nous avons utilisé l'équation suivante  $sp = 7.98 * z$  (Sonmez et al.2008).

**SP** : Valeur de l'extrait de pâte saturée

**z** : Valeur de la CE de l'extrait dilué (1/5)

Cette formule est valable pour les sols salés à texture sableuse.

## Chapitre II. Matériel et méthode

**Tableau IX.** Classes de salinités en fonction de la CE de l'extrait de pâte saturée à 25 °C.

| CE ds/m              |           |                  |     |                  |           |                 |                |                     |  |            |      |    |
|----------------------|-----------|------------------|-----|------------------|-----------|-----------------|----------------|---------------------|--|------------|------|----|
| Classification       | 0         | 2                | 2.5 | 4                | 5         | 8               | 10             | 15                  | 16   | 20         | 27.5 | 40 |
| <b>USSL (1954)</b>   | Non Salin | Faiblement Salin |     | Salinité Modérée |           | Fortement salin |                |                     | Très fortement salé<br>(Excessivement salés) |            |      |    |
| <b>CPCS, 1967</b>    | Non Salé  | Phase Saline     |     |                  | Sol Salin |                 |                |                     |  |            |      |    |
| <b>Servant, 1975</b> | Non Salé  | Faiblement Salé  |     | Moyennement Salé |           | Salé            | Fortement salé | Très fortement Salé | Excessivement salé                           | Hyper Salé |      |    |
| <b>Durant, 1958</b>  | Non Salin | Faiblement Salin |     | Salinité modérée |           | Salin           |                |                     | Très Salin                                   |            |      |    |

Afin de mieux interpréter les résultats, nous avons adopté une méthode statistique celle des corrélations, entre la conductivité électrique et les différents paramètres chimiques de la solution du sol à l'aide du logiciel Excel-stat.

## Chapitre III. Résultats et discussion

Le présent chapitre est consacré à la présentation et la discussion des résultats analytiques des sols étudiés. Cette étude a pour but de caractériser l'évolution spatio-temporelle de la salinisation des sols à l'échelle de trois sondages.

### 1. Analyse des constitutions du sol

#### 1. 1. Analyse des constitutions du sol du sondage 1

Les paramètres analysés sont présentés dans le tableau X

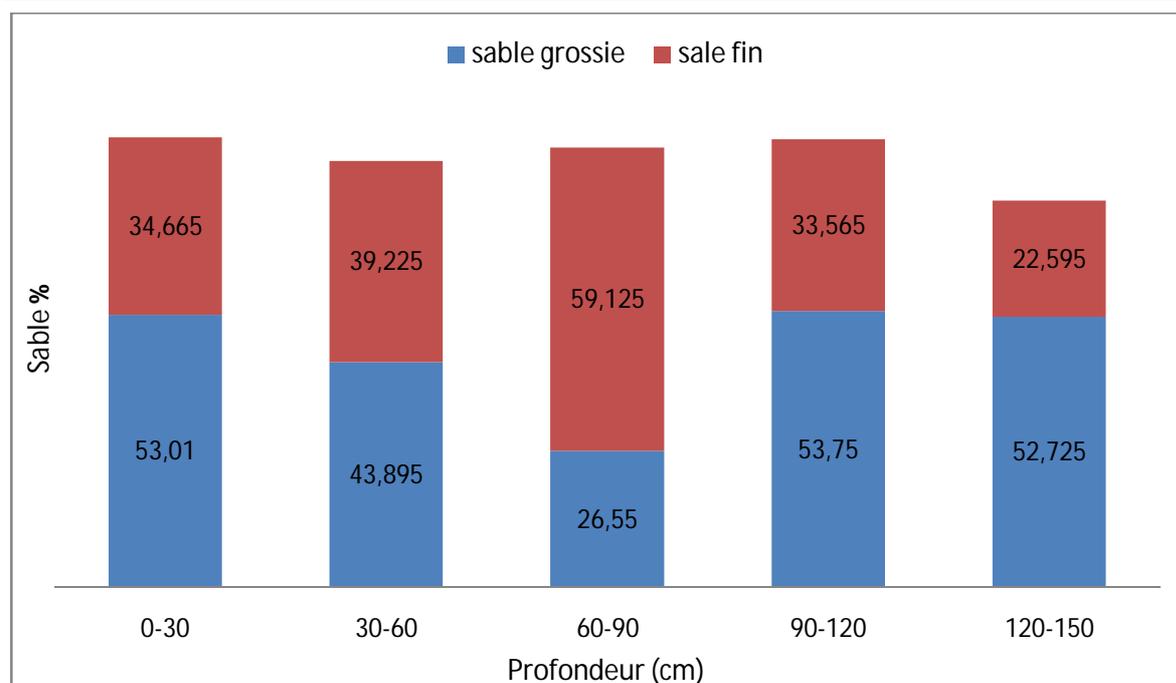
**Tableau X.** Résultats analytiques des constituants de sols du sondage 1

| Sondage 1               | Profondeur (cm) | Sables fins (%) | Sables grossiers (%) | Calcaire total (%) | Gypse (%) |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|--------------------|-----------|
| 1 <sup>er</sup> niveau  | 0-30            | 34,66           | 53,01                | 4,7                | 15        |
| 2 <sup>eme</sup> niveau | 30-60           | 39,22           | 43,89                | 3,83               | 22        |
| 3 <sup>eme</sup> niveau | 60-90           | 59,12           | 26,55                | 3,57               | 30        |
| 4 <sup>eme</sup> niveau | 90-120          | 33,56           | 53,75                | 3,65               | 35        |
| 5 <sup>eme</sup> niveau | 120-150         | 22,59           | 52,72                | 4,04               | 20        |

#### - La granulométrie

La connaissance de la composition granulométrique des sols salés est primordiale. Cependant, la texture et la structure du sol agissent sur le processus de salinisation selon son pouvoir drainant. Ainsi, un sol à texture grossière, perméable et bien drainant est très peu affecté par la salinisation. De ce fait, les phénomènes de lixiviation des sels en profondeur est très fréquent. En revanche, les sols lourds, peu perméables et de texture fine présentent des problèmes d'hydromorphie et de salinisation.

Le tableau X et la figure 6 montrent que la composition granulométrique des différents niveaux est dominée par les sables grossiers ( $53,75 > \text{sables grossiers}(\%) > 43,89$ ). Seul, le troisième niveau enregistre une dominance des sables fins (59,12%) (Figure 6). D'une manière générale, la texture du sol étudié est constituée essentiellement de sable grossier.



**Figure 6.** Histogramme de la granulométrie du sondage 1.

### - Le calcaire total

Les teneurs en carbonate de calcium sont homogènes au niveau du profil ( $3,57\% < \text{CaCO}_3 < 4,04\%$ ). Le sol, est non calcaire (tableau X).

### - Le gypse

La teneur du gypse varie entre 15 et 35% dans l'ensemble des niveaux. Le sol est considéré comme étant gypseux (tableau X).

## 1. 2. Analyse des constitutions du sol du sondage 2

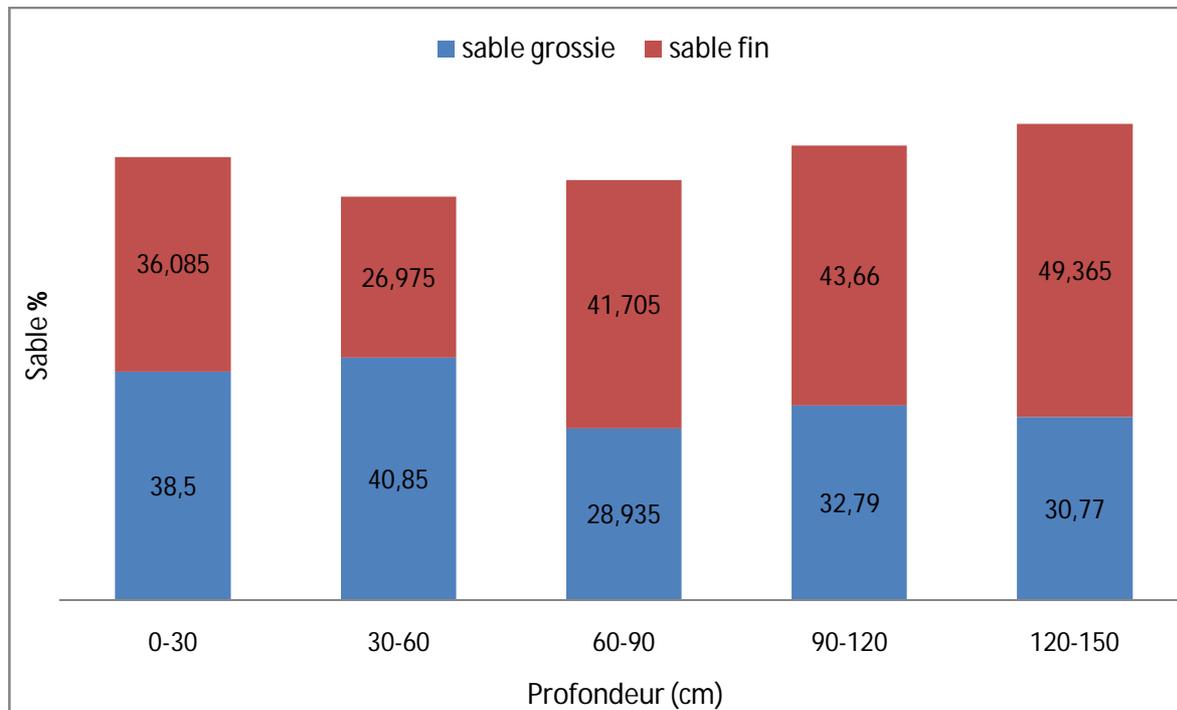
Les paramètres analysés du sondage 2 sont présentés dans le tableau XI

**Tableau XI.** Résultats analytiques des constituants du sol du sondage 2

| Sondage 2               | Profondeur (cm) | Sables fins (%) | Sables grossiers (%) | Calcaire total (%) | Gypse (%) |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|--------------------|-----------|
| 1 <sup>er</sup> niveau  | 0-30 cm         | 36,08           | 38,5                 | 0,25               | 15        |
| 2 <sup>eme</sup> niveau | 30-60 cm        | 26,97           | 40,85                | 0,73               | 16        |
| 3 <sup>eme</sup> niveau | 60-90 cm        | 41,7            | 28,93                | 0,91               | 25        |
| 4 <sup>eme</sup> niveau | 90-120 cm       | 43,66           | 32,79                | 2,33               | 30        |
| 5 <sup>eme</sup> niveau | 120-150 cm      | 49,36           | 30,77                | 2,39               | 15        |

### - La granulométrie

Nous remarquons que la fraction granulométrique prédominante c'est la fraction des sables fins pour les niveaux 3, 4 et 5 (figure 7 et tableau XI). En revanche, les niveaux 1 et 2 sont dominés par la fraction des sables grossiers qui sont respectivement 38,5 et 40,85% (figure 7 et tableau IX).



**Figure 7.** Histogramme de la granulométrie du sondage 2.

### - Le calcaire total

Les teneurs en carbonate de calcium sont faibles dans l'ensemble des niveaux. Ces valeurs varient entre 0,25% et 2,39%. Le sol étudié n'est pas calcaire (tableau XI).

### - Le gypse

Les teneurs en gypse sont faibles dans l'ensemble des niveaux, ses valeurs oscillent entre 15 et 30% (tableau XI). Ces résultats montrent que le sol étudié est gypseux.

### 1. 3. Analyse des constitutions du sol du sondage 3

Les paramètres analysés du sondage 3 sont présentés dans le tableau XII.

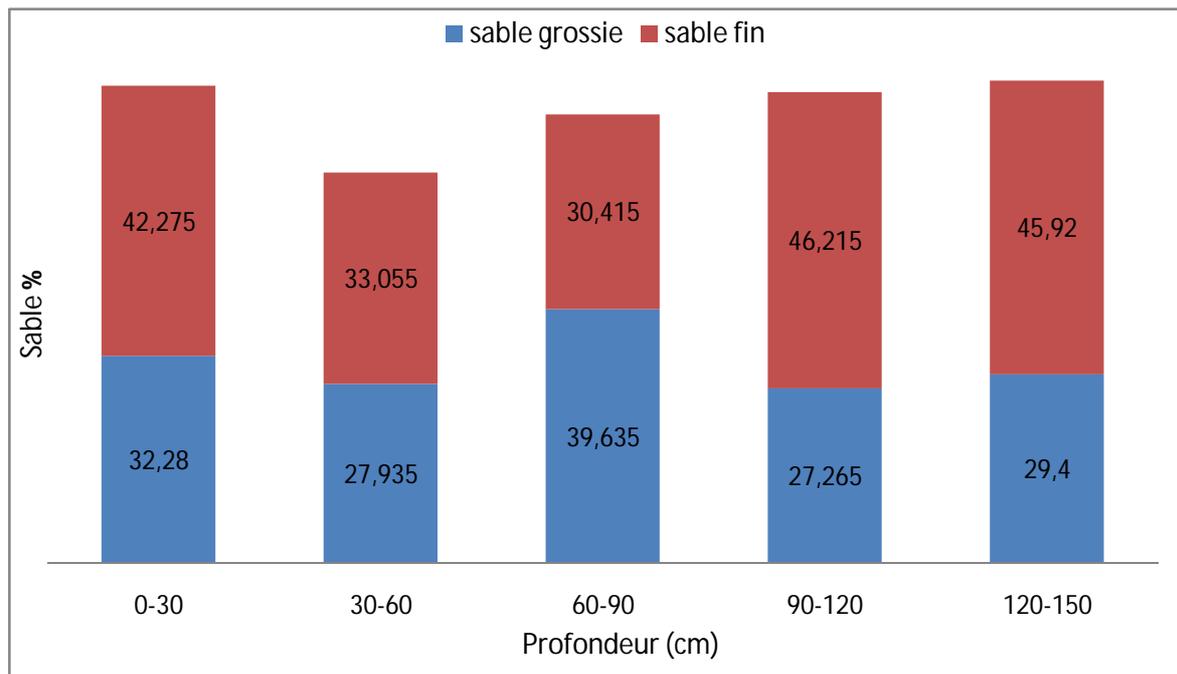
## Chapitre III. Résultats et discussion

**Tableau XII.** Résultats analytiques des constituants du sol du sondage 3

| Sondage 3               | Profondeur (cm) | Sables fins (%) | Sables grossiers (%) | Calcaire total (%) | Gypse (%) |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|--------------------|-----------|
| 1 <sup>er</sup> niveau  | 0-30 cm         | 42,275          | 32,28                | 0,35               | 5         |
| 2 <sup>ème</sup> niveau | 30-60 cm        | 33,055          | 27,935               | 1,09               | 10        |
| 3 <sup>ème</sup> niveau | 60-90 cm        | 30,415          | 39,635               | 0,33               | 25        |
| 4 <sup>ème</sup> niveau | 90-120 cm       | 46,215          | 27,265               | 0,48               | 30        |
| 5 <sup>ème</sup> niveau | 120-150 cm      | 45,92           | 29,4                 | 0,61               | 10        |

### - La granulométrie

Les résultats granulométriques tableau XII et figure 8 montrent une dominance des sables fins ( $33,05 < \text{sables fins (\%)} < 46,21$ ). Exception faite pour le niveau 3 où les sables grossiers constituent une dominance (39,63%) au détriment des sables fins (30,41%).



**Figure 8.** Histogramme de la granulométrie du sondage 3.

### - Calcaire total

Les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  varient peu dans le sol, elles oscillent entre 1,09 % et 0,33 % (tableau XII). La distribution de ces carbonates de calcium est pratiquement homogène dans le sol. D'une manière générale, ce dernier est non calcaire.

### - Le gypse

Les teneurs en gypse dans le sol sont très faibles; elles varient entre 5% et 30% (tableau XII). Ces résultats montrent que le sol est gypseux. D'une manière générale, le gypse est fortement présent dans la région (Dekiche, 1973).

### 2. Analyse de la solution du sol

#### 2. 1. Analyse de la solution du sol du sondage 1

Les paramètres analysés sont présentés dans le tableau XIII.

**Tableau XIII.** Caractéristiques analytiques de la solution du sol du sondage 1.

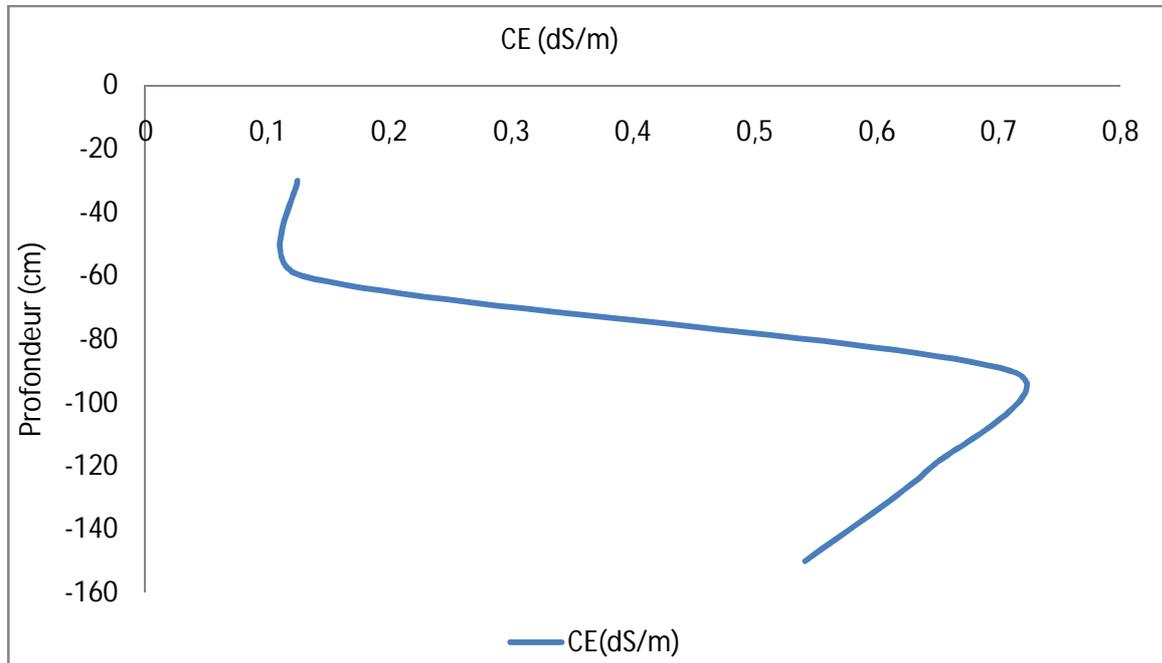
| Sondage<br>1               | CE <sub>1/5</sub><br>(dS/m) | CE <sub>PS</sub><br>(dS/m) | pH   | Ca <sup>2+</sup><br>(méq/l) | K <sup>+</sup><br>(méq/l) | Mg <sup>2+</sup><br>(méq/l) | Na <sup>+</sup><br>(méq/l) | Cl <sup>-</sup><br>(méq/l) | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(méq/l) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(méq/l) |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|--|
| 1 <sup>er</sup><br>niveau  | 0,12                        | 0,7                        | 8,78 | 11,70                       | 0,03                      | 0,17                        | 0,48                       | 0,25                       | 1,4                                      | 11,35                                    |
| 2 <sup>eme</sup><br>niveau | 0,13                        | 0,72                       | 8,75 | 17,15                       | 0,45                      | 0,41                        | 0,86                       | 0,75                       | 1,3                                      | 11,51                                    |
| 3 <sup>eme</sup><br>niveau | 0,71                        | 5,5                        | 8,69 | 18,11                       | 0,11                      | 0,64                        | 1,16                       | 2,25                       | 0,5                                      | 16,99                                    |
| 4 <sup>eme</sup><br>niveau | 0,65                        | 5                          | 8,78 | 25,24                       | 0,73                      | 0,94                        | 1,22                       | 2,25                       | 0,4                                      | 15,57                                    |
| 5 <sup>eme</sup><br>niveau | 0,54                        | 5,11                       | 8,60 | 30,56                       | 0,05                      | 0,75                        | 1,03                       | 2,25                       | 0,7                                      | 26,19                                    |

PS : pâte saturée

### - La salinité

La distribution des sels en fonction de la profondeur (tableau XIII et figure 9) montre une forte salinité au niveau de la partie médiane du sondage (CE=5,5dS/m). La salinité est faible à la surface avec une conductivité électrique qui varie de 0,7 à 0,72 dS/m. Cette faible salinité serait dû à une lixiviation des sels suite aux dernières irrigations, et qui se seraient accumulés au niveau de la partie médiane provoquant augmentation de la salinité (CE=5,5dS/m). De même, il faut noter que ce maximum de salinité correspond également à la partie du sol la plus riche en sable fin. Les sables fins sont les plus affectées par le phénomène de salinisation comparativement aux sables grossiers. Cette salinité maximale diminue sensiblement pour

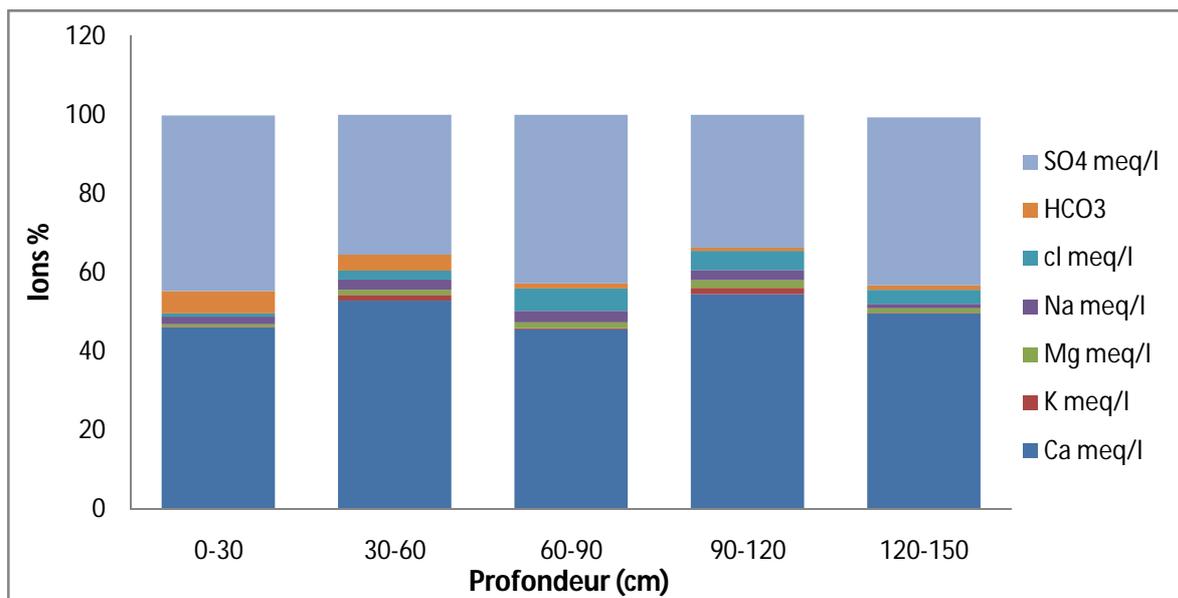
atteindre une valeur de 5,11dS/m. Ce résultat indique que le profil salin est de type convexe (figure 9). D'après les normes de l'USSS, 1954 les niveaux 1 et 2 ne sont pas salés, contrairement aux niveaux 3, 4 et 5 qui sont considérés comme étant salés.



**Figure 9.** Distribution des sels en fonction de la profondeur du sondage 1.

**- pH**

Les valeurs du pH varient entre 8,6 et 8,78 (tableau XIII). En général, le pH varie peu dans le sol en question, et la réaction du sol est alcaline.

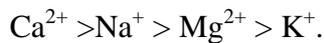


**Figure 10.** Histogramme des ions existant dans la solution du sol du sondage 1.

**- Les cations**

Parmi tous les cations de la solution du sol (tableau XIII et Figure 10), le cation  $\text{Ca}^{2+}$  est le plus représenté avec un taux moyen de 50,02% et une concentration qui varie entre 11,70 et 30,25 méq/l. Le  $\text{Na}^+$  vient en deuxième position avec un taux de 2,31% avec des teneurs qui varient entre 0,48 et 1,22 méq/l. Le  $\text{Mg}^{2+}$  se situe en troisième position avec un taux de 1,42% et des concentrations qui varient entre 0,17 et 0,94 méq/l, alors que le  $\text{K}^+$  vient en dernière position avec un taux de 0,7%, et des teneurs qui varient entre 0,03 et 0,73 méq/l.

De ce fait, le classement des cations selon, leur prédominance, est de type :



**- Les anions**

Au milieu de tous les anions de la solution du sol (tableau XIII et Figure 10), l'anion  $\text{SO}_4^{2-}$  domine avec un taux moyen de 39,72% et une concentration qui varie entre 11,37 et 30,27 méq/l, ainsi le  $\text{Cl}^-$  est classé en deuxième position avec un taux de 3,77% et une concentration qui varie entre 0,25 et 2,25 méq/l, ainsi le  $\text{HCO}_3^-$  qui vient en troisième position avec des teneurs qui varient entre 0,4 et 1,4 méq/l et un taux de 2,09%.

De se fait, le classement des anions selon, leur prédominance, est de type :



**2. 2. Analyse de la solution du sol du sondage 2**

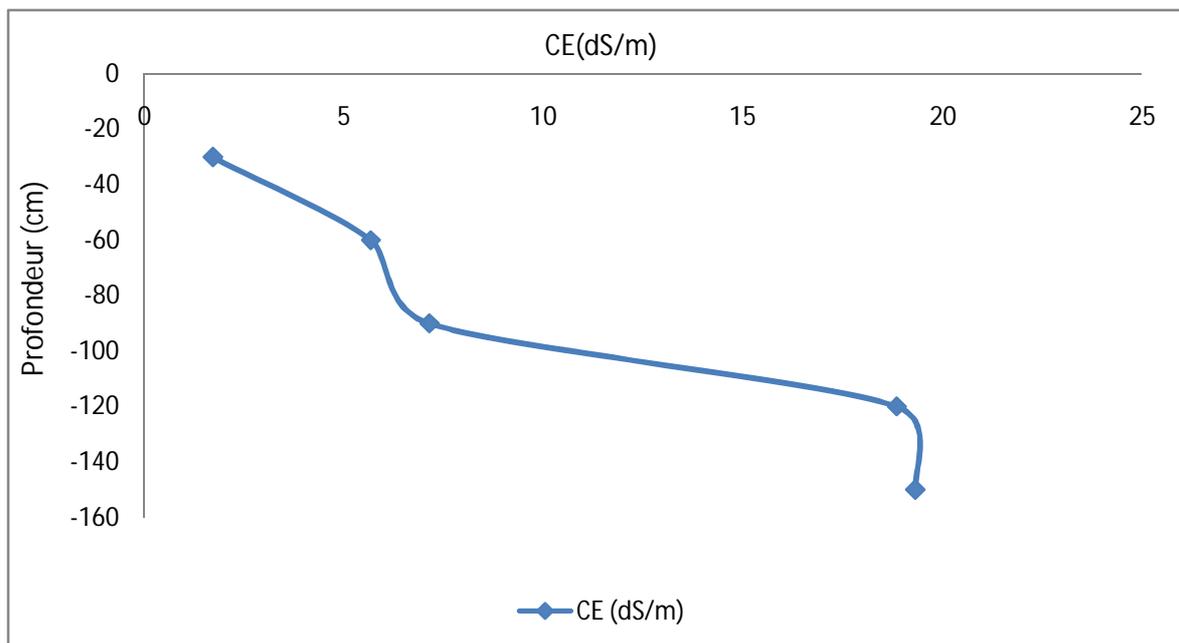
Les résultats sont représenté dans le tableau suivant :

**Tableau XIV.** Caractéristiques analytiques de la solution du sol du sondage 2.

| Sondage 2               | $\text{CE}_{1/5}$ (dS/m) | $\text{CE}_{\text{ps}}$ (dS/m) | pH   | Ca (méq/l) | K (méq/l) | Mg (méq/l) | Na (méq/l) | Cl (méq/l) | $\text{HCO}_3$ (méq/l) | $\text{SO}_4$ (méq/l) |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------------------|-----------------------|
| 1 <sup>er</sup> niveau  | 0,25                     | 1,74                           | 8,31 | 3,63       | 0,12      | 0,33       | 0,43       | 0,75       | 0,9                    | 2,86                  |
| 2 <sup>eme</sup> niveau | 0,73                     | 5,69                           | 7,98 | 7,79       | 0,19      | 0,31       | 0,63       | 1          | 0,4                    | 11,94                 |
| 3 <sup>eme</sup> niveau | 0,91                     | 7,16                           | 7,75 | 9,03       | 0,23      | 0,40       | 0,64       | 0,75       | 0,5                    | 12,54                 |
| 4 <sup>eme</sup> niveau | 2,34                     | 18,86                          | 7,53 | 11,35      | 0,15      | 0,77       | 0,99       | 1,75       | 0,5                    | 9,54                  |
| 5 <sup>eme</sup> niveau | 2,39                     | 19,32                          | 7,82 | 5,77       | 0,31      | 0,52       | 1,17       | 1,75       | 0,7                    | 14,51                 |

### - La salinité

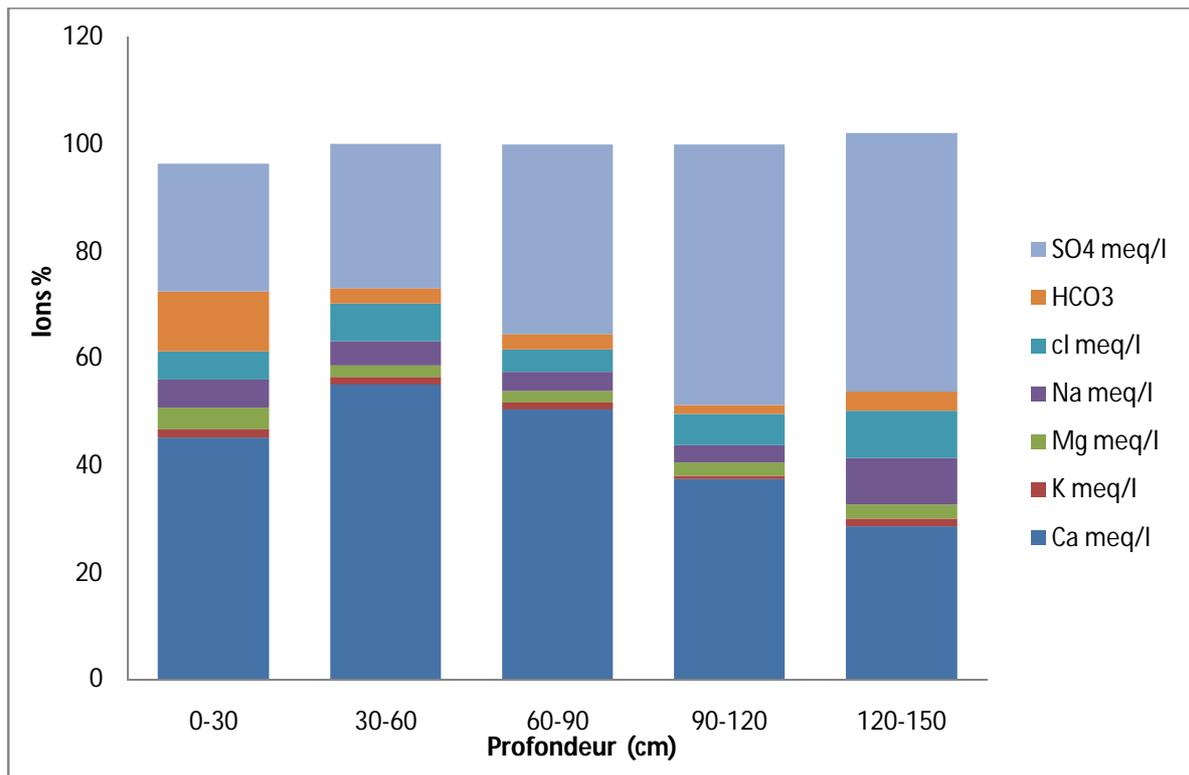
La distribution des sels en fonction de la profondeur (tableau XIV, figure 11) montre une forte salinité au niveau de dernier horizon (CE=19,32 dS/m). La salinité est faible sur la surface seras dû à la lixiviation des sels par les dernières irrigations, et que ces derniers vont être accumulés au dernier horizon se qui provoque une forte salinité (CE=19,32 dS/m). Notamment il faut noter que la salinité élevée correspond à la partie la plus riche en sable fin. Ainsi les sables fins sont les plus affectés par le fait de la salinisation si en confronté aux sables grossiers. On remarque une forte augmentation de la salinité dès le premier Horizon (1,74dS/m) jusqu'au deuxième horizon (CE=5,69 dS/m), suivie par une faible augmentation à partir de la deuxième horizon (CE=5,69 dS/m) jusqu'au troisième horizon (CE=7,16 dS/m) par la suite la salinité augmente progressivement dès le troisième horizon (CE=7,16 dS/m) jusqu'au quatrième horizon (CE=19,32 dS/m) et à la fin la salinité augmente faiblement à ce moment de quatrième horizon jusqu'au dernier horizon (CE=19,32 dS/m). Ce type de résultat indique que le type de profile salin est de type ascendant (figure 11). D'après les normes de l'USSS (1954) tous les niveaux sont salins.



**Figure 11.** Distribution des sels en fonction de la profondeur du Sondage 2.

### - pH

Les valeurs du pH varient entre 7,53 et 8,31 (tableau XIV). En général le pH varie peu dans le sol, la réaction du sol alcaline.

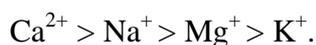


**Figure 12.** Histogramme de la concentration des ions dans le sol du sondage 2.

#### - Les cations

Parmi tous les cations existant dans la solution du sol (tableau XIV, figure 12), le cation  $\text{Ca}^{2+}$  est le plus représenté avec un taux moyen de 41,6% et une concentration qui varie entre 3,63 et 11,35 méq/l, par la suite le  $\text{Na}^+$  vient en deuxième position avec un taux de 4,29% et une concentration qui varie entre 0,434 et 1,174 méq/l. Le  $\text{Mg}^{2+}$  vient en troisième position avec une proportion de 2,59% et des quantités qui varient de 0,329 et 0,771 méq/l, et en fin le  $\text{K}^+$  vient en dernière position avec un taux de 1,107% et des quantités qui varient entre le 0,122 et 0,306 méq/l.

De ce fait le classement des cations d'après ses prédominances est comme suit :



#### - Les anions

Au milieu de la solution du sol (tableau XIV, figure 12) les anions existant dans le sondage 2, l'anion  $\text{SO}_4^{2-}$  prédomine avec un taux de 40,42% et une concentration varie entre 1,94 et 14,74 méq/l. L'anion  $\text{Cl}^-$  vient en deuxième position avec une proportion de 6,647% et une

## Chapitre III. Résultats et discussion

concentration de 0.75 à 1.75 méq/l, par la suite il vient le  $\text{HCO}_3^-$  en troisième position avec un taux moyen de 3.32% et des teneurs qui varient entre 0.75 et 1.75 méq/l.

De se fait, le classement des anions en fonction de leurs dominances, est comme suit :



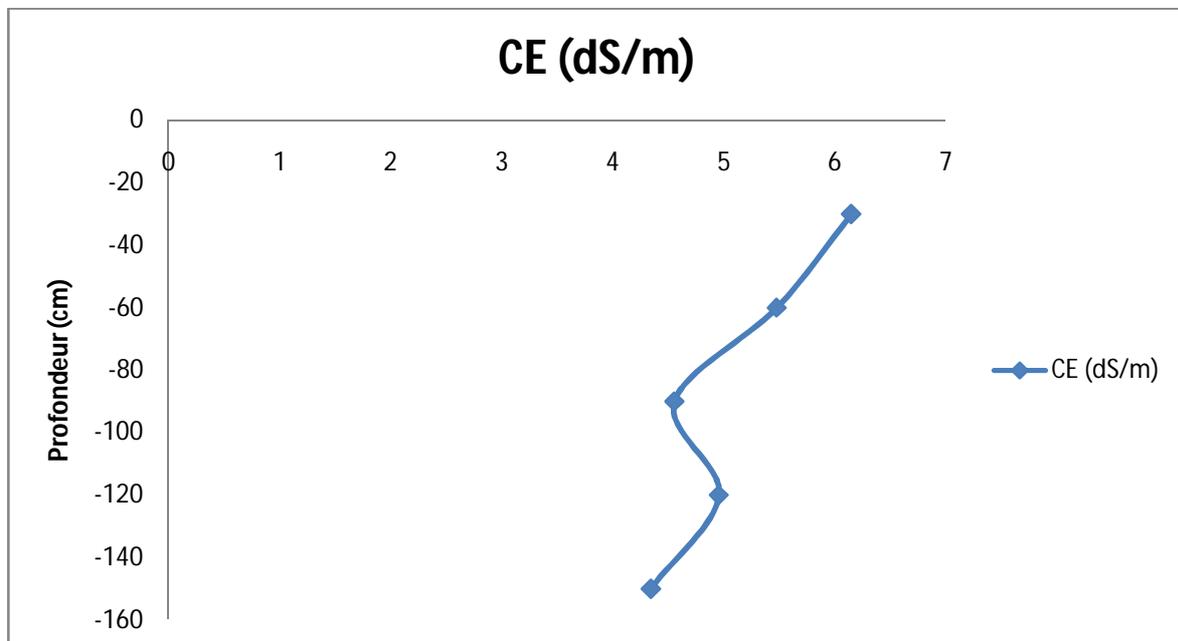
### 2. 3. Analyse de la solution du sol du sondage 3

Les résultats sont représenté dans le tableau suivant :

**Tableau XV.** Caractéristiques analytiques de la solution du sol du sondage 3.

| Sondage 3               | CE <sub>1/5</sub><br>(dS/m) | CE <sub>ps</sub><br>(dS/m) | pH   | Ca<br>(méq/l) | K<br>(méq/l) | Mg<br>(méq/l) | Na<br>(méq/l) | Cl<br>(méq/l) | HCO <sub>3</sub><br>(méq/l) | SO <sub>4</sub><br>(méq/l) |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 <sup>er</sup> niveau  | 6,15                        | 50,22                      | 8,33 | 17,75         | 1,73         | 4,03          | 2,44          | 24,75         | 0,4                         | 2,86                       |
| 2 <sup>eme</sup> niveau | 5,48                        | 44,71                      | 8,47 | 15,80         | 1,17         | 3,55          | 2,32          | 12,75         | 0,5                         | 11,94                      |
| 3 <sup>eme</sup> niveau | 4,56                        | 37,51                      | 8,45 | 13,82         | 0,99         | 2,60          | 2,31          | 9,25          | 0,6                         | 12,54                      |
| 4 <sup>eme</sup> niveau | 4,96                        | 40,44                      | 8,29 | 14,02         | 0,86         | 2,36          | 2,23          | 11,25         | 0,5                         | 9,54                       |
| 5 <sup>eme</sup> niveau | 4,35                        | 35,42                      | 7,99 | 16,12         | 0,72         | 2,62          | 2,16          | 9,25          | 0,4                         | 14,51                      |

PS : la pate saturée.



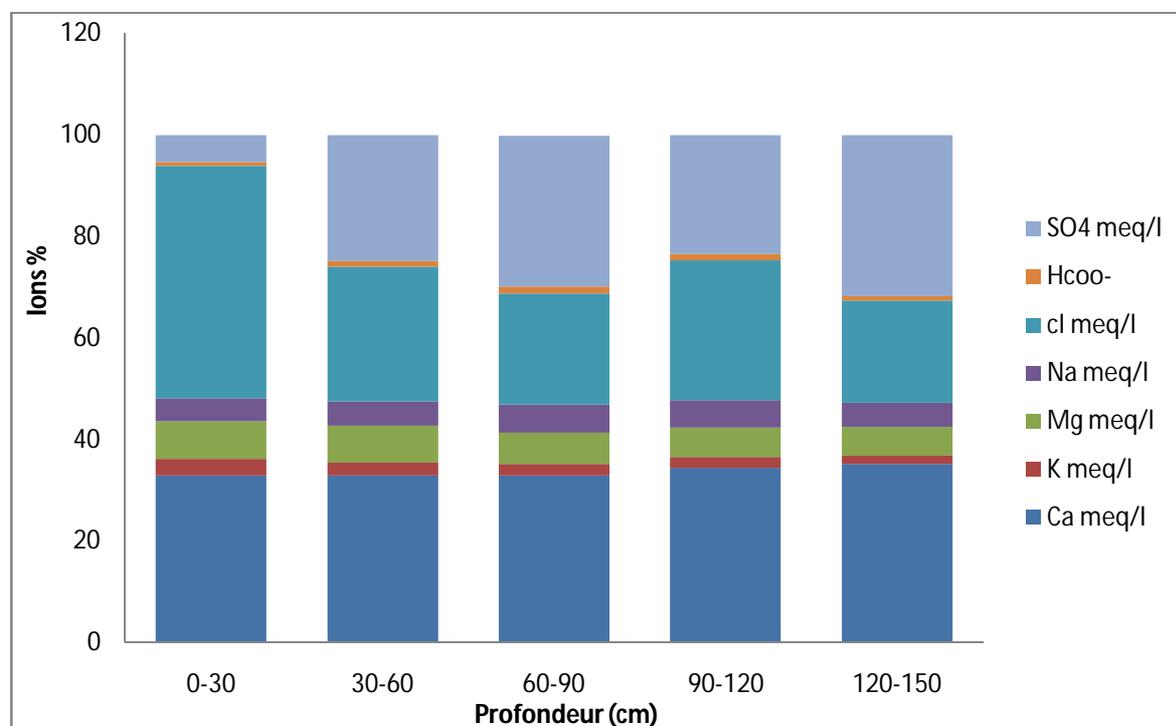
**Figure 13.** Distribution des sels en fonction de la profondeur du sondage 3.

### - La salinité

La distribution des sels en fonction de la profondeur (tableau XV, figure 13) montre une forte salinité à la surface (CE=50,22 dS/m). La salinité est faible au dernier horizon sera dû à la lixiviation par les eaux d'irrigation, la conductivité électrique variée entre 35,42 dS/m et 50,22 dS/m. La salinité diminue jusqu'au troisième horizon, de même les sels seraient accumuler au quatrième niveau provoquant une augmentation de la conductivité électrique. Ainsi que, cette forte salinité correspond parallèlement à la partie du sol la plus riche en sable fin, par conséquent la forte salinité remarquée à la surface est dû à l'utilisation des eaux charger en sels solubles. Les sables fins sont les sables les plus affecté par le phénomène de salinisation comparativement aux sables grossiers. Cette salinité diminue progressivement pour atteindre une valeur de CE=35,42 dS/m se qui signifie que le profile salin est de type ascendant (figure 13). D'après les normes de l'USSS, 1954 le sol est affecté par la salinité dès le premier niveau jusqu'au cinquième niveau.

### - pH

Les valeurs du pH varient entre 7.99 et 8.47 (tableau XV). En générale le pH varie peu dans le sol en question, et la réaction du sol est alcaline.

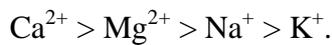


**Figure 14.** Histogramme de la concentration des ions dans le sol du sondage 3.

### - Les cations

Au sein de tous les cations existant dans la solution du sol (tableau XV, figure 14), le cation  $\text{Ca}^{2+}$  est le plus représenté avec un taux moyen de 33,61% et une concentration qui varie entre 13,82 et 17,75 méq/l. Le  $\text{Mg}^{2+}$  vient en deuxième position avec un taux de 6,57% et une concentration qui varie entre 2,36 méq/l et 4,03 méq/l. Le  $\text{Na}^+$  se situe en troisième position avec une proportion de 4,96% et des concentrations qui varient entre 2,16 et 2,44 méq/l, tandis que le  $\text{K}^+$  vient en dernière position avec un pourcentage de 2,373% et une quantité qui varie entre 0,72 et 1,73 méq/l.

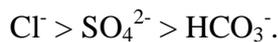
De se fait, le classement des cations selon, leur prédominance, est de type :



### -Les anions

Au bout de tous les anions qui existent dans la solution du sol (tableau XV, figure 14), le  $\text{Cl}^-$  est l'anion en premier position avec des taux moyen de 29,16% et des quantités qui varient entre 9,22 et 24,75 méq/l. Le  $\text{SO}_4^{2-}$  vient deuxième position avec un taux de 22,28% et des concentrations qui varient entre 2,86 et 14,51 méq/l, alors que le  $\text{HCO}_3^-$  vient en dernier position avec une proportion de 1,04% et des quantités qui varie entre le 0,4 et 0,6 méq/l.

De se fait, le classement des anions selon leur avantage est de type :



### 3. Le faciès chimique

La détermination des faciès chimiques des solutions des sols étudiés se base sur le diagramme de Piper. Le digramme de Piper a été réalisé par le logiciel Diagramme.

L'analyse du diagramme de Piper (figures 15,16 et 17) montre la présence de deux types de faciès chimiques de la solution des sols. Un faciès de type hyper chlorurée calcique et un autre facies de type hyper sulfatée calcique.

Cependant, ces faciès chimiques montrent que ces sols évoluent selon la voie saline neutre. Ceci est très fréquent en Afrique du Nord (Cheverry, 1974). En Algérie, ces résultats ont été confirmés par Daoud (1993) dans la région du bas-chélif, Hamdi-Aïssa (2004) pour les sols de Ouargla et Dekiche (1973) dans la région d'El Hodna.

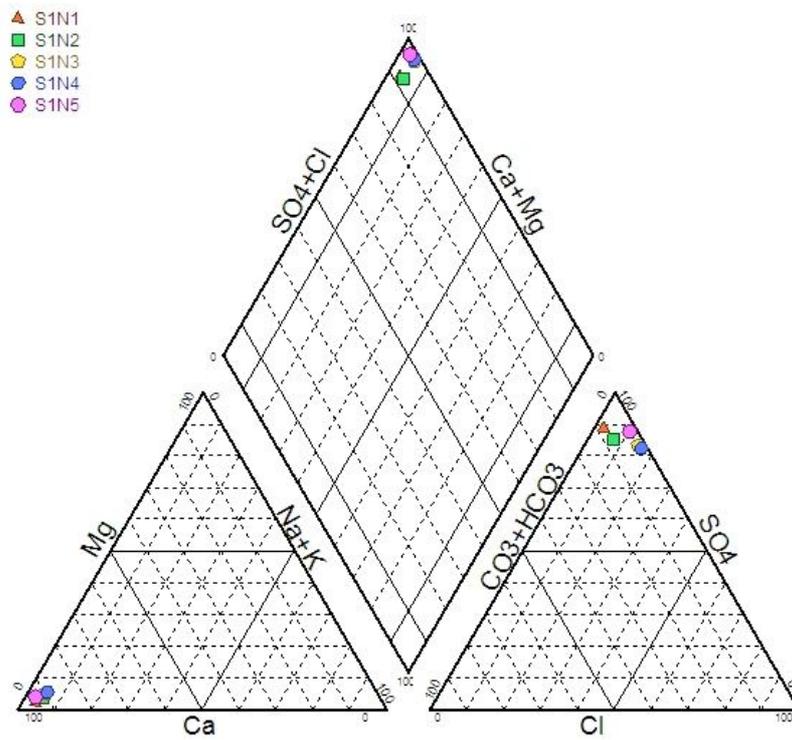


Figure 15. Faciès chimiques des solutions du sol du sondage 1 (diagramme de Piper).

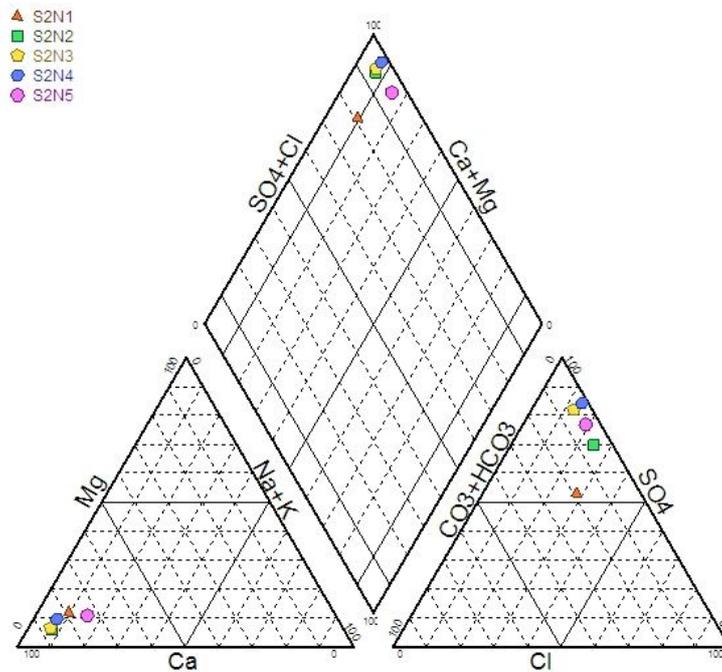
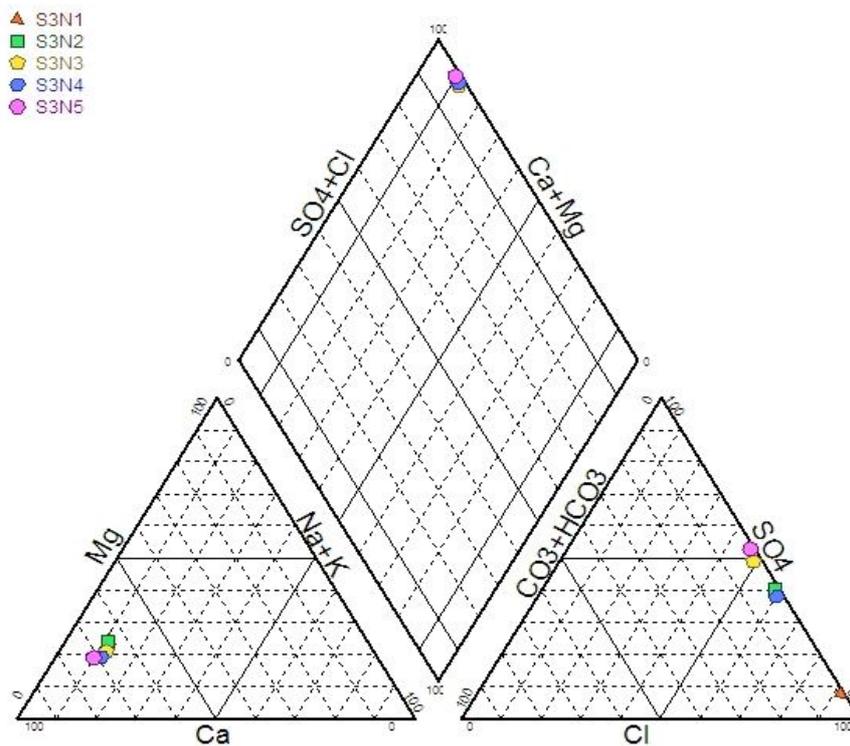


Figure 16. Faciès chimiques des solutions du sol du sondage 2 (diagramme de Piper).



**Figure 17.** Faciès chimiques des solutions du sol du sondage 3 (diagramme de Piper).

#### 4. Relation entre la salinité et la composition chimique de la solution du sol

Il s'agira d'étudier les relations entre la CE et les cations et les anions de la solution du sol, qui s'avèrent d'avoir plus de poids sur la variation de la CE à savoir :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  (tableau XVI). Seules les relations statistiquement significatives seront présentées graphiquement. Dans cette démarche, nous avons étudié l'ensemble des échantillons sans préjuger de leur appartenance au sol.

**Tableau XVI.** Corrélations entre la conductivité électrique et les différents paramètres chimiques.

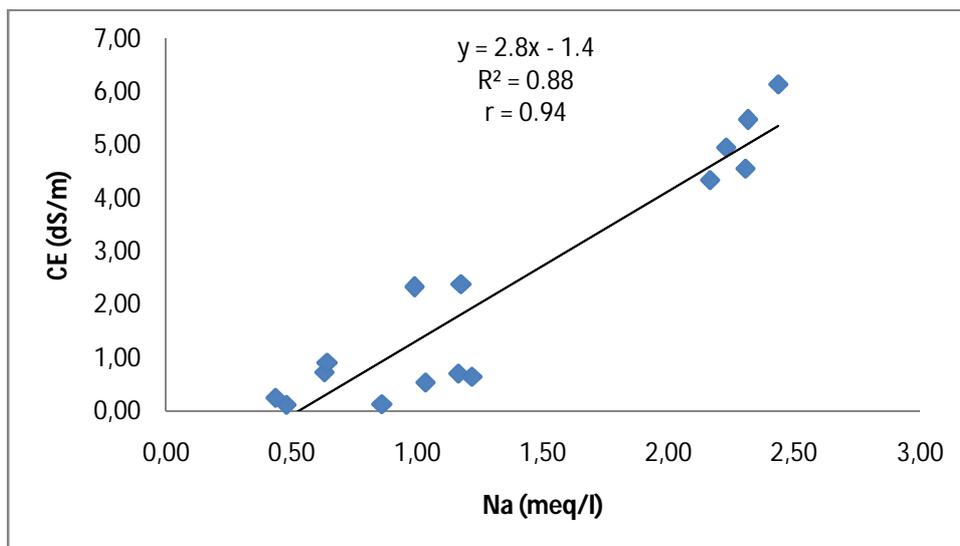
| Relations                         | $ r_c $ | $ r_t $ | ddl | Signification | Seuil $\alpha$ |
|-----------------------------------|---------|---------|-----|---------------|----------------|
| CE, Na <sup>+</sup>               | 0,93    | 0,64    | 13  | HS            | 0,01           |
| CE, Mg <sup>2+</sup>              | 0,94    | 0,64    | 13  | HS            | 0,01           |
| CE, Ca <sup>2+</sup>              | 0,02    | 0,51    | 13  | NS            | 0,05           |
| CE, Cl <sup>-</sup>               | 0,98    | 0,64    | 13  | HS            | 0,01           |
| CE, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | -0,16   | 0,51    | 13  | NS            | 0,001          |
| CE, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | -0,49   | 0,51    | 13  | NS            | 0,05           |

HS : hautement significative.

NS : non significative

**- Relation entre la CE et le Na<sup>+</sup>**

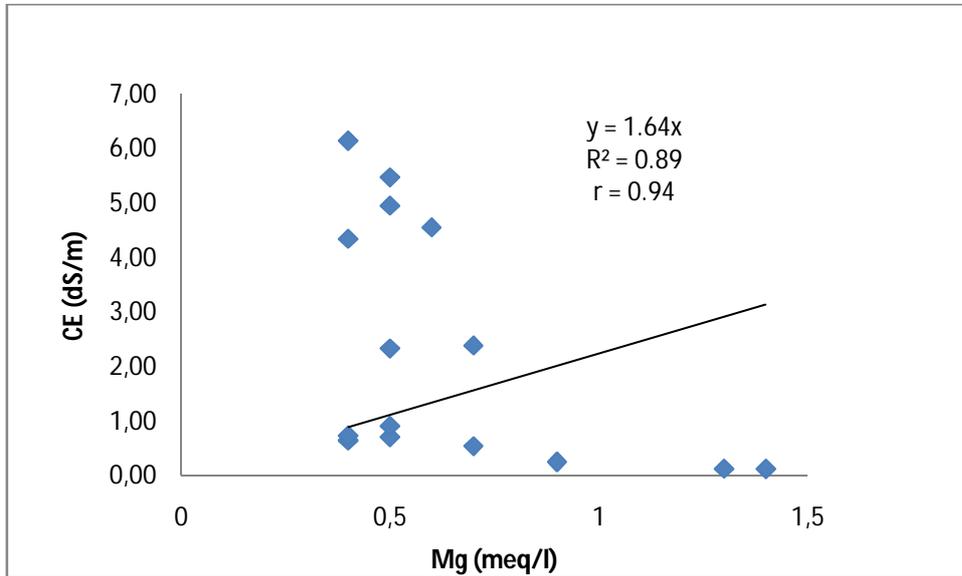
Les résultats statistiques (tableau XIV) révèlent que la corrélation est hautement significative conductivité électrique est très fortement corrélée au sodium ( $r = 0,94$  ;  $p < 0,01$ ). De ce fait, la figure 18 montre clairement que l'augmentation des teneurs du Na<sup>+</sup> dans la solution du sol s'accompagne de celle de la CE. L'équation de régression linéaire est de type :  $CE = 2.8 Na - 1,4$ .



**Figure 18.** Relation entre la conductivité électrique et le Na<sup>+</sup>.

#### - Relation entre la CE et le $Mg^{2+}$

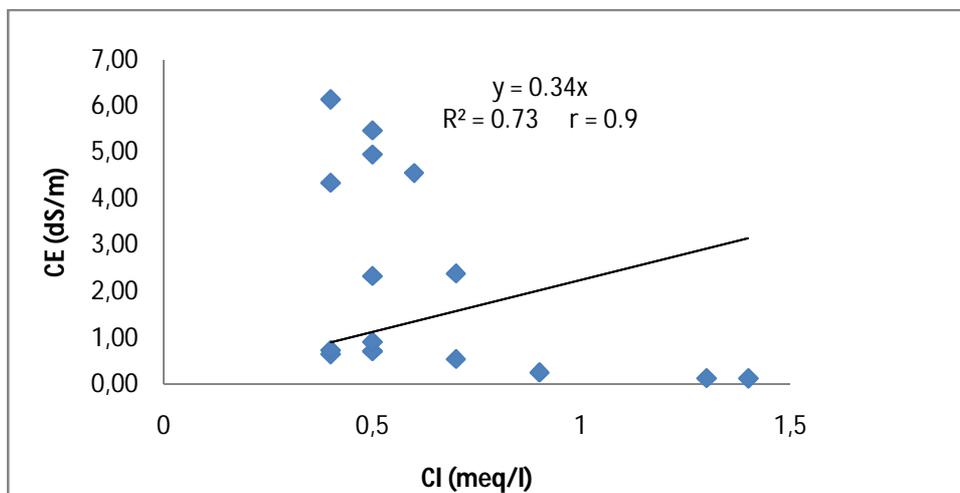
La relation entre la CE et le Mg est hautement significative ( $r = 0,94$  ;  $p < 0,01$ ) (tableau XV). Ce résultat est illustré par la figure 19 montre que l'évolution de la CE varie avec la teneur en  $Mg^{2+}$ . L'équation de régression linéaire est de type :  $CE = 1,64 Mg$ .



**Figure 19.** Relation entre la conductivité électrique et le  $Mg^{2+}$ .

#### - Relation entre la CE et le Cl

La relation entre la CE et les chlorures est hautement significative ( $r = 0,9$  ;  $p < 0,01$ ) (tableau XV). Ce résultat est illustré par la figure 20 qui montre que la CE évolue proportionnellement par rapport à la concentration des chlorures. L'équation de régression linéaire est de type :  $CE = 0,34Cl$ .



**Figure 20.** Relation entre la conductivité électrique et le Cl.

En revanche, il n'ya aucun effet significatif entre les couples suivants : (CE,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), (CE,  $\text{HCO}_3^-$ ), (CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ) comme indiqué par le tableau XV.

L'évolution de la salinité se fait en fonction des cations et des anions solubles, les ions chlorures ont une solubilité plus élevée par rapport à celle des autres ions de la solution du sol, c'est pour cette raison que la corrélation est significative avec les chlorures et non significative avec les autres ions. De même, les cations  $\text{Na}^+$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont plus solubles par rapport au  $\text{Ca}^{2+}$ . De ce fait, la relation entre les couples (CE,  $\text{Na}^+$ ) et (CE,  $\text{Mg}^{2+}$ ) est plus intense par rapport à celle du couple (CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ).

### 5. Discussion générale

Les résultats obtenus montrent que tous les sols étudiés sont sableux et gypseux, les teneurs en carbonates de calcium demeurent faibles. La texture sableuse et les accumulations de gypse sont très fréquentes dans la région d'étude (Dekkiche, 1973 ; Dali, 2004). Le sol du sondage 1 présente une salinité relativement faible ( $\text{CE} < 5,6$  dS/m) par rapport aux sols du sondage 1 et 2. Ceci est dû au fait que le sol en question se trouve dans la partie amont de la zone d'étude, ce qui fait que ce sol se situe dans une zone de départ des sels solubles. Ce départ des sels solubles est accentué par les irrigations qui se trouvent en amont. Par ailleurs, le sol du sondage 2 présente une salinité très élevée à partir du niveau 2 ( $\text{CE} > 5,6$  dS/m), la salinité est extrêmement élevée dans le niveau 5 ( $\text{CE} = 19$  dS/m). Cependant, nous notons également une très forte salinité dans le sol du sondage 3 ( $\text{CE} > 35,42$  dS/m). Ceci est dû à leurs positions topographiques, car les deux sols en question se trouvent dans la partie aval de la zone d'étude. Nous pouvons dire que ces derniers se trouvent dans une zone d'accumulation des sels solubles et par conséquent ces sols présentent une forte salinité (USSS, 1954). La position topographique du sol jouerait un rôle déterminant dans son fonctionnement salin (Ait Mechedal, 2014). De même, l'inefficacité du réseau de drainage empêche l'évacuation des sels solubles et provoque leur accumulation à moyenne profondeur ou à la base du profil (Daoud, 1993).

La richesse du sol en gypse (sulfate de calcium) affecte la composition chimique de la solution du sol. Cependant, la solution du sol des sols étudiés présente des teneurs appréciables en sulfates et des concentrations très élevées en calcium. D'une part, les chlorures présentent l'anion prédominant de la solution du sol pour le sol des sondages 2 et 3 et d'autre part les sulfates présentent une dominance dans la solution du sol du sondage 1. Concernant les cations de la solution du sol, le calcium constitue le cation majoritaire dans la solution des

### Chapitre III. Résultats et discussion

---

sols étudiés suivie du magnésium. Ceci explique les deux facies chimique que nous avons déterminés à savoir l' hyper chlorurée calcique et l' hyper sulfatée calcique. Ces deux facies démontrent que les sols étudiés évoluent selon la voie saline neutre, ces résultats ont été confirmés par les différents auteurs qui ont travaillé sur les sols d'Algérie Daoud (1993) dans la région du bas-chéiff, Hamdi-Aïssa (2004) pour les sols de Ouargla et Dekiche (1973) dans la région d'El Hodna.

Les équations de régression obtenues montrent une meilleure corrélation entre la conductivité électrique et le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et le  $\text{Cl}^-$ , qui est hautement significative. Nous pouvons expliquer cette corrélation par le fait que le  $\text{Na}^+$  ne rentre pas dans les phénomènes de précipitation des minéraux jusqu'à des valeurs de CE très élevées (Droubi et al., 1976). L'évolution du  $\text{Mg}^{++}$  peut être contrôlée par la précipitation de la magnésite (Droubi et al., 1976). L'ion chlore, qui ne rentre pas dans les précipitations des minéraux jusqu'à des niveaux de salinité très élevés, présente un comportement semblable à celui du sodium est suit l'évolution de la CE (Ait Mechedal, 2014). En revanche, la corrélation entre les couples ( $\text{CE}$ ,  $\text{SO}_4^-$ ), ( $\text{CE}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ) et ( $\text{CE}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) elle reste très faible et statistiquement non significative.

### Conclusion générale

Au terme de ce travail, l'analyse des données montrent que les trois sols étudiés se caractérisent surtout par de très fortes salinités ( $0,7 < CE \text{ (dS/m)} < 50$ ). Seul, le sol du sondage 1 présente une salinité relativement faible ( $0,7 < CE \text{ (dS/m)} < 5,5$ ). De ce fait, nous avons déterminé trois profils salins pour le S1, S2 et S3 qui sont respectivement de type convexe, descendant et ascendant.

Par ailleurs, la composition chimique de la solution des sols étudiés présentent des teneurs appréciables en sulfates, chlorures et des concentrations très élevées en calcium. Cette configuration explique les faciès chimiques qui sont de type : hyper chlorurée calcique et l'hyper sulfatée calcique. Ces faciès chimiques démontrent que ces sols évoluent selon la voie saline neutre. Les valeurs des pH indiquent montrent que la réaction des sols est relativement alcaline.

De même, les sols en question ont une texture sableuse dominée par les sables fins, sauf pour le sol du sondage S1 qui est marqué par une dominance des sables grossiers.

Les teneurs en gypses sont relativement élevées pour l'ensemble des sols  $5 < \text{gypse (\%)} < 35$ , les teneurs en calcaire restent faibles ( $4,7 < \text{CaCO}_3(\%)$ ).

L'analyse statistique a montré que l'évolution de la salinité est proportionnelle à celle des cations et des anions les plus solubles.

Enfin, Cette étude a montré que la différence des niveaux de salinité entre le sol du S1 et celui du S2 et S3 est due à leur position topographique. Ceci, jouerait un rôle déterminant dans son fonctionnement salin.

L'analyse des données de cette étude sont primordiales pour les projets de mise en valeur des sols salés. Ces données restent insuffisantes pour la mise en valeur de ces sols, il est nécessaire de les compléter par d'autres analyses.

L'objectif final de la mise en valeur des sols salés, c'est l'augmentation de la productivité des sols dans le cadre d'une agriculture durable.

**Chapitre I.**  
Synthèse  
bibliographique

# **Chapitre II.**

## Matériel et méthode

# **Chapitre III.**

## **Résultats et discussion**

# **Introduction générale**

## **Référence bibliographique**

**AUBERT G., 1975.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales I.N.A. Alger, n°6 pp. 185-195.

**AUBERT G., 1976.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales INA, Alger 6 (1), 185-195.

**AUBERT, G.1976.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annuaire de l'INA El Harrach, Alger Vol VI, n°1, pp. 185-196.

**BERG. V. D.,** Plants in relation to water logging and salinity, irrigation, drainage and salinity, F.A.O., (1973), 290-245.

**BOLYN J. H. L.,** Contribution à l'étude de la tolérance des plantes ligneuses à la salure, Thèse de Doctorat, Gembloux, (1974), 262 p.

**C.P.C.S., 1967.** Classification des sols. ENSA Grignon, 87 p.

**CHEVERRY C., 1974.** Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride. Dans des sédiments argileux et organiques. Thèse Doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg, 175 p.

**CORWIN D.L., RHOADES J.D, 1990.** Establishing soil electrical conductivity-depth relations from electromagnetic induction measurements. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 21, 871-901.

**C.P.C.S., 1967.** Classification des sols. ENSA Grignon, 87 p.

**DABIN B., 1968.** Problème de la fixation du sodium sur le complexe adsorbant des sols. Réunion annuelle des pédologues, ORSTOM, Bondy, 26p.

**DAOUD Y., 1993.** Contribution à l'étude des sols des plaines du Chéelif. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doctorat d'Etat, INA Alger, 233 p.

**DAOUD Y., 1983.** Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué du périmètre de Haut Cheliff (Algérie). Thèse doc. ING., RENNE, 194p.

**DAOUD Y., et HALITIM A., 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sècheresse*, vol. 31, 4, pp. 281-299.

**DE JONC E., BALLANTYNE A.K., CAMERON D.R ET READ D.W., 1979.** Measurement, of apparent electrical conductivity of soil s by an electromagnetic probe to aid salinity surveys. *Soil S c i. Soc. Am. J.* 43: 819-812.

**DEKKICHE B., 1974.** Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélation géochimique des eaux de nappe. Thèse Univ. Gant. Belgique, 210 p.

**DJILI K., 2000.** Contribution a la connaissance des sols du Nord de l'Algérie : Création d'une banque de données informatises et l'utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisaton et la vectorisations des données pédologique. Thèse doc. INA. Alger. 384p.

**DJILI K., DAOUD Y., GAOUAR A., BELDJOUDI Z., 2003.** La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse*, 14(4), 241-246.

**DJAMAI R., 1993.** Contribution a l'étude de la salinité des sols et des eaux du lac Fatzara (Annaba). Mémoire de magister, I.N.A., Alger p78.

**DROUBI A., 1976.** Géochimie des sols et des solutions concentrées par évaporation. Modèle thermodynamique de simulation. Application aux sols salés du Tchad. *Mémoire des Sciences Géologiques*, n° 46, 177 p.

**DUBOST, D.1992.** Aridité, agriculture et développement: cas des oasis algériennes. *Sécheresse*, 3, pp.85-96.

**DURAND J.H., 1954.** Les sols d'Algérie (pédologie n°2). Dir Hyd. Alger., 244p.

**DURAND D., 1983.** Les sols irrigables : étude pédologiques. Ed. Presses universitaire de France, 339p.

**DURAND J H., 1958.** Recherche sur les sels apportés au sol par les pluies. Travaux des sections pédologie et agricole. Bull n° 5, SES, Birmouradrais.

**EL-IKLIL Y., KARROU M. and BENICHOU M., 2000.** Effet de stress salin sur épiphyse par rapport à la production d'éthylène et à la relation eau dans la tomate. *Agronomie*, 20, pp 399-406.

**FAO., 1990.** Water, soil and crop management relating to the use of saline water. Doc. F.A.O., Rome, 193p.

**FAUTINO C. F. and AGTARAP M. L., 1996.** Résultats préliminaires sur l'amélioration des effets salins par la gestion de l'azote dans la tomate. *Philippine-Journal-of-Crop-Science*, volume 21 (N° 1), 72 p.

**FISHER K. J.,** "Specific ion effects of certain excess soluble salts on the growth and development of Glasshorn and tomatoes grown in nutrient culture", *horticulture scientifique*, n° 42, (1967), 243-252.

**GAUCHER G., 1947.** Méthodes actuelles d'étude des terrains salés en Afrique du Nord. Conférence de pédologie Méditerranéenne, Bull, AFES, Paris.

**GAUCHER G., BURDIN., 1974.** Géologie et géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Ed presses universitaires de France, Paris. p 230.

**GHASSEMI F, JAKERMAN AJ, Nix HA., 1995.** Salinization of land water resources, Wallingford CAB International.

**GREGORY B., 2005.** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizes en milieu salin et sodique. Thèse de Doc, en science forestières 190p.

**HADJ-MILOUD S., 2010.** Morphologie et propriétés des Solonchaks références de la Mina. Mémoire de Magister, ENSA, 112p.

**HALITIM A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. OPU, 384 p.

**HALITIM A., 1973.** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Univ de Renne, 176 p.

**HAMDI-AISSA B., 2001.** Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Approche micromorphologique, géochimique et minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doc. INA Paris-Grignon, 310 p.

**HAYWARD H. E. and SPURR W. D.**, Effects of concentrations of inorganic and substrates entry of water into roots, botanic magazine, n°106, (1994), 131-139.

**HEINMAN H.**, Irrigation with saline water and the balance of the ionic environment, potassium symposium, Madrid, (1958), 173-220.

**HULIN. M., 1983.** Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés .Cours photocopié, vol 3, I.N.A., Alger, 139 p.

**IDDIR A., 2006.** Évaluation de la salinité par induction électromagnétique. Memoires de magister, I.N.A., Alger, 120 p.

**IUSS Working Group WRB. 2014.** World reference base for soil resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

**JOHNSTON M.A., SAVAGE M.J., MOOLMAN J.H., DU PLESSIS H.M., 1997.** Evaluation of calibration methods for interpreting soil salinity from electromagnetic induction measurements. Soil Sci. Soc. Am. J., 61, 1627-1633.

**KATERJI N., 1995.** Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline: approches empiriques et mécanistes. *C. R. Acad. Agri. Fr.*, 81 (2), pp 73-86.

**LEVIGNERON E., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P., FOURCROY P., et CASSE-DELBART F., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahier Agricultures*, 4, pp.263-273.

**MC NEILL J.D, 1980:** Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction Tec et Doc, 275p.

**MCKENZIE R.C., CHOMISTEK W ET CLARK N.F, 1989.** Conversion of electromagnetic inductance readings to saturated paste extract values in soils for different temperature, texture, and moisture conditions. *Can. J. Soil Sci.*, 69, 25-32.

**MONTOROI J.P., 2005.** Sols et environnement. Dunod, Paris, 816 p.

**MONTOROI J.P., 1997.** Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol. Application à un sol sulfaté acide salé de Basse-Casamance (Sénégal). *Etude et Gestion des Sols*, 4 (4), 279-298.

**SONMEZ S., BUYUKTAS D., OKTUREN F., CITAK S., 2008.** Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma* 144: 361-369.

**SERVANT J, 1976.** La salinité dans les sols et les eaux. Caractérisation et problème d'irrigation-drainage. I.N.R.A., Service d'Etude des Sols. N°310. Montpellier, 28p.

**TURNER N., 1997.** Autres progrès dans la culture. Relations de l'eau. *Avances en agronomie*, 58, pp 293-338.

**WADE MOHAMED EL ABASS., 1998 :** Cartographie de la salinité dans la zone de Ngnith (Delta de fleuve Sénégal) Utilisation de la conductivité électromagnétique EM.38, Rapport de stage, I.ST DAKAR, p21.

**WINCOV I., 1998.** Nouvelles approches moléculaires pour améliorer la tolérance au sel dans les plantes cultivées. *Annales de botanique*, 82, pp 703-710.