

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



Faculté des Sciences de le Nature et de la Vie  
Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention  
Du diplôme de Master

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

**Filière** : Sciences Agronomiques

**Spécialité** : Eau et Environnement

**Thème**

**Contribution à l'étude de l'évolution saisonnière de la salinité des  
sols de la plaine du Bas-Chélif**

Présenté par

**BELMIHOUB AMINA**

Devant le Jury composé de :

Président : **Mr. ZELLA L.**

Promoteur : **Mr. HADJMILOUD S.**

Examineurs : **Mr. MIMOUNI N.**

Pr Blida 1

MAA Blida 1

MAA Blida 1

Année Universitaire : **2017 /2018**



# Sommaire

---

## Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

### Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. La salinisation.....	3
1.1. Définition.....	3
1.2. Origine de la salinisation.....	3
1.3. Les propriétés des sols salés.....	5
1.4. Causes de la salinisation des sols.....	6
1.5. Dynamique des sels.....	6
1.5.1 Evolution spatiale et temporelle de la salinité.....	7
1.6. Répartition des sols salés.....	8
1.6.1. Répartition des sols salés dans le monde.....	8
1.6.2. Répartition des sols salés en Algérie.....	9
1.7. Les différents types des sols salés en Algérie.....	9
1.8. Méthode d'évaluation de la salinité des sols.....	11
1.9. Effet de la salinité.....	14
1.9.1. Effet de la salinité sur le sol.....	14
1.9.2. Effets de la salinité sur les propriétés physiques du sol.....	14
1.9.3. Effet de la salinité sur les propriétés chimiques du sol.....	14
2. La relation entre les sels solubles et l'accroissement de la conductivité électrique.....	15
3. Les faciès chimiques prédominants dans les sols salés de la région de Relizane.....	17
4. Effet de la salinité sur les plantes.....	18

### Chapitre II : Matériel et méthode

1. Localisation de la zone d'étude.....	19
2. Le climat.....	19

# Sommaire

---

2.1. La pluviométrie.....	19
2.2. La température.....	20
3. La pédologie.....	22
4. Hydrologie et hydrogéologie.....	24
5. Méthodologie.....	24
5.1. Analyses du sol.....	26
5. 2. Analyses de la solution du sol.....	26

## Chapitre III : Résultats et discussions

1. Analyses des constitutions du sol.....	28
1.1. Analyse des constitutions du profil 1.....	28
1. 2. Analyse des constitutions du profil 2.....	29
1. 3. Analyse des constitutions du profil 3.....	31
2. Analyse de la solution du sol.....	32
2. 1. Analyse de la solution du sol du profil 1.....	32
2.2. Analyse de la solution du sol du profil 2.....	36
2.3. Analyse de la solution du sol du profil 3.....	40
3. La relation entre la CE et la composition chimique de la solution du sol.....	45
4. Statistique descriptive multidimensionnelle de la composition chimique de la solution du sol.....	48
5. Discussion générale.....	51
Conclusion générale.....	52

## **Résumé**

L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution saisonnière de la salinité du sol dans la région de Bas-Chéliff à l'échelle de trois profils pédologiques. Il s'agit donc de caractériser la solution des sols, de définir les profils de distribution des sels dans les sols, de déterminer la vitesse de la salinisation et de cerner l'évolution temporelle de la salinité entre la saison sèche et la saison humide.

L'analyse des données a révélé que les trois profils ont subi une salinisation pendant la saison sèche comparativement à la saison humide. Les trois profils se caractérisent par une texture à prédominance limono-argileuse et une teneur moyenne en calcaire. La composition chimique de la solution des sols est prédominée par les chlorures et le sodium.

L'analyse en composante principale (ACP) a révélé que les éléments chimiques de la solution du sol ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) ont le plus de poids sur la variabilité de la salinité.

Les relations statistiques montrent une meilleure corrélation entre la conductivité électrique et le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{Cl}^-$ , qui sont significatives ( $p < 0.05$ )

**Mots clés :** salinité, évolution temporelle, Bas-Cheliff.

## Summary

The objective of this work is to study the evolution of soil salinity in the region of Bas-Chéiff at the scale of three soil profiles. It is therefore to characterize the soil solution, define the distribution profiles of the salts in the soil, determine the speed of salinization and determine the temporal evolution of salinity between the dry season and the wet season.

Data analysis revealed that all three profiles experienced salinization during the dry season compared to the wet season. The three profiles are characterized by predominantly loam-clay texture and a medium limestone content. The chemical composition of the soil solution is predominated by chlorides and sodium.

Principal component analysis (PCA) revealed that the chemical elements of the soil solution ( $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ ) have the greatest weight on the variability of salinity.

Statistical relationships show a better correlation between electrical conductivity and  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  and  $\text{Cl}^-$ , which are significant ( $p < 0.05$ )

Key words: salinity, temporal evolution, Bas -Cheliff.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة التطور الموسمي لملوحة التربة في منطقة الهضاب السفلي الشلفوي على مقياس ثلاث طبقات للتربة و ذلك من خلال توصيف محلول التربة، تحديد ملامح توزيع الأملاح في التربة، تحديد سرعة الملوحة وتحديد التطور الزمني للملوحة بين موسم الجفاف والموسم الرطب.

كشفت تحليل البيانات أن جميع الملامح الثلاثة شهدت التملح خلال موسم الجفاف مقارنة بالموسم الرطب. تتميز الملامح الثلاثة بقوام طيني غالب ومحتوى من الحجر الجيري المتوسط. تسود التركيب الكيميائي لمحلول التربة بواسطة الكلوريدات والصوديوم.

كشفت تحليل المكون الرئيسي (ACP) أن العناصر الكيميائية لمحلول التربة ( $Na^+$  و  $Cl^-$ )

أن لها الوزن الأكبر على تقلب الملوحة

العلاقات الإحصائية تظهر علاقة أفضل بين التوصيل الكهربائي  $Cl^-$  و  $Mg^{++}$  و  $Na^+$  ( $P < 0.05$ ). وهي ذات أهمية

الكلمات المفتاحية: الملوحة ، التطور الزمني ، الهضاب السفلي الشلفوي

# *Remerciements*

*Avant tout, nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre Le chemin de la science.*

*Mes sincères remerciements et ma profonde gratitude s'adressent à mon promoteur **Mr. HADJ MILOUD. S.** pour avoir accepté de diriger ce travail, pour leur patience, encouragements, orientations et leurs conseils précieux.*

*Ma profonde gratitude à **Mr. ZELLA L.** professeur à l'Université de Blida, pour l'honneur qu'il me fait de présider ce jury.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous les membres de jury, composé de **Mme. YAHYIA N.**, et **Mr MIMOUNI N.***

*A tous le corps enseignants du Spécialité Eau et Environnement.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A ma mère et mon père, que j'aime beaucoup et que Dieu les garde*

*A mes sœurs et frères*

*A mon promoteur*

*A toute la famille*

*A tous mes amis*

*Amina*

!

## Liste des figures

N° de Figure	Titre de figure	Page
Figure 01. a	Premier type de profil salin (descendant)	7
Figure 01. b	Deuxième type de profil salin (Ascendant)	8
Figure 01. c	Troisième type de profil salin (Convexe)	8
Figure 02	Carte de classification des solonchaks dans la région nord de l'Algérie	11
Figure 03	Le Géonics EM38	13
Figure 04	Evolution de la composition chimique de la solution du sol en En fonction de sa concentration	16
Figure 05	Evolution du rapport chlorures/sulfates en fonction de la Conductivité électrique	17
Figure 06	Localisation de la plaine du Bas-Cheliff. (RATA M, 2002)	18
Figure 07	Diagramme ombrothermique de la station climatique de Hmadna (1985-2002)	22
Figure 08	Localisation des profils	26
Figure 09	Distribution granulométrique du profil 1	29
Figure 10	Distribution granulométrique du profil 2	30
Figure 11	Distribution granulométrique du profil 3	32
Figure 12	Profil salin du profil 1 pour les deux périodes (humide/sèche)	34
Figure 13	Distribution des cations dans le sol du profil 1	35
Figure 14	Distribution des anions dans le sol du profil 1	36
Figure 15	Profil salin du profil 2 pour les deux périodes (humide/sèche)	38
Figure 16	Distribution des cations dans le sol du profil 2	39
Figure 17	Distribution des anions dans le sol du profil 2	40
Figure 18	Profil salin du profil 3 pour les deux périodes (humide/sèche)	42
Figure 19	Distribution des cations dans le sol du profil 3	43
Figure 20	Distribution des anions dans le sol du profil 3	44
Figure 21	Relation entre la conductivité électrique et le $\text{Na}^+$	45
Figure 22	Relation entre la conductivité électrique et le $\text{Mg}^{++}$	46
Figure 23	Relation entre la conductivité électrique et le $\text{Ca}^{++}$	47
Figure 24	Relation entre la conductivité électrique et le $\text{Cl}^-$	47
Figure 25	Relation entre la conductivité électrique et le $\text{SO}_4^{--}$	48
Figure 26	L'analyse en composante principale entre la CE et les cations	49
Figure 27	L'analyse en composante principale entre la CE et les anions	50

## Liste des tableaux

N° du tableau	Titre du tableau	Page
Tableau I	couche géologique salifère de L'Algérie (d'après Gaucher, 1947 ; In Durand, 1954)	4
Tableau II	Tableau comparative entre les différents types des sols salés (d'après U.S.S.L, 1954 ; Daoud, 1993)	6
Tableau III	Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008)	9
Tableau IV	l'échelle de la classification des sols salés	12
Tableau V	Echelle de salinité des sols d'après Servant (1971), In Baize (2000)	14
Tableau VI	Données pluviométriques de la station météorologique de Hmadna (1985-2002)	20
Tableau VII	Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales de la station météorologique de Hmadna (1985-2002)	21
Tableau VIII	Résultats analytiques des constituants du profil 1	28
Tableau IX	Résultats analytiques des constituants du profil 2	30
Tableau X	Résultats analytiques des constituants du profil 3	31
Tableau XI	Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 1	33
Tableau XII	La conductivité électrique de la solution du sol pour les deux périodes (humide/sèche) (profil 1)	33
Tableau XIII	Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 2.	36
Tableau XIV	La conductivité électrique de la solution du sol pour les deux périodes (humide/sèche) (profil 2)	37
Tableau XV	Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 3	40
Tableau XVI	La conductivité électrique de la solution du sol pour les deux périodes (humide/sèche) (profil 3)	41
Tableau XVII	L'écart et la vitesse de la salinisation moyenne entre les deux périodes (humide/sèche) des trois profils	44
Tableau XVIII	Contributions des variables (%) dans la formation des axes	49
Tableau XIX	Contributions des variables (%) dans la formation des axes	50

# *Liste des abréviations*

## **Liste des abréviations**

**BNEDER** : Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.

**C.E** : Conductivité électrique.

**CEa** : Conductivité électrique apparente.

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

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

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

**dS/m** : décisiemens par mètre.

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

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

**H1** : horizon 1.

**H2** : horizon 2.

**H3** : horizon 3.

**H4** : horizon 4.

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

**P1** : profil 1.

**P2** : profil 2.

**P3** : profil 3.

**pH** : Potentiel Hydrogène.

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

**TDR** : Time Domain Reflectometry.

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

**uSCm<sup>-1</sup>** : micro Siemens par centimètre.

**WRB** : Word Reference Base.

# *Introduction générale*

# *Introduction générale*

## **Introduction générale**

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).

La salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres dans le monde.

Par ailleurs, dans le monde 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation (Mermoud, 2006).

Cependant, 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). De même, les sols salés peuvent être subdivisés en trois catégories : les sols salins, les sols salins à alcalis et les sols alcalis (USSL, 1954). Cette subdivision est essentiellement basée sur le niveau de la salinité de la solution du sol (exprimé par la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée), et le niveau de sodicité du complexe adsorbant (exprimé par le taux de sodium échangeable).

Les sels les plus fréquents dans les sols des régions arides et semi-arides sont les chlorures de sodium et les sulfates de calcium (Halitim, 1988).

Le problème de la salinisation des sols est particulièrement important dans la plaine du Bas-Chéliff et le risque d'une salinisation insidieuse et rapide sont alors importants. En effet c'est une région caractérisée par une faible pluviométrie et une forte évapotranspiration, une eau d'irrigation plus ou moins chargée selon les saisons et l'origine de l'eau (superficielle ou souterraine). Ainsi, ce risque de salinisation est accentué par la présence d'une nappe très salée peu profonde (Boulaine, 1957 ; Mc Donald et BNEDER, 1990). Dans le Bas-Cheliff, les sols non salés représentent 16 % de la superficie totale, les sols moyennement salés représentent 22 %, les sols salés représentent 30 % et les sols très salés occupent 32 % de la surface totale (Douaoui, 2005).

L'objectif de ce travail porte sur l'évaluation de l'évolution temporelle de l'état de salinité des sols entre la saison humide et la saison sèche, Il s'agit donc de caractériser la solution des sols, de définir les profils de distribution des sels dans les sols, la détermination de la vitesse

# *Introduction générale*

de la salinisation. Il s'agit également de cerner l'évolution temporelle de la salinité entre la saison sèche et la saison humide dans la région du bas-Chéouiff.

Enfin, pour présenter les résultats de cette étude, nous avons répartie ce document en trois chapitres.

- Le premier chapitre est réservé à une synthèse bibliographique.

-Le deuxième chapitre porte sur la présentation de la région d'étude, méthodologie adoptée et le matériel utilisé pour réaliser cette investigation.

-Le troisième chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats.

*Chapitre I.*  
*Synthèse*  
*bibliographique*

# Chapitre I. Synthèse bibliographique

---

## 1. La salinisation

### 1.1. Définition

La salinité se réfère à la quantité des sels solubles qui se trouve dans le sol (Chesworth, 2008).

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). Ils sont constitués principalement par le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium pour les cations et par les chlorures, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates et nitrates pour les anions (Chesworth, 2008).

### 1.2. Origine de la salinisation

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

La salinisation des terres est à 80% d'origine naturelle. On parle alors de salinisation "primaire", due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes (Bryssine, 1961).

Alors que 20% des terres salinisées ont une origine "anthropique". On parle alors de la salinisation "secondaire", induite par l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles et en particulier à l'irrigation (FAO, 2008).

#### 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'accumulation des sels sur une longue période de temps, dans le sol ou les eaux souterraines, elle est causée par trois processus naturels (Aubert, 1975 ; Antipolis, 2003).

- **Premier processus** : l'altération des roches mères contenant des sels solubles. C'est le processus d'altération des roches qui libèrent des sels solubles de divers types, principalement les chlorures de sodium qui est le plus soluble (Li et al, 2006), de calcium et de magnésium, et avec moins de quantité, les sulfates et les carbonates (Mermut et Arshad, 1987). 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'Helvetien qui se situe dans la vallée du Cheliff.

## **Chapitre I. Synthèse bibliographique**

**Tableau I** : couche géologique salifère de L'Algérie (d'après Gaucher, 1947 ; In Durand, 1954).

<b>Couche géologique</b>	<b>Localisation</b>
Trias	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.
Lutézien	Sud centre et Sud-est algérien.
Eocène supérieur	Algérois.
Oligocène continental	Partout.
Cartenien	Mitidja, Nord-Ouest algérien.
Helvétien	Vallée du Cheliff et Nord-Ouest.
Vindobonien	Nord -Est algérien.
Sarmatien	Nord -Est algérien.
Sahélien	Nord- Ouest algérien.
Pliocène continental	Bassin fermés des Hauts plateaux et Nord- Ouest algérien.
Quaternaire	Plaine littorales du Nord-Ouest algérien et dépressions fermées.

- **Deuxième processus** : c'est le dépôt des sels océaniques par le vent et la pluie. «Sels cycliques" qui sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie, qui sont principalement les chlorures de sodium. L'eau de pluie contient de 6 à 50 mg de sel par kg d'eau, la concentration des sels diminue avec l'éloignement 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.

- **Troisième processus** : c'est L'intrusion de l'eau de mer dans les nappes près des côtes est due à une inversion du gradient hydraulique à cause de la surexploitation des nappes souterraines.

L'utilisation de l'eau de cette nappe à des fins d'irrigation entraîne l'intrusion de l'eau saline près de la zone racinaire. L'effet est amplifié par la présence d'une surface évaporatrice. Dans ce cas le volume de l'eau et la masse des sels augmentent donc la concentration en sels augmente ou diminue en fonction de la salinité initiale de la zone racinaire. Mais en général le

## **Chapitre I. Synthèse bibliographique**

---

résultat final est une augmentation.

### **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) (Chamekh, 2010).

- 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 adapté 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**

L'équipe américaine du laboratoire de l'U.S.S.L (1954) distingue trois groupes principaux des sols salés : les sols salés, les sols salés à alcalins, les sols alcalins non salés.

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

**Tableau II.** Tableau comparative entre les différents types des sols salés (d'après U.S.S.L, 1954 ; Daoud, 1993).

	<b>CE (dS/m) à 25°C</b>	<b>pH</b>	<b>ESP%</b>	<b>Propriétés des sols</b>
<b>Les sols salés</b>	C.E>4	pH < 8,5	E.S.P<15	-Une croûte blanche de sels à la surface ; - perméabilité égale ou supérieure à celle des sols similaire non salés ; - La solution du sol est riche en sels soluble et en sodium échangeable.
<b>Les sols salés à alcalins</b>	C.E >4	pH < 8,5	E.S.P>15	Ces sols sont caractérisés par deux processus : salinisation et alcalinisation.
<b>Les sols alcalins non salés</b>	C.E<4	pH>8.5	E.S.P>15	Ces sols présentent à encroûtement salins et des horizons à sulfures.

### 1.4. Causes de la salinisation des sols

Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturales sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème où une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité inférieure de l'eau d'irrigation (Ashraf et Foolad, 2007).

### 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.

Les sels dans le sol peuvent se déplacer d'un horizon à un autre sous l'action de divers facteurs. Les sels les plus solubles sont généralement les plus mobiles. Le mouvement des sels dépend des états physiques de l'eau du sol, du gradient de température existant dans ce sol, et de la texture des sols.

### 1.5. 1. Evolution spatiale et temporelle de la salinité

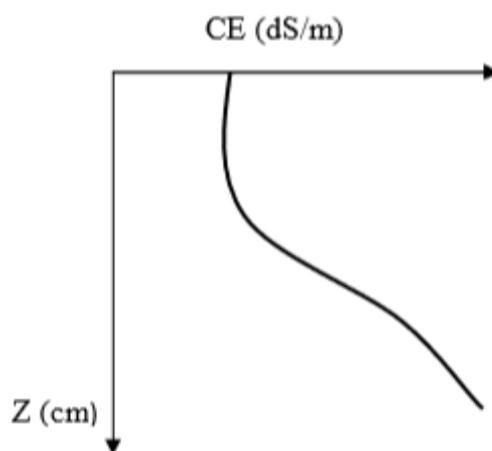
#### -Le profil salin

Le profil salin est la séquence verticale d'information concernant la salinité dans le profil pédologique (Servant, 1978). Il constitue la résultant des actions antagonistes entre le processus de salinisation et celui de désalinisation les quels sont commandés par les caractéristiques du milieu et les techniques d'aménagement (Safart, 1983).

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 et convexe.

- **Profil descendant**

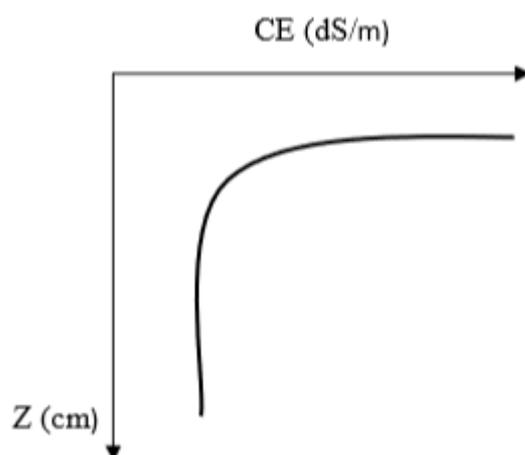
Le maximum de salinité se situe dans la partie inférieure du profil. Ce type de distribution est observé dans les sols à croûtes et encroûtement calcaires et dans les sols à encroûtement gypseux de surface des parties amont et médiane de la séquence du Zehrez. Ce type de profil salin a été qualifié de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

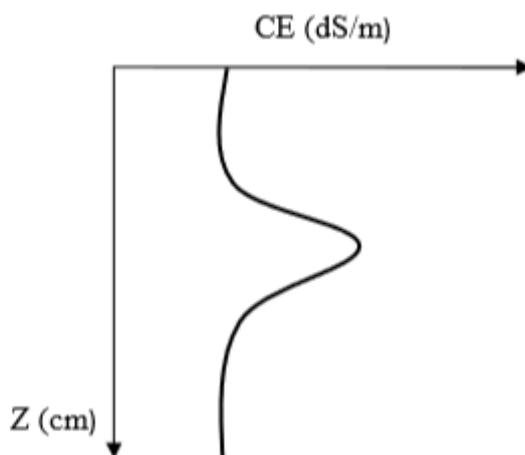
Le maximum de salinité s'observe dans la partie supérieure du profil. Il correspond aux sols influencés par une nappe salée peu profonde et qui sont en général localisés dans les zones basses et déprimées des séquences. Les horizons les plus salés se localisent alors au-dessus des horizons gypseux et 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

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

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent un grand problème pour l'agriculture. La surface affectée par la salinité dans le monde est évalué à

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

954,8 millions d'hectare, soit 23 % des terres cultivées (FAO, 2008). Le tableau suivant présente la superficie affectée par la salinité dans le monde:

**Tableau III** : Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008).

Région	Superficie (million d'hectares)
Afrique	80.5
Europe	50.5
Amérique du Nord	15.7
Amérique du sud	129.2
Australie	357.3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du sud Est	20
Asie du centre et du nord	211.7
Asie du sud	87.6
<b>Total</b>	<b>954.8</b>

### 1.6.2 Répartition des sols salés en Algérie

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affecté par la salinité ou susceptibles de l'être (Durand, 1983). Ils sont répartis dans les basses plaines d'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au Sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains Chotts comme Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et d'autres (Durand, 1983).

D'après Halitim (1988), dans les régions arides, les sols salés représentent environ 25% de la surface cartographiée. Soit 3,2 millions d'hectares (Hamdy, 1995). Les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (Djili et Daoud, 1999).

### 1.7. Les différents types des sols salés en Algérie

Aubert (1976), signale deux types de sols salés en Algérie, qui sont les solontchaks et les solontchaks-solonetz.

- **Les Solontchaks**: sont caractérisé par l'accumulation des sels solubles à la surface à cause de la proximité de la nappe phréatique et de l'évaporation intense.

- **Les Solontchaks-solonetz** : sont les plus fréquents des sols salés ; caractérisés par une teneur en sels solubles et un taux élevé de sodium échangeable.

Selon Hadj miloud (2010), les Solonchaks 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 ;

## ***Chapitre I. Synthèse bibliographique***

---

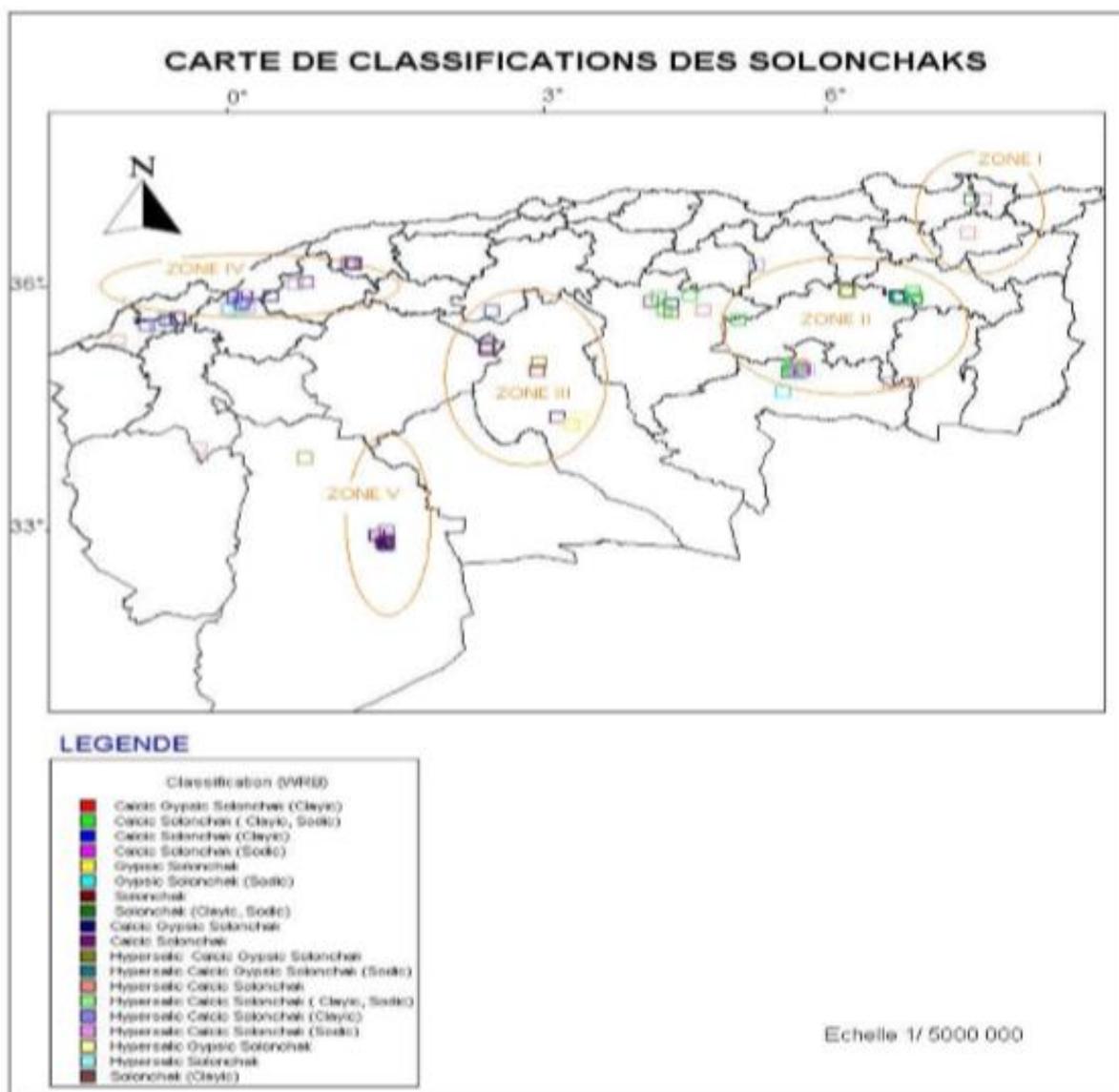
**La zone II :** les régions de M'sila, Biskra, Oum el Bouaghi, Bordj-Bouarreridj, Batna, Sétif et Khenchela ;

**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

IL existe des méthodes permettent de mesuré la salinité in situ. De même, il y d'autres méthodes permettent également d'estimé la salinité dans le laboratoire (conditions artificiels).

#### 1.8.1 Méthodes de laboratoire

Le principe de base des méthodes de laboratoire repose sur la mesure de la conductivité électrique.

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

La conductivité électrique (CE) est directement proportionnelle à la teneur en sels d'un sol. Elle est exprimée en déci siemens par mètre (dS/m). On distingue deux méthodes pour mesurer la conductivité électrique :

### - 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

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 quel que soit la texture de l'échantillon (Wade, 1998). Les sols sont classés selon le tableau suivant :

**Tableau IV:** l'échelle de la classification des sols salés.

Classification des sols	L'extrait de pâte saturé CE (ds/m)	L'extrait aqueux CE (ds/m)
Non salé	$\leq 2$	$\leq 0.5$
Légèrement salé	2-4	0.5-1
Salé	4-8	1-2
Très salé	8-16	2-4
Extrêmement salé	$\geq 16$	$\geq 4$

(Djelloudi et Nouari, 2010)

### 1.8.2. Mesures in situ

Parmi ces méthodes on trouve:

- La conductivimètre électromagnétique (Le Géonics EM38) ;
- La résistivité du sol.
- La réflectométrie TDR (Time Domain Reflectometry)

### -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 salées (Job et al, 1990).

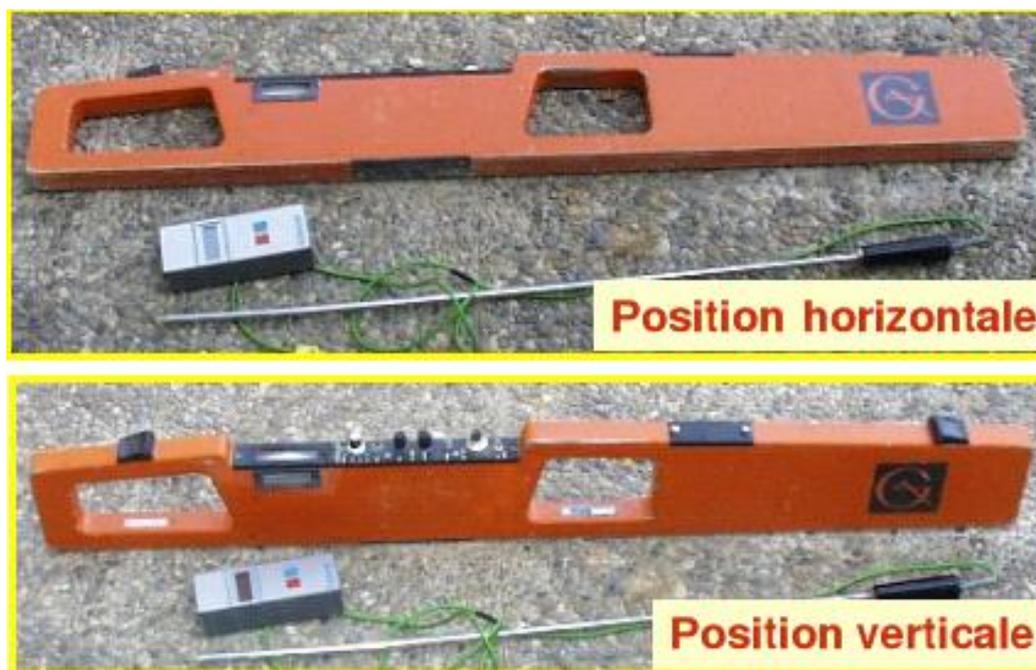


Figure 03: Le Géonics EM38

### **-La résistivité du sol**

La méthode de résistivité électrique consiste à utiliser un dispositif désigné sous le nom de "Wenner" (Corwin et Lesch, 2003 ; Corwin et Lesch, 2005).

La résistivité électrique est une méthode bien adaptée aux applications de terrain parce que le volume de sol considéré pour la mesure est grand et réduit l'influence de la variabilité à l'échelle locale. C'est une méthode flexible sur le terrain où la profondeur et le volume de mesure peuvent facilement être changés en modifiant la distance entre les électrodes (Corwin et Lesch, 2003).

### **-La réflectométrie TDR (Time Domain Reflectometry)**

La mesure de la CEa par le réflectomètre TDR est basée sur la vitesse de propagation et la réflexion d'une impulsion électromagnétique envoyée par le dispositif le long des lignes de transmission. La constante diélectrique et l'impédance du milieu (le sol) peuvent être mesurées une fois que les lignes de transmission sont placées à l'intérieur du sol. Le premier paramètre (la constante diélectrique) est fonction de la teneur en eau du sol tandis que le second paramètre (l'impédance du milieu) résulte d'une atténuation du signal qui peut être liée à la CEa (Douaik, 2005).

Les différentes échelles de salinité déterminées par Servant(1971), In Baize (2000). Cette échelle est exprimée en fonction de la CE et de la somme des anions.

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

**Tableau V** : Echelle de salinité des sols d'après Servant (1971), In Baize (2000).

Classe	CE (dS/m)	Somme des ions en meq/l
0 : Sol non salé	<2.5	<25
1 : faiblement salé	2.5à5	25à50
2 : Moyennement salé	5à10	50à105
3 : salé	10à15	105à165
4 : Fortement salé	15à20	165à225
5 : Très fortement salé	20à27.5	225à315
6 : Excessivement salé	27.5à40	315à620
7 : Hyper salé	>50	>620

Par ailleurs, la F. A. O (1984), propose une autre classification des sols selon leurs degrés de salinité en contribuant des CE à 25 °C pour la pâte saturée dS/m

CE 4 (dS/m).....Sol légèrement salin ;

CE 4 - 8 (dS/m)..... Sol modérément salin ;

CE 8 – 16 (dS/m)..... Sol gravement salin ;

CE 16 (dS/m)..... Sol à salinité très grave.

### 1.9 Effet de la salinité

#### 1.9.1. Effet de la salinité sur le sol

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

-Un taux de sodium échangeable élevé a pour effet une dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de la perméabilité, de la porosité et un tassement des sols.

-Une dégradation de la structure du sol accentue l'érosion par l'eau et par le vent des sols salins et sodiques. Quand la dégradation des sols se produit dans des zones arides, semi-arides et semi-humides, on assiste à ce que l'on appelle une désertification (Lassana, 1991).

**1.9.2. Effets de la salinité sur les propriétés physiques du sol** : Une grande quantité de sels solubles peut affecter les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la hauteur de la perméabilité hydraulique (Servant, 1970; Cheverry, 1972; Aubert 1983; Halitim et al, 1988).

#### 1.9.3. Effet de la salinité sur les propriétés chimiques du sol

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

---

- **pH (potentiel hydrogène):** La réaction du sol (pH) est influencée par la nature de sels. Alors que certains sels sont acidifiants ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$ ) d'autres sont alcalinisants ( $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

### - 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). De ce fait, 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).

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).

Cependant, Le taux de sodium échangeable à une grande importance dans les sols alcalins, Vu que ces derniers retiennent de faible concentration en sels solubles et la grande quantité de sodium se trouve sous la forme échangeable. Tandis que dans les cas des sols salés la grande partie de sodium se trouve dans la solution du sol.

$$\text{ESP} = \text{Na}^+ \times 100 / \text{C.E.C.}$$

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) :

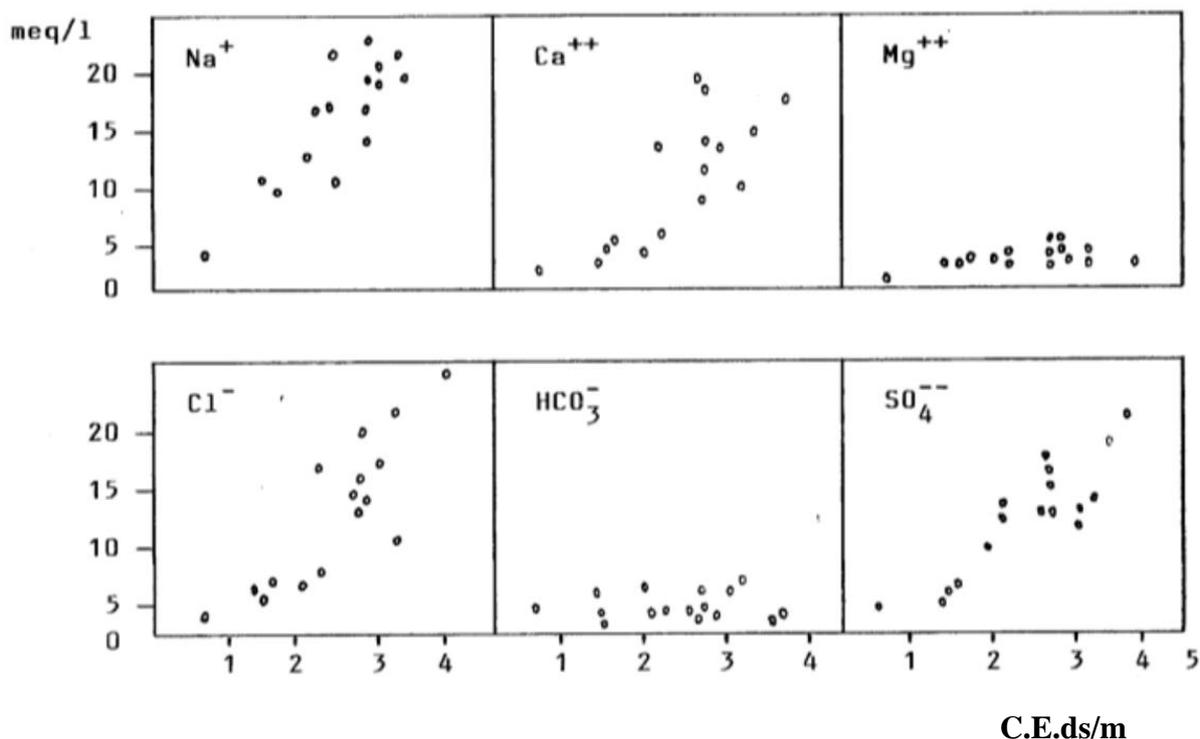
$$\text{S.A.R.} = \text{Na}^+ / ((\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2)^{1/2}. \quad \text{Na}^+, \text{Mg}^{2+} : \text{en méq/l.}$$

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

Tous les paramètres de rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit.

### 2. La relation entre les sels solubles et l'accroissement de la conductivité électrique "CE".

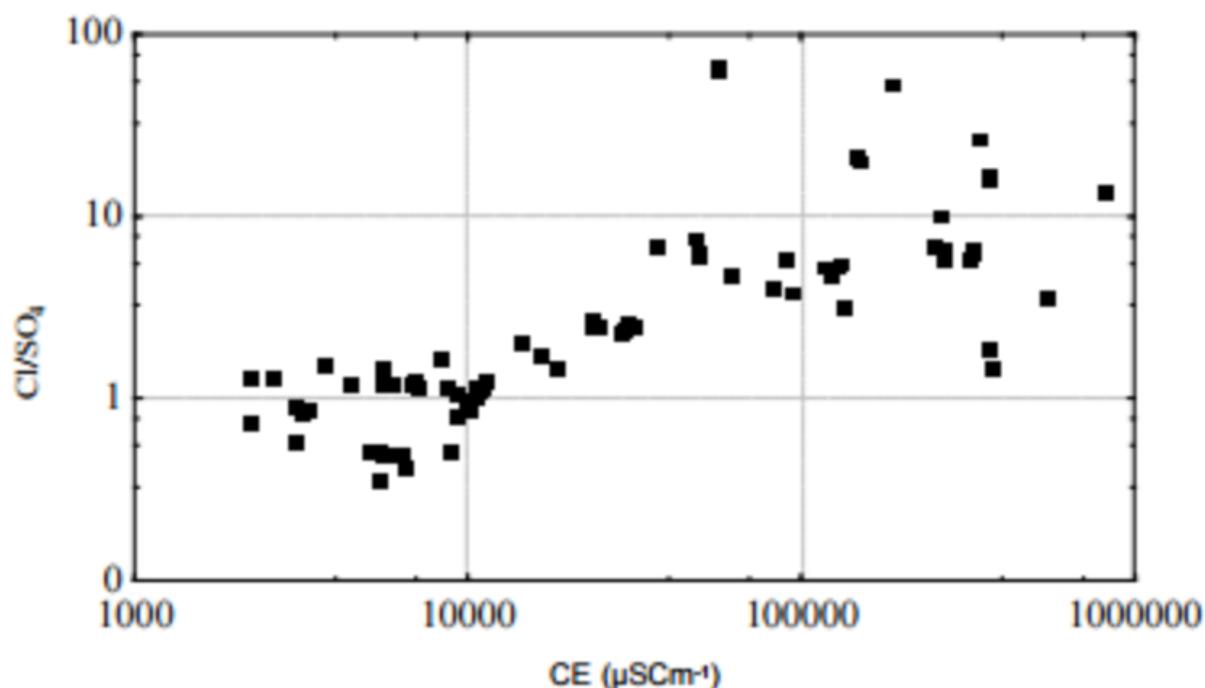
L'évolution de la salinité entraîne une variation de la composition chimique de la solution du sol qui varie en fonction de la conductivité électrique qui engendre généralement une augmentation de la concentration en  $\text{Na}^+$  et en  $\text{Cl}^-$  (figure 4). Concernant les autres ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{HCO}_3^-$  leur évolution n'est pas toujours proportionnelle à la conductivité électrique (Daoud, 1990).



**Figure 4** : Evolution de la composition chimique de la solution du sol en

En fonction de sa concentration (Daoud, 1990).

Par ailleurs, dans le même sens, Ziza (2006) a montré qu'en zone saharienne, une augmentation de la salinité engendre une augmentation de la concentration en chlore. De même, Nezli et al. (2007) ont montré une augmentation du rapport  $Cl/SO_4$  en fonction du niveau de conductivité électrique sur l'eau de nappe (Figure 5).



**Figure 5 :** Evolution du rapport chlorures/sulfates en fonction de la Conductivité électrique (Nezli et al, 2007).

### 3. Les faciès chimiques prédominants dans les sols salés de la région de Relizane

Selon l'origine et la nature chimique des sels, différents faciès salins apparaissent dans les sols. Ils sont caractérisés soit par la présence de sels plus ou moins solubles (sulfates mixtes dérivés de sulfures, chlorures et sulfates neutres, carbonates ou bicarbonates), soit par la présence de cations (sodium, magnésium) énergiquement fixés sur le complexe d'échange des sols. Alors que les manifestations de ces derniers sont peu visibles dans les paysages, leurs effets sur les sols se révèlent au moins aussi nocifs et plus durables que ceux des sels solubles.

La détermination des faciès chimique se base sur la proportion des cations et des anions dans la solution du sol.

Ait Machedal Mouloud(2014), signale trois types de faciès chimiques de la solution des sols salés de la région de Relizane. Un faciès chloruré sodique qui domine la solution des sols, les faciès de type chloruré magnésien et le faciès chloruré.

Le faciès chloruré sodique est observé au niveau des solutions qui ont une conductivité électrique "CE" élevée. Les autres faciès sont observés pour des niveaux de CE plus faible varie entre 0.72dS/m et 1.63dS/m. Donc, ces sols évoluent donc selon la voie saline neutre à dominante chlorurée (Marlet, 2006).

### **4. Effet de la salinité sur les plantes**

La salinité pose un problème dès l'instant où l'accumulation de sel dans la zone racinaire atteint une concentration qui provoque une baisse de rendement et ralentit la croissance des végétaux (Boulaine, 1974; Boly, 1975 ; FAO, 1998 ; In Menacer, 2009), il faut d'abord rappeler que sur les plantes spontanées ou cultivées la salinité a deux actions bien distinctes qui peuvent très souvent se produire simultanément.

L'intoxication par les sels qui provoque la décoloration (chlorose); les végétaux ne parviennent pas à absorber les quantités d'eau qui leur sont nécessaires par ce que les sels accumulés dans leur tissu ont tendance à se substituer aux substances organiques qui jouent un rôle dans le phénomène d'osmose c'est le flétrissement prématuré de la plante. La sécheresse physiologique qui détermine la mortalité des sujets (Aubert, 1963 ; in Benzahi, 1994).

# *Chapitre II.*

## *Matériel et méthode*

## 1. Localisation de la zone d'étude

La plaine du Bas-Chélif qui s'étale sur plus de 60000 ha se situe à l'extrémité nord du bassin du Chélif (nord-ouest de l'Algérie), à environ 250 km à l'ouest d'Alger et à 35 km à vol d'oiseau de la méditerranée.

La plaine du Bas-chélif est limitée par la plaine du Moyen-Chélif à l'est, la plaine de la Mina à l'ouest, le massif du Dahra au nord et le massif de l'Ouarsenis au sud. Elle fait environ 50 km de longueur sur une largeur variant 6 Km à l'Est à plus de 20 Km à l'Ouest.

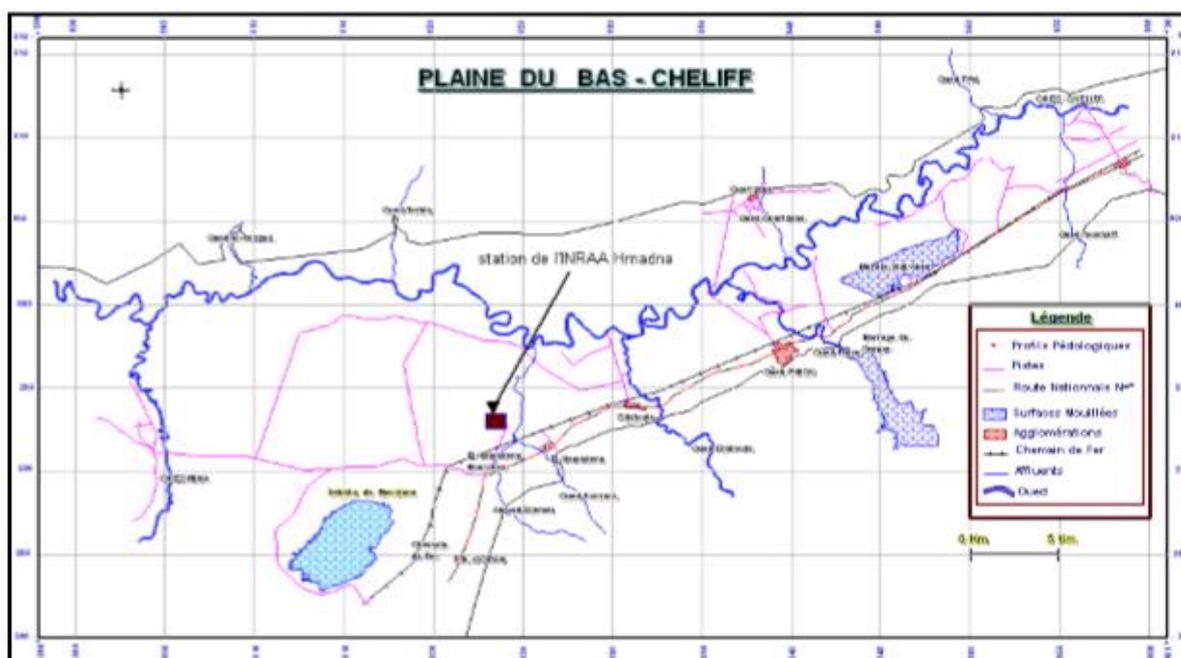


Figure 6: Localisation de la plaine du Bas-Cheliff. (RATA M, 2002)

## 2. Le climat

Le climat des plaines du Chélif et tout particulièrement celui du Bas-chélif est un climat spécifique très rude et très contrasté par ses étés très chauds et des températures basses en hiver à tels point qu'il a été cité comme une curiosité climatique par Seltzer (1946).

### 2.1. La pluviométrie

La région d'étude a connu durant la dernière décennie des cycles de sécheresse s'étalant de 1987 à 1990 et de 1992 à 1995. Les précipitations moyennes annuelles en pluviométrie restent

## Chapitre II : Matériel et méthode

inférieures à 250 mm. Généralement, la pluie tombe sous forme d'averse de courte durée donc de forte intensité causant ainsi des inondations en quelques endroits de la plaine.

Le tableau VI montre que le mois de janvier est le mois le plus pluvieux (33mm) avec un nombre de jours de pluie le plus élevé (7 jours). La période estivale s'étalant entre juin et août est la moins pluvieuse dans l'année, elle est de un jour de pluie par moins. La faible pluviosité est enregistrée durant le mois de Juillet avec une pluviométrie égale à 1 mm (Douaoui, 2005).

**Tableau VI:** Données pluviométriques de la station météorologique de Hmadna (1985-2002).

<b>Paramètres</b> <b>Mois</b>	<b>Moyenne des précipitations mensuelles (mm)</b>	<b>Précipitations Max/j (mm)</b>	<b>Nombre de jours de pluie/mois</b>
Janvier	33	10	7
Février	31	10	6
Mars	29	11	5
Avril	24	11	4
Mai	13	7	3
Juin	3	2	1
Juillet	1	1	1
Août	2	1	1
Septembre	17	12	3
Octobre	18	13	4
Novembre	33	14	6
Décembre	26	11	6
Somme	230	103	47

### 2.2. La température

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

## ***Chapitre II : Matériel et méthode***

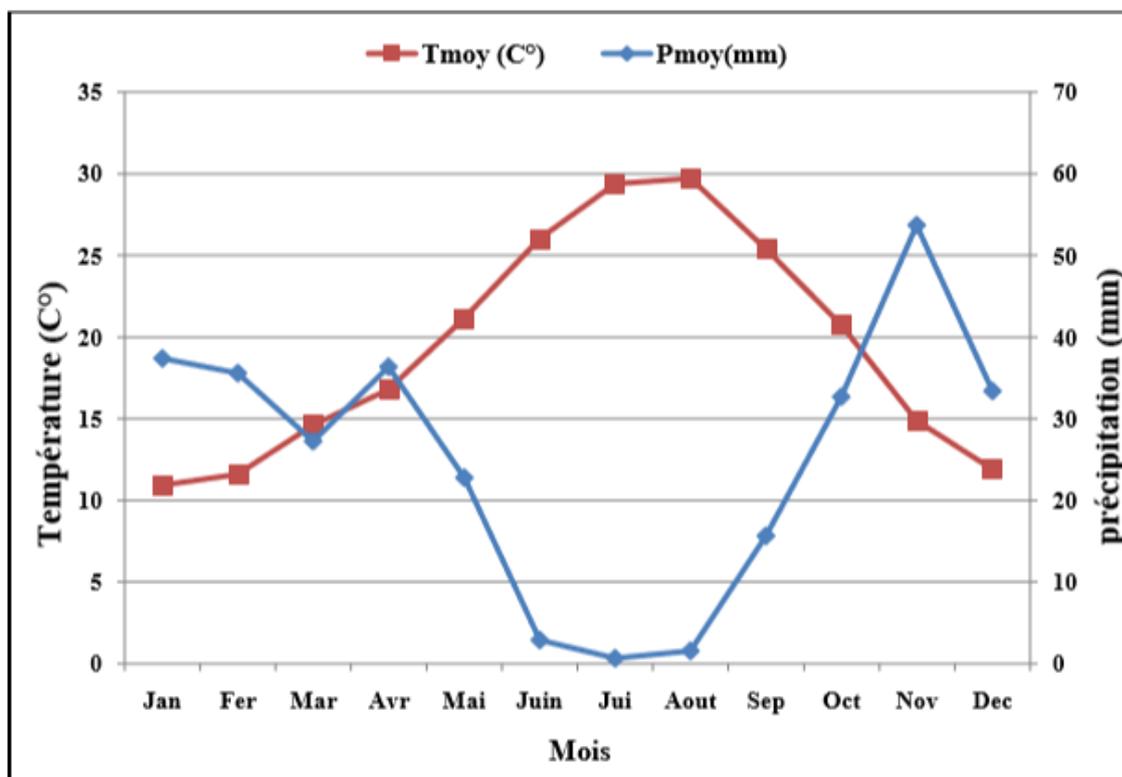
La caractéristique de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minimums et des maximums, la moyenne mensuelle, le minimum absolu et le maximum absolu ainsi que l'amplitude thermique (Djebailli, 1984).

A partir du tableau VII nous constatons que le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août, où elles atteignent un maximum de 38°C en moyenne, ce qui correspond à une forte évaporation et une remontée capillaire de la nappe qui se trouve parfois à un mètre de profondeur. En présence d'une nappe salée, cette remontée capillaire contribue dans la salinisation des sols de la région.

**Tableau VII :** Moyennes mensuelles des températures minimales et maximales de la station météorologique de Hmadna (1985-2002).

<b>Paramètres Mois</b>	<b>Moyennes mensuelles des températures minimales (°C)</b>	<b>Moyennes mensuelles des températures maximales (°C)</b>	<b>Moyennes mensuelles des températures (°C)</b>
<b>Janvier</b>	5	18	12
<b>Février</b>	7	21	14
<b>Mars</b>	9	24	17
<b>Avril</b>	13	29	21
<b>Mai</b>	17	33	25
<b>Juin</b>	20	38	29
<b>Juillet</b>	21	38	30
<b>Août</b>	17	32	25
<b>Septembre</b>	13	27	20
<b>Octobre</b>	10	21	15
<b>Novembre</b>	6	17	12
<b>Décembre</b>	5	18	12

Le diagramme ombrothermique de la station climatique de Hmadna entre 1985 et 2002 (figure 07) montre que la période de sécheresse est très longue, elle s'étale sur huit mois, allant de mars à octobre.



**Figure 07:** Diagramme ombrothermique de la station climatique de Hmadna (1985-2002).

### 3. La pédologie

D'après Boulaine (1957) il existe deux grandes divisions des sols :

**-Les sols des bordures plaines :** ces sols sont formés par des associations de sols plus ou moins érodés, qui peuvent évoluer sur du calcaire dur ou tendre, des grès ou des marnes.

Lorsque la roche n'affleure pas à la surface, ce sont des sols généralement calcimagnésiques, le plus souvent rendziniformes avec parfois la présence d'une croûte calcaire. Ils sont toutefois, bien représentés dans la partie sud de la plaine (piémonts de Dahra) avec une texture équilibrée et une et une bonne structure et présentent de ce fait une bonne perméabilité. Ces sols sont caractérisés par des teneurs moyennes en calcaire total et par

l'absence de la salinité ; toutefois, leur irrigation par des eaux chargées en sels peut être responsable d'une salinisation secondaire qui se manifeste localement comme c'est le cas de certaines parcelles du périmètre d'Ouarizane.

**-Les sols de la plaine proprement dite :** cinq classes ont été décrites : les sols salés, les sols hydromorphes, les vertisols, les sols peu évolués (alluviaux et colluviaux) et les sols calcimagnésiques.

Dans la classe des sols salés, Boulaine (1957) distingue les Solontchaks inertes avec accumulation des sels en surface ou en profondeur, les Solontchaks vifs (horizon de surface à structure micropolyédrique en pseudo-sables durant l'été) pouvant être parfois hydromorphes, les Solontchaks vifs défloculés (dispersés en surface), les Hyposolontchaks et les solonetz des lunettes érodées. Ces derniers, se trouvant uniquement sur les collines qui entourent la sebkha de Benziane, se sont formés à partir des formations d'origine éoliennes.

Les solontchaks vifs défloculés étaient localisés, selon Boulaine (1957), à la rupture de pente qui borde l'auréole de la sebkha de Benziane. Actuellement, ils apparaissent également dans d'autres zones telles qu'au niveau de la partie nord-ouest du périmètre de Hmadna.

### **3.1. Types de sols**

La carte des sols établie par McDonald et BNEDER (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural) (1990) selon la CPCS (1967) montre l'existence des mêmes types de sols dans la plaine. Ces sols sont :

- Les sols peu évolués d'apport alluvial ;
- Les sols peu évolués d'apport colluvial ;
- Les vertisols ;
- Les sols calcimagnésiques ;
- Les sols hydromorphes ;
- Les sols salsodiques.

Il faut signaler que souvent dans le Bas-chélif, la présence des sels est tellement importante qu'ils deviennent apparents à l'examen visuel sous forme d'efflorescences salines.

## 4. Hydrologie et hydrogéologie

Les périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif, y compris celui de Hmadna, sont alimentés par des eaux superficielles et des eaux souterraines. Les eaux superficielles sont constituées essentiellement par le barrage de Gargar (sur l'oued Rhiou) et la retenue de la Merdjet Sidi Abed qui est alimentée par l'oued Chlef. Les eaux souterraines sont très exploitées vue la demande en eau pour l'irrigation. Il existe deux types de nappes:

- Des nappes superficielles alimentées par la pluie, l'excès d'eau d'irrigation, et par remontée verticale à partir de la nappe profonde ;
- Des nappes de profondeur alimentées par les écoulements souterrains près des limites latérales de la vallée, ou par les cours d'eau d'affluents de l'oued Chlef, ainsi que les formations aquifères latérales. L'hydrologie et hydrogéologie sont des paramètres à prendre en considération dans l'étude de la salinisation des sols de la région.

## 5. Méthodologie

Ce travail a pour but d'étudier l'évolution temporelle de la salinité du sol dans la région de Relizane. Il s'agit de caractériser la solution des sols, de définir les profils de distribution des sels dans les sols, de déterminer la vitesse de la salinisation mensuelle et de cerner l'évolution temporelle de la salinité entre la saison sèche et la saison humide.

La CE moyenne du profil est calculée selon la formule suivante :

$$\frac{\sum(\text{CE de chaque horizon} \times \text{l'épaisseur de l'horizon})}{\text{épaisseur du profil}} \text{ (Ait Mechedal, 2014).}$$

. L'écart de la salinité moyenne des profils est obtenu par différence entre les valeurs de la CE de la saison humide et celle de la CE de la saison sèche. La vitesse de salinisation mensuelle est obtenue par une division de l'écart par le temps (mois). La durée de la saison humide dans la région de Relizane est de 4 mois et celle de la saison sèche est de 8 mois. Par conséquent lorsqu'il s'agit d'étudier la vitesse de salinisation entre la saison humide et la saison sèche l'écart est divisé par 8.

Nous avons étudiés trois profils (P) (P1, P2 et P3) (figure 7) pendant deux périodes (humide/sèche). Le choix de ces profils répond aux critères diagnostiques du groupe solonchak tel qu'il est défini par la classification WRB (2014).

D'après la WRB (2014) un solonchak doit se caractériser, par la présence d'un horizon salique. Celui-ci doit avoir sur toute sa profondeur :

- Une conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée supérieure à 15dS /m à 25C° à un moment de l'année.
- Une CE de plus de 8 dS/m à 25C° si le pH (H<sub>2</sub>O) de l'extrait de pâte saturée dépasse 8.5 (Pour les sols carbonatés alcalins) ou est inférieur à 3.5 (pour les sols sulfatés acides).
- Une épaisseur d'au moins 15 cm.
- Un produit de l'épaisseur en (cm) et de la CE en (dS/m) supérieur ou égal à 450 ou plus
- Absence d'un horizon sulfurique (thionic).

Les trois profils étudiés se localisent dans les endroits suivants (figure 08) :

\*Le profil P1 se trouve dans la plaine de la Mina qui constitue la limite ouest du Bas- Chélif ;

Coordonnées géographiques : Longitude 0° 29' 31.2'' E

Latitude 35° 44' 17.0'' N

\* Le profil P2 se trouve à Gaâ c'est une dépression fermé qui se trouve sur la rive droite de L'oued Mina ;

Coordonnées géographiques : Longitude 0° 33' 22.0'' E

Latitude 35° 47' 44.33'' N

\*Le profil P3 se trouve dans la station de L'INRA de Hmadna dans la partie Est du Bas-Chélif (figure 08).

Coordonnées géographiques : Longitude 0° 44' 59,6'' E

Latitude 35° 57' 47,5'' N

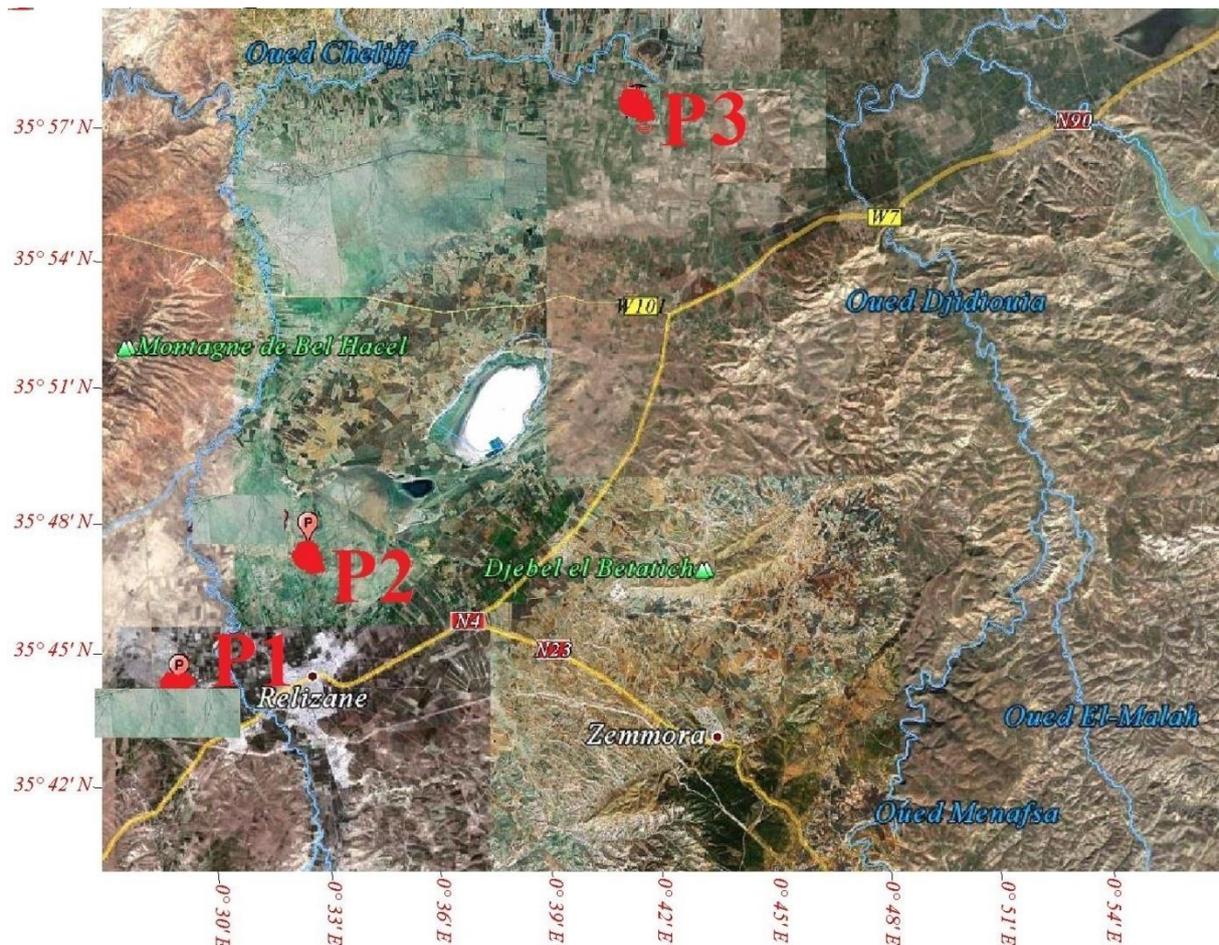


Figure 08. Localisation des profils

## 5.1. Analyses du sol

Pour le sol nous avons utilisé les données obtenus par les méthodes suivantes :

- L'analyse granulométrique : méthode internationale à la pipette de Robinson.
- La conductivité électrique (pâte saturée) : méthode électrique.
- Le pH : réalisé sur l'extrait de la pâte saturée.
- Calcaire total : méthode volumétrique au calcimètre de Bernard.
- Le gypse : dosage par attaque puis précipitation, par le chlorure de baryum.

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

## ***Chapitre II : Matériel et méthode***

---

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

Afin de mieux analysé les données, nous avons utilisé l'ACP (analyse en composante principale). Cette analyse nous permet de déterminé les anions et les cations de la solution du sol qui ont le plus de poids sur la variation de la salinité. A cet effet, nous avons utilisé le logiciel Excel- stat.

## *Chapitre III.*

### *Résultats et discussion*

# Chapitre III : Résultats et discussions

Le présent chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats analytiques des sols étudiés. Cette étude vise à montrer l'évolution temporelle (saisonnière) de la salinité du sol à l'échelle de trois profils.

## 1. Résultats des analyses des profils

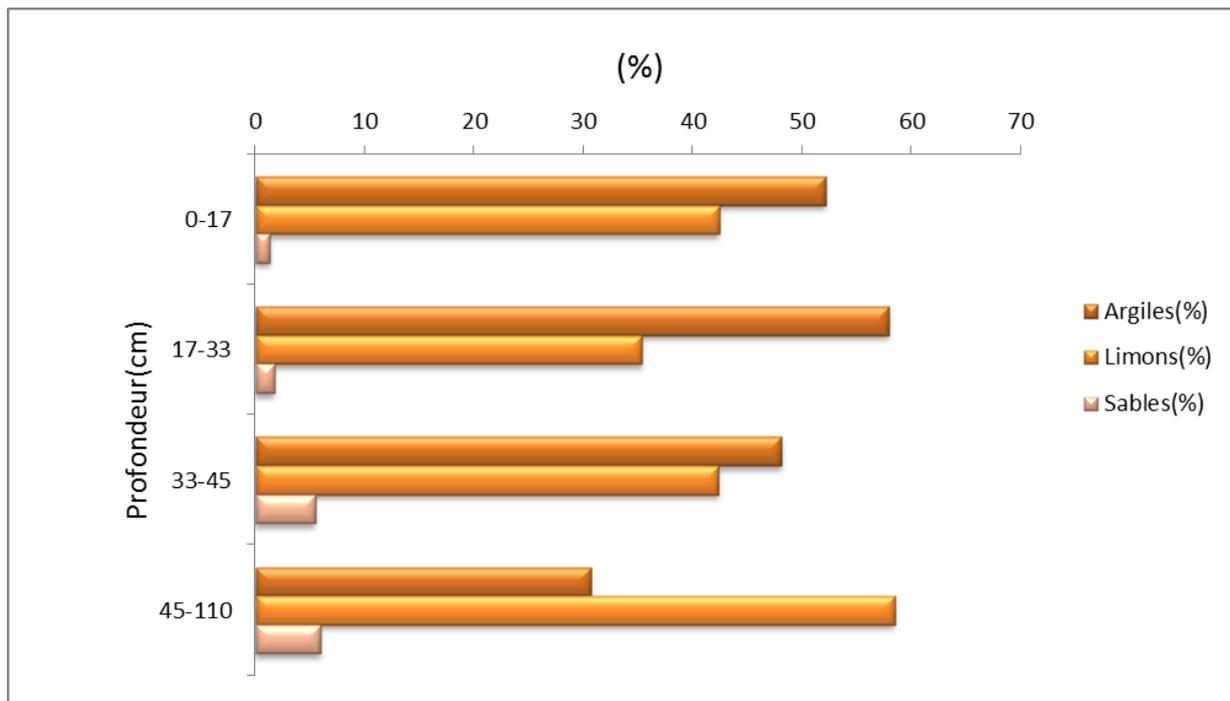
### 1.1. Analyse des constitutions du profil 1

**Tableau VIII.** Résultats analytiques des constituants du profil 1

	<b>Horizons</b>	<b>Profondeur (cm)</b>	<b>Gypse (%)</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>MO (%)</b>	<b>Argiles (%)</b>	<b>Limons (%)</b>	<b>Sables (%)</b>
<b>Profil 1</b>	<b>H1</b>	0-17	0.71	23.51	0.82	52.1	42.4	1.3
	<b>H2</b>	17-33	0.81	20.27	2.47	57.9	35.3	1.7
	<b>H3</b>	33-45	2.678	21.89	0.17	48.1	42.3	5.4
	<b>H4</b>	45-110	0.88	20.27	/	30.6	58.4	5.9

#### 1.1.1. La granulométrie

Les résultats granulométriques (tableau VIII et figure 9) montrent une dominance de la fraction limoneuse ( $58.4 > \text{limons}(\%) > 35.3$ ), mais également une dominance de la fraction argileuse ( $57.9 > \text{argiles}(\%) > 30.6$ ) dans l'ensemble des horizons. La fraction sableuse est très faible, elle entre 1.3% et 5.9%. Donc la texture du profil étudié est constituée essentiellement de limon et d'argile. De ce fait, la texture est limono-Argileuse.



**Figure9.** Distribution granulométrique du profil 1.

## 1.1.2. Le calcaire total

Les teneurs en carbonate de calcium sont élevés, varient entre 20.27% et 23.51% (tableau VIII). Donc, le profil étudié est modérément calcaire.

## 1.1.3. Le gypse

Les teneurs en gypse sont très faibles dans l'ensemble du profil 1, elles varient entre 0.71% et 2.67% (tableau VIII). Ces résultats démontrent que le profil étudié n'est pas gypseux.

## 1.1.4. La matière organique

Le taux de la matière organique est très faible dans l'ensemble du profil, ces teneurs varient de 0% à 2.47%(tableauVIII). Donc nous concluons que le profil 1 est pauvre en matière organique.

## 1. 2. Analyse des constitutions du profil 2

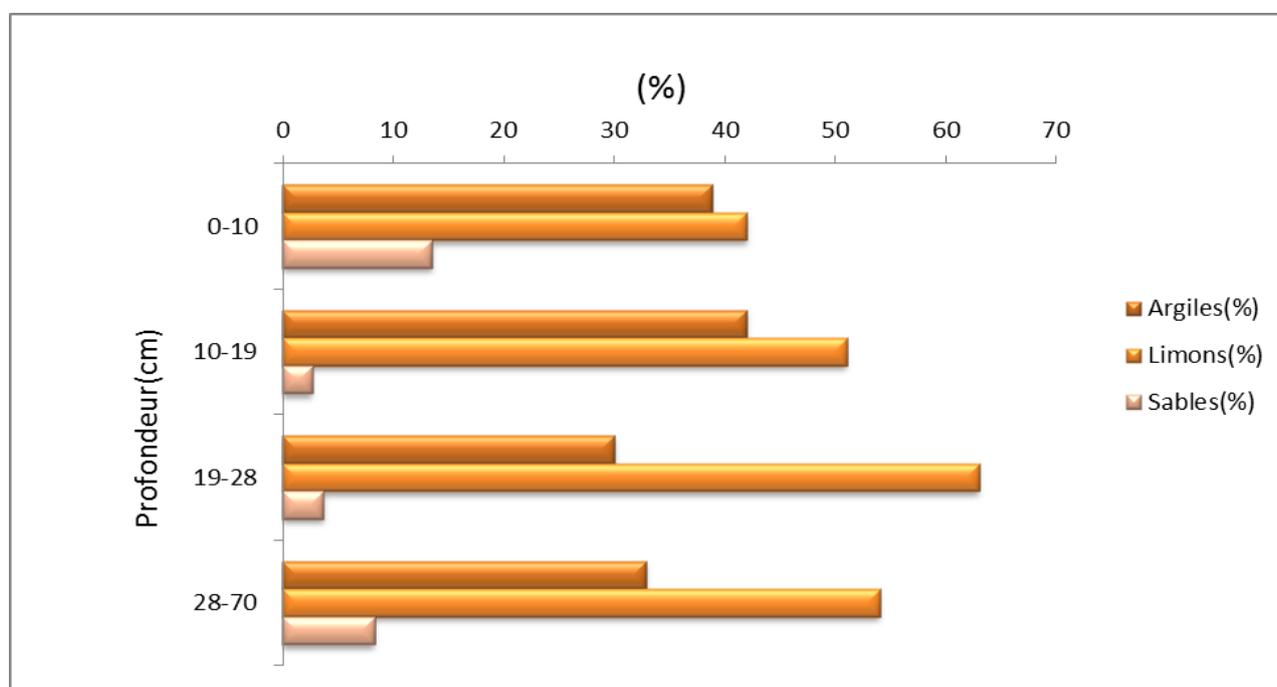
Les résultats analytiques du profil 2 sont présentés dans le tableau IX

**Tableau IX.** Résultats analytiques des constituants du profil 2

	Horizons	Profondeur (cm)	Gypse (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	MO (%)	Argiles (%)	Limons (%)	Sables (%)
	<b>Profil 2</b>	<b>H1</b>	0-10	0.34	18.09	2.47	38.8	42.0
<b>H2</b>		10-19	0.65	22.29	/	42.0	51.2	2.7
<b>H3</b>		19-28	0.66	19.0	/	30.0	63.2	3.7
<b>H4</b>		28-70	0.79	21.48	/	32.0	54.6	8.3

### 1.2.1. La granulométrie

D'après le tableau IX et la figure 10 la composition granulométrique des différents horizons du profil est dominée par les limons ( $63.2 > \text{limons}(\%) > 42.0$ ), et les argiles ( $42.0 > \text{argiles}(\%) > 30$ ), les sables présentent une faible proportion varie entre 2.7% et 13.5%. D'une manière générale, la texture du profil étudié est limono-argileux.



**Figure10.** Distribution granulométrique du profil 2.

## 1.2.2. Le calcaire total

Les teneurs en carbonate de calcium sont élevés dans l'ensemble des horizons de profil elles varient entre 18.09% et 22.29% (tableau IX). Ces résultats montrent que le profil étudié est moyennement calcaire.

## 1.2.3. Le gypse

Les teneurs en gypse varient peu dans l'ensemble du profil 2, elles oscillent entre 0.34% et 0.79% (Tableau IX). Ceci indique que le profil est très pauvre en gypse.

## 1.2.4. La matière organique

Le taux de la M.O est très faible dans le profil 2, il est 2.47% dans l'horizon de surface et nul dans les autres horizons (tableau IX). Ces résultats montrent que le profil étudié est pauvre en matière organique.

## 1.3. Analyse des constitutions du profil 3

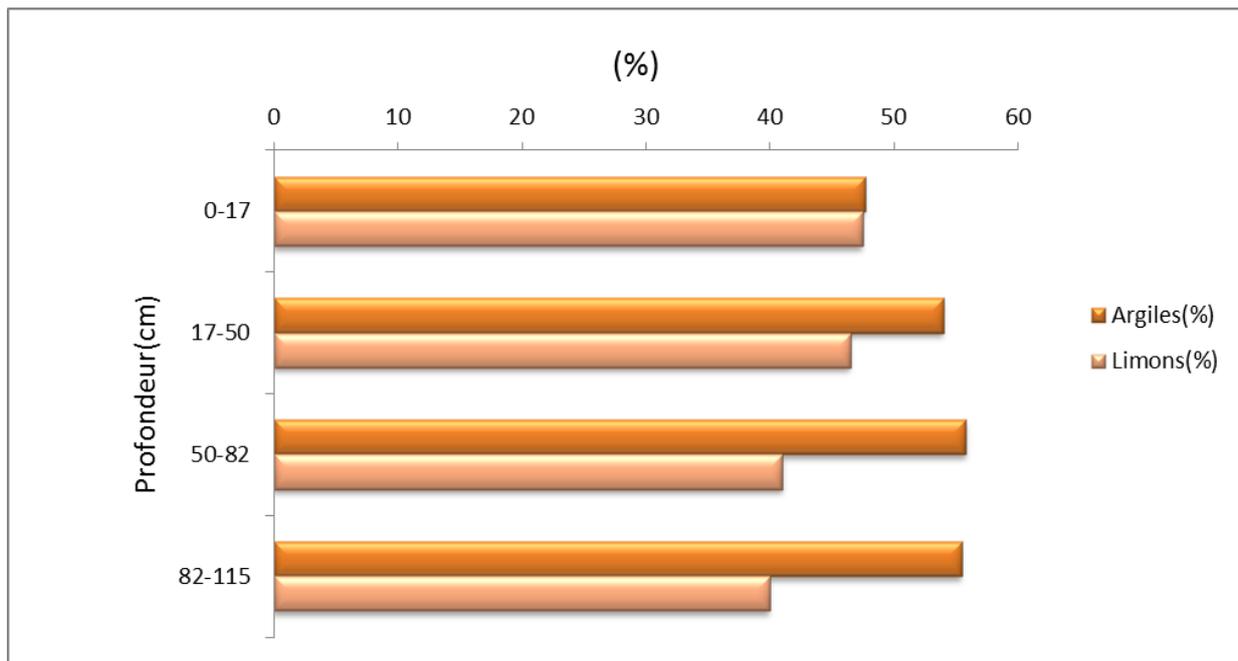
Les résultats analytiques du profil 3 sont indiqués dans le tableau X

**Tableau X.** Résultats analytiques des constituants du profil 3

	<b>Horizons</b>	<b>Profondeur (cm)</b>	<b>Gypse (%)</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>MO (%)</b>	<b>Argiles (%)</b>	<b>Limons (%)</b>	<b>Sables (%)</b>
<b>Profil 3</b>	<b>H1</b>	0-17	1.5	17.02	2.47	47.7	47.5	<1
	<b>H2</b>	17-50	/	17.83	2.4	54.0	46.5	<1
	<b>H3</b>	50-82	/	28.47	/	55.8	41.0	<1
	<b>H4</b>	82-115	/	18.44	/	55.8	40.0	<1

### 1.3.1. La granulométrie

Le tableau X et la figure 11 montrent que les argiles sont dominante comparativement à celle des limons dans l'ensemble des horizons du profil, concernant la fraction sableuse est pratiquement nulle (<1%). De ce fait, la texture est argilo-limoneuse.



**Figure 11.** Distribution granulométrique du profil 3.

### 1.3.2. Le calcaire total

Les teneurs en carbonate de calcium sont élevées dans l'ensemble des horizons de profil, elles varient entre 17.02% et 28.74% (tableau X). Ces résultats montrent que le profil 3 est calcaire.

### 1.3.3. Le gypse

La teneur en gypse est nulle dans les trois horizons (H2, H3, H4), seul le premier horizon qui enregistre une faible proportion (1.5%) (tableau X). Ces résultats montrent que le profil étudié n'est pas gypseux.

### 1.3.4. La matière organique

Le taux de la M.O du profil 3 est très faible, il est de 2.4% dans les horizons (H1, H2) et nul dans les autres horizons (tableau X). Ces résultats montrent que le profil étudié est bien pauvre en matière organique.

## 2. Analyse de la solution du sol

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

Les résultats analytiques de la solution du sol du profil 1 sont présentés dans le tableau XI.

# Chapitre III : Résultats et discussions

**Tableau XI.** Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 1.

Horizons	pH	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Ca <sup>++</sup> (meq/l)	Mg <sup>++</sup> (meq/l)	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (meq/l)	SAR
H1	7.63	135.6	10.16	30.64	50.25	200	2	30	18
H2	7.45	200.65	3.82	26.67	50.25	240	2	30	32
H3	7.18	208.27	4.00	78.82	135.63	373.91	8	94.2	20
H4	7.3	322.04	4.94	36.92	215.08	539.13	9	80.6	2

Les valeurs de la salinité du profil 1 au cours de la période sèche et humide sont indiquées dans le tableau XII.

**Tableau XII.** La conductivité électrique de la solution du sol pour les deux périodes  
(humide/sèche)

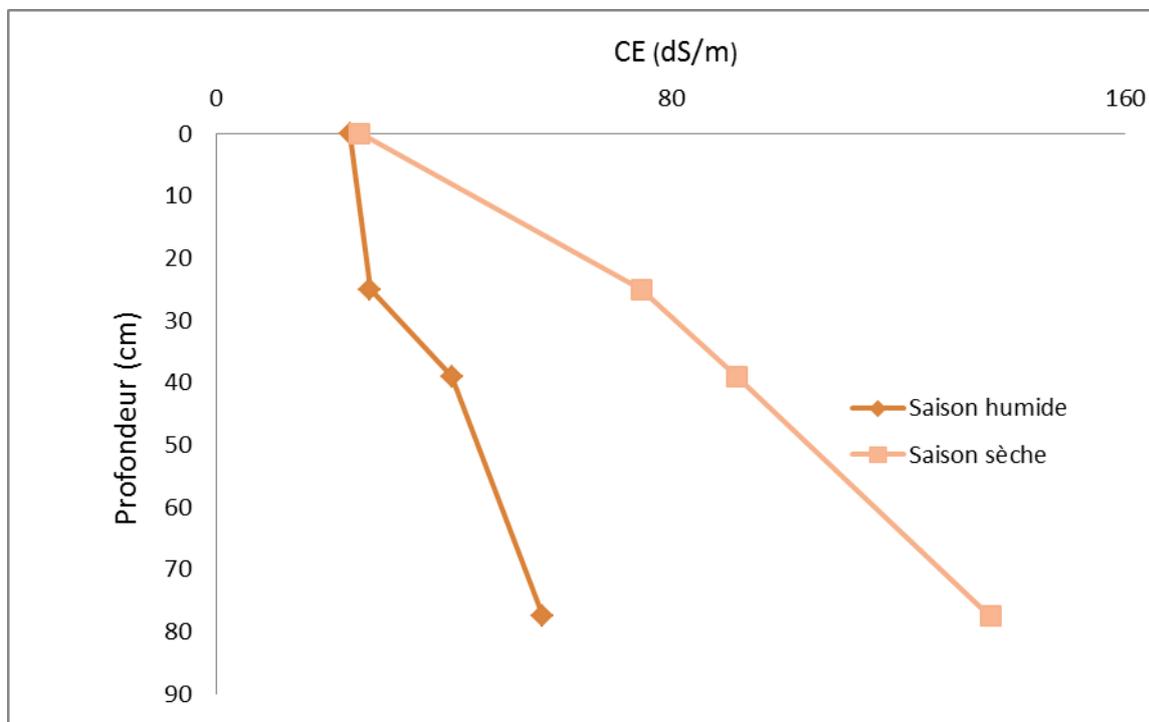
	Horizons	Profondeur (cm)	CE (dS/m)	
			Période humide	Période sèche
Profil 1	H1	17	23.5	25.20
	H2	16	27.1	74.80
	H3	12	41.5	91.60
	H4	65	57.4	136.30

## 2.1.1. La salinité

La distribution des sels en fonction de la profondeur durant la période humide (tableau XII et figure 12) montrent une forte salinité au niveau de l'horizon de profondeur (CE=57.4 dS/m). La salinité est relativement faible au niveau de l'horizon de surface (CE=23.5dS/m). Le profil salin de cette période humide est de type descendant.

Par contre pendant la période sèche (tableau XII et figure 12) nous remarquons une forte augmentation de la salinité dès le premier horizon (CE=25.2dS/m) jusqu'au dernier horizon (CE=136.3dS/m).

Ces résultats montrent un accroissement de la salinité aux niveaux des horizons de profondeur. Le profil salin du profil1 est de type descendant. D'une manière générale, ce profil est marqué par une forte salinité pendant la saison sèche.



**Figure 12.** Profil salin du profil 1 pour les deux périodes (humide/sèche).

## 2.1.2. Le pH

Les valeurs du pH varient entre 7.18 et 7.63 (tableau XI). En générale le pH varie peu dans le sol. La réaction du sol est relativement alcaline.

## 2.1.3. Les cations

A partir du tableau XI et la figure 13 nous remarquons que :

-Le taux de sodium dans la solution du sol est élevé dans l'ensemble du profil1, il varie entre 48.81% et 71.30%. Le  $\text{Na}^+$  c'est le cation le plus abondant dans le profil1.

-Le taux de potassium de la solution du sol est très faible dans l'ensemble des horizons, il varie entre 0.85% et 4.48%.

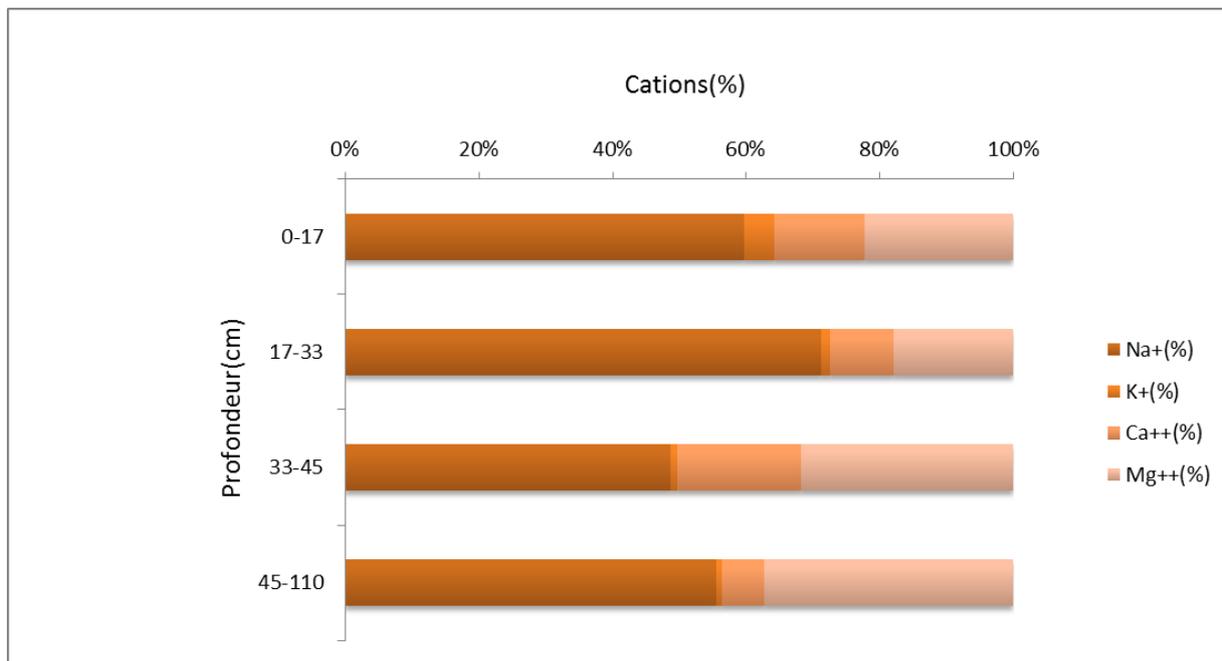
-Le taux de calcium de la solution du sol est faible dans l'ensemble du profil1, il est de 6.38% à 18.47%.

# Chapitre III : Résultats et discussions

-Le taux de magnésium dans la solution du sol varie entre 17.86% et 37.15%, le  $Mg^{++}$  c'est le cation domine après le  $Na^+$ .

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

$Na^+ > Mg^{++} > Ca^{++} > K^+$



**Figure13.** Distribution des cations dans le sol du profil 1.

## 2.1.4. Les anions

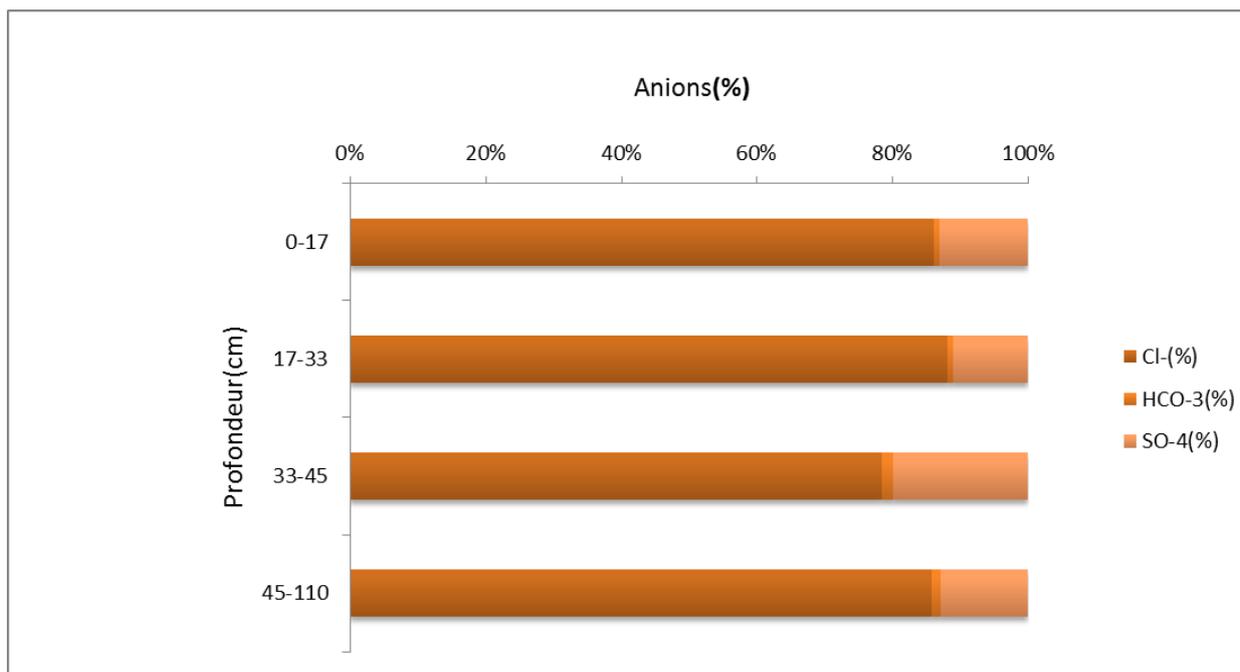
Le tableau XI et la figure 14 montrent situations suivantes :

-Les teneurs en chlore de la solution du sol varient entre une valeur minimale de 78.53% et une valeur maximale de 85.75%. Le  $Cl^-$  est l'anion domine dans le profil2.

-Les teneurs en bicarbonates de la solution du sol sont faibles dans l'ensemble du profil 2, elles varient entre 0.73% et 1.68%.

-Les teneurs en sulfate de la solution du sol varient entre 11.03% et 19.79%. Le  $SO_4^{--}$ , c'est l'anion le plus fréquent après le  $Cl^-$ .

De ce fait, le classement des anions selon leur prédominance, est de type :  $Cl^- > SO_4^{--} > HCO_3^-$



**Figure14.**Distribution des anions dans le sol du profil 1.

## 2.1.5. Le SAR

Les valeurs du SAR sont comprises entre 2 et 32 (tableau XI). Nous concluons que le profil 1 présente un risque d'alcalinité, exception faite pour le dernier horizon où le risque d'alcalinité est faible.

## 2.2. Analyse de la solution du sol du profil 2

**Tableau XIII .**Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 2

Horizons	pH	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Ca <sup>++</sup> (meq/l)	Mg <sup>++</sup> (meq/l)	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	SAR
<b>H1</b>	7.5	248.65	6.24	24.67	101.25	395	1	8.56	31
<b>H2</b>	7.1	16.6	9.23	1.25	5.58	20	6	8.56	8
<b>H3</b>	6.8	70.65	14.45	10.67	25.25	120	3	8	16
<b>H4</b>	7.1	335.8	5.50	38.92	215.08	539	7	8.1	30

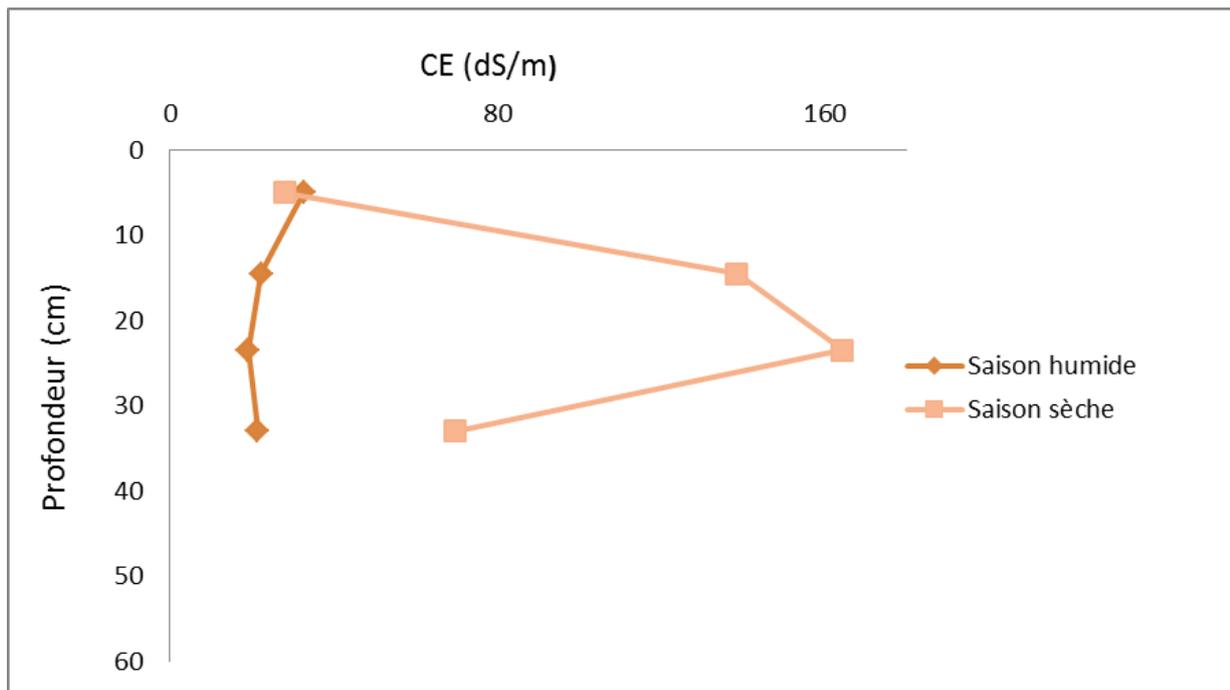
**Tableau XIV.** La conductivité électrique de la solution du sol pour les deux périodes (humide/sèche)

	Horizons	Profondeur (cm)	CE (dS/m)	
			Période humide	Période sèche
<b>Profil 2</b>	H1	10	32.7	28.10
	H2	09	22.29	138.40
	H3	09	19	164.2
	H4	42	21.48	69.60

## 2.2.1. La salinité

Les valeurs de la salinité durant la période humide (Tableau XIV et figure 15) varient entre 19 dS/m et 32.7 dS/m. Cette salinité est très forte à la surface (CE=32.7dS/m) et relativement faible à la partie médiane (CE=19dS/m). La tendance générale du profil salin est de type concave pour la période humide.

Cependant, la période sèche (tableau XIV et figure 15) nous constatons une forte augmentation de la salinité dès le premier horizon (CE=28.10 dS/m) jusqu'au troisième horizon (CE=164.2dS/m). La salinité diminue au niveau du dernier horizon (CE=35.42dS/m). De ce fait, le profil salin est de type convexe.



**Figure 15.** Profil salin du profil 2 pour les deux périodes (humide/sèche).

## 2.2.2. Le pH

Les valeurs du pH varient entre 6,8 et 7,5 (tableau XIII). D'une manière générale, la réaction du sol est relativement alcaline.

## 2.2.3. Les cations

Le tableau XIII et la figure 16 montrent que :

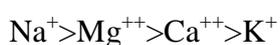
-Le taux de sodium dans la solution est très élevé, il est de 50.83% à 65.30%. Le  $\text{Na}^+$  est le cation dominant dans le profil 2.

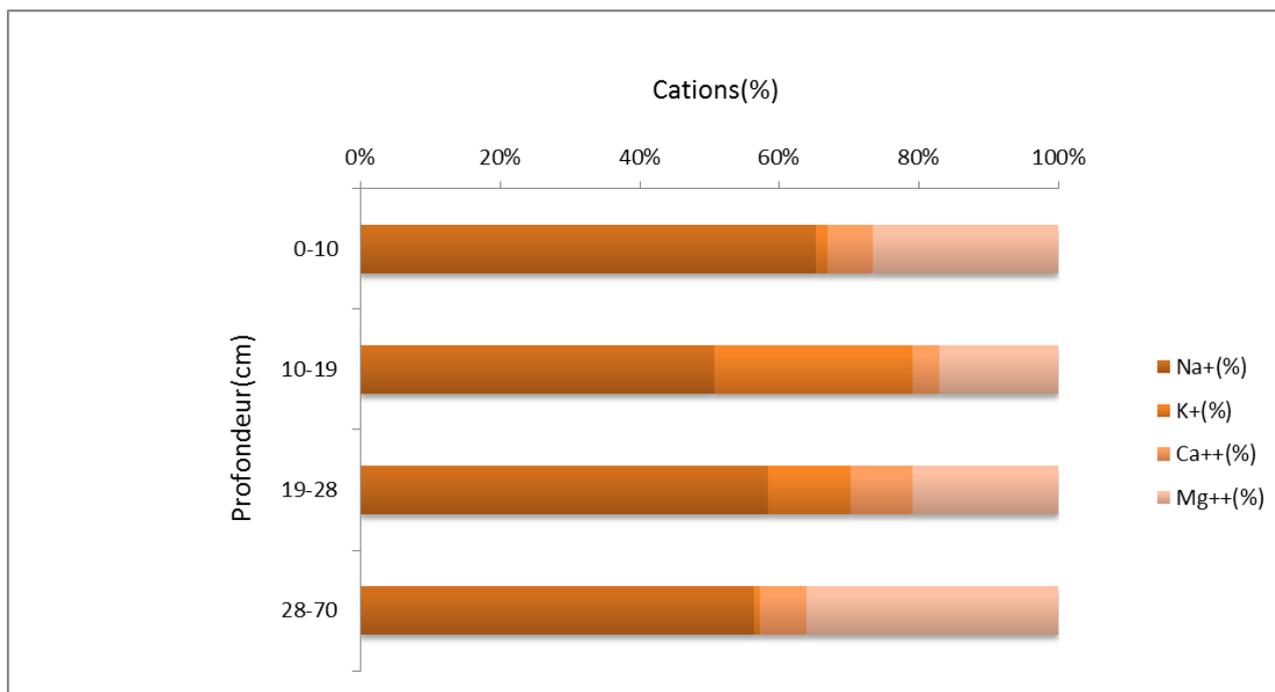
-Le taux de potassium de la solution du sol varie entre 0.92% et 28.26% dans l'ensemble du profil 2.

-Le taux de calcium de la solution est faible, il est de 3.83% à 8.86% dans l'ensemble du profil.

-Le taux de magnésium dans la solution du profil 2 varie entre 17.08% et 36.13%. Le cation  $\text{Mg}^{++}$  est le cation le plus représenté après le  $\text{Na}^+$ .

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





**Figure 16.** Distribution des cations dans la solution sol du profil 2.

#### 2.2.4. Les anions

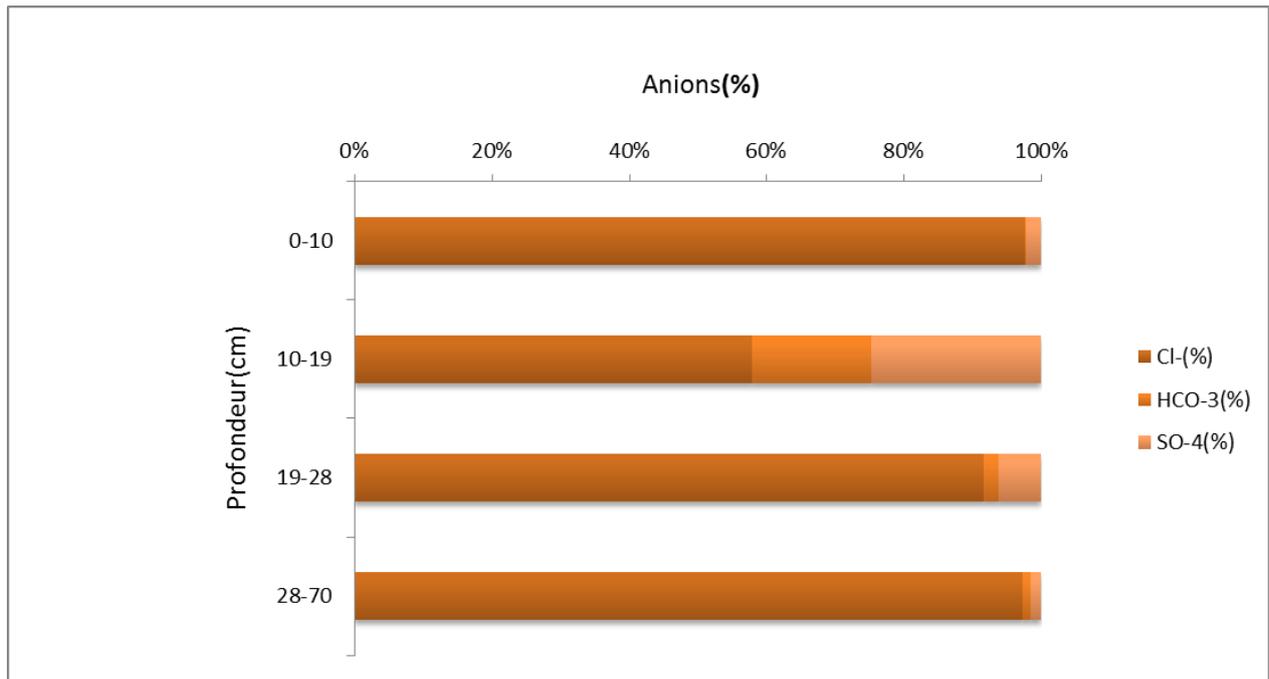
Le tableau XIII et la figure 17 montrent que :

-Les teneurs en chlore de la solution du sol sont très élevés. Elles varient entre une valeur minimale de 57.87% et une valeur maximale de 97.64%. Le  $\text{Cl}^-$  est l'anion domine dans le profil 2.

-Les teneurs en bicarbonates de la solution du sol varient entre 0.25% et 17.36% dans l'ensemble des horizons.

-Les teneurs en sulfate oscillent entre 1.46% et 24.77%.Le  $\text{SO}_4^{--}$  est l'anion le plus fréquent après le  $\text{Cl}^-$ .

De ce fait, le classement des anions selon, leur prédominance, est de type :  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} > \text{HCO}_3^-$ .



**Figure17.**Distribution des anions dans la solution sol du profil 2.

## 2.2.5. Le SAR

Les valeurs du SAR varient entre 8 et 31 (tableau XIII) dans l'ensemble du profil 2. Ces résultats montrent que le profil 2 présente un risque de sodicité.

## 2.3. Analyse de la solution du sol du profil 3

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

Horizons	pH	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Ca <sup>++</sup> (meq/l)	Mg <sup>++</sup> (meq/l)	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	SAR
<b>H1</b>	6.81	20	2.14	1.52	8.58	20	5	12	8.92
<b>H2</b>	7.33	240.6	4.94	26.67	106.25	365	1	5	29.57
<b>H3</b>	7.3	250	1.95	26.67	106.25	386	6	12.4	30.75
<b>H4</b>	7.49	261	0.50	105.6	124.58	355	6	128.4	24.3

**Tableau XVI.** La conductivité électrique de la solution du sol pour les périodes

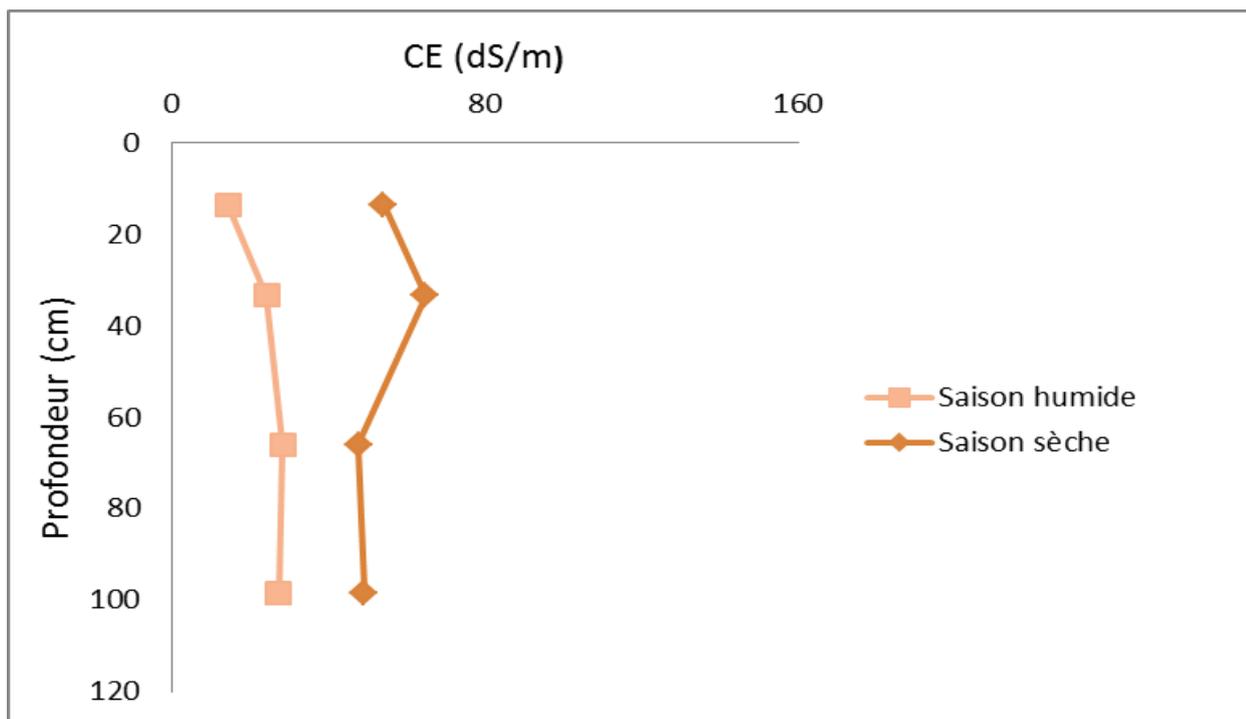
(humide/sèche)

	Horizons	Profondeur (cm)	CE (dS/m)	
			Période humide	Période sèche
<b>Profil 3</b>	H1	17	2.61	54.10
	H2	33	36.2	64.80
	H3	32	32.9	47.90
	H4	33	42.2	49.20

### 2.3.1. La salinité

La distribution des sels en fonction de la profondeur durant la période humide (tableau XVI et figure 18) montre une forte salinité dès le deuxième horizon (CE=36.2dS/m) jusqu'au dernier horizon(CE=42.2dS/m).La salinité est faible au niveau de l'horizon de surface (CE=2.61dS/m). Ceci est dû à une lixiviation des sels solubles, qui se sont accumulées au niveau de l'horizon de profondeur, provoquant ainsi une augmentation de la salinité. Le profil salin est de type descendant.

Cependant, durant la période sèche (tableau XVI, figure 18) on constate que les valeurs de la salinité oscillent entre 47.9 dS/m et 64.8 dS/m. La partie médiane correspond à un maximum de salinité (CE=64.8 dS/m). Ces augmentations de la salinité au niveau de l'horizon de sub-surface serait dû à une remontée capillaire des sels. Donc, le profil salin est de type ascendant.



**Figure 18.** Profil salin du profil 3 pour les deux périodes (humide/sèche).

### 2.3.2. Le pH

Les valeurs du pH varient entre 6,81 et 7,49 (tableau XV). D'une manière générale, la réaction du sol est relativement alcaline.

### 2.3.3. Les cations

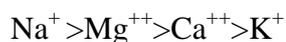
Le tableau XV et la figure 19 montrent que :

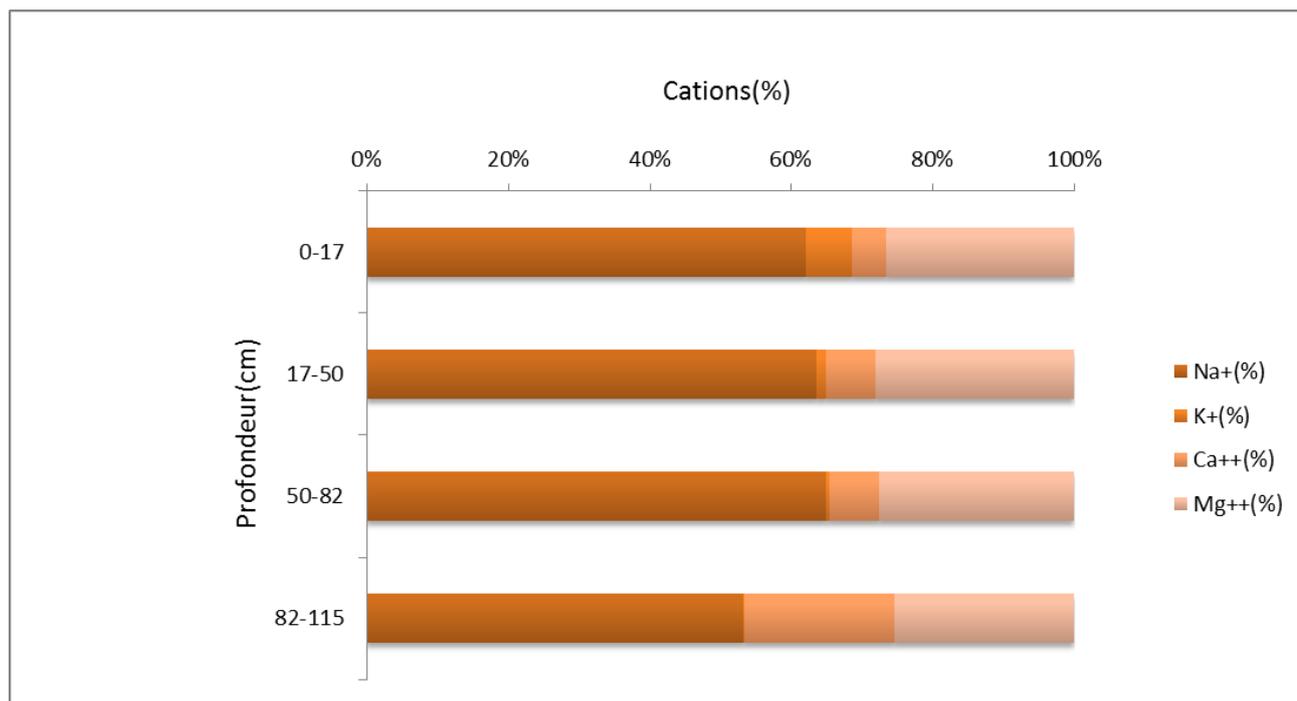
- Le taux de sodium de la solution du sol est élevé dans l'ensemble des horizons. Il est de 53.08% à 64.69%. Le  $\text{Na}^+$  est le cation le plus abondant dans le profil 3.

-Le taux de potassium de la solution du sol est faible dans l'ensemble du profil 3. Il varie entre 0.10% et 6.64%.

-Le taux de calcium varie entre 4.71% et 21.48% dans l'ensemble des horizons.

Le taux de magnésium de la solution du sol varie entre 25.34% et 28.07% dans l'ensemble du profil 3. De ce fait, le classement des cations selon, leur prédominance, est de type :





**Figure 19.**Distribution des cations dans la solution du sol du profil 3.

## 2.3.4. Les anions

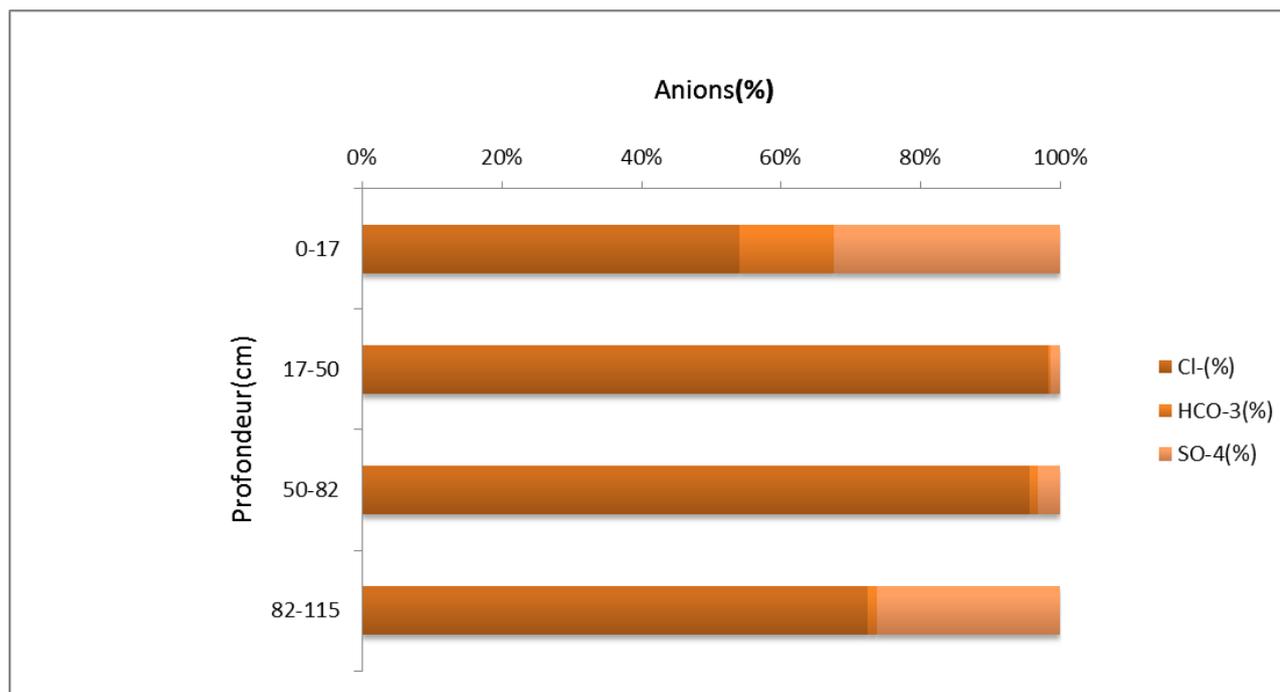
A partir du tableau XV et la figure 20 nous remarquons :

-Les teneurs en chlore de la solution du sol du profil 3 sont très élevés. Elles varient entre une valeur minimale de 54.05% et une valeur maximale de 98.38%. Le  $\text{Cl}^-$  est l'anion domine dans le profil 3.

-Les teneurs en bicarbonates de la solution du sol varient entre 0.27% et 13.51%.

-Les teneurs en sulfate de la solution du sol varient entre 1.35% et 32.44%. Le  $\text{SO}_4^-$  est l'anion le plus fréquent après le  $\text{Cl}^-$ .

De ce fait, le classement des cations selon, leur prédominance, est de type :  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^- > \text{HCO}_3^-$ .



**Figure 20.** Distribution des anions dans le sol du profil 3.

### 2.3.5. Le SAR

Les valeurs du SAR sont comprises entre 8.92 et 30.75 (tableau XV). Nous concluons que le profil 3 présente un risque de sodicité.

**Tableau XVII.** L'écart et la vitesse de la salinisation moyenne entre les deux périodes (humide/sèche) des trois profils.

Profils	La CE moyenne du profil (dS/m)		L'écart de la CE entre les deux périodes (dS/m)	Vitesse de salinisation dS/m/mois
	Période humide	Période sèche		
<b>Profil1</b>	46.02	105.31	59.29	8.47
<b>Profil2</b>	22.87	82.36	59.49	8.50
<b>Profil3</b>	32.04	53.75	21.71	3.10

Le tableau XVII montre que les profils (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>) présentent une salinisation entre la période humide et sèche, cette salinité s'est produite à une vitesse qui est respectivement de 8.47ds/m/mois, 8.5 dS/m/mois et 3.1 dS/m/mois pour les profils 1, 2 et 3. Nous pouvons conclure que les trois profils ont subi une salinisation pendant la saison sèche.

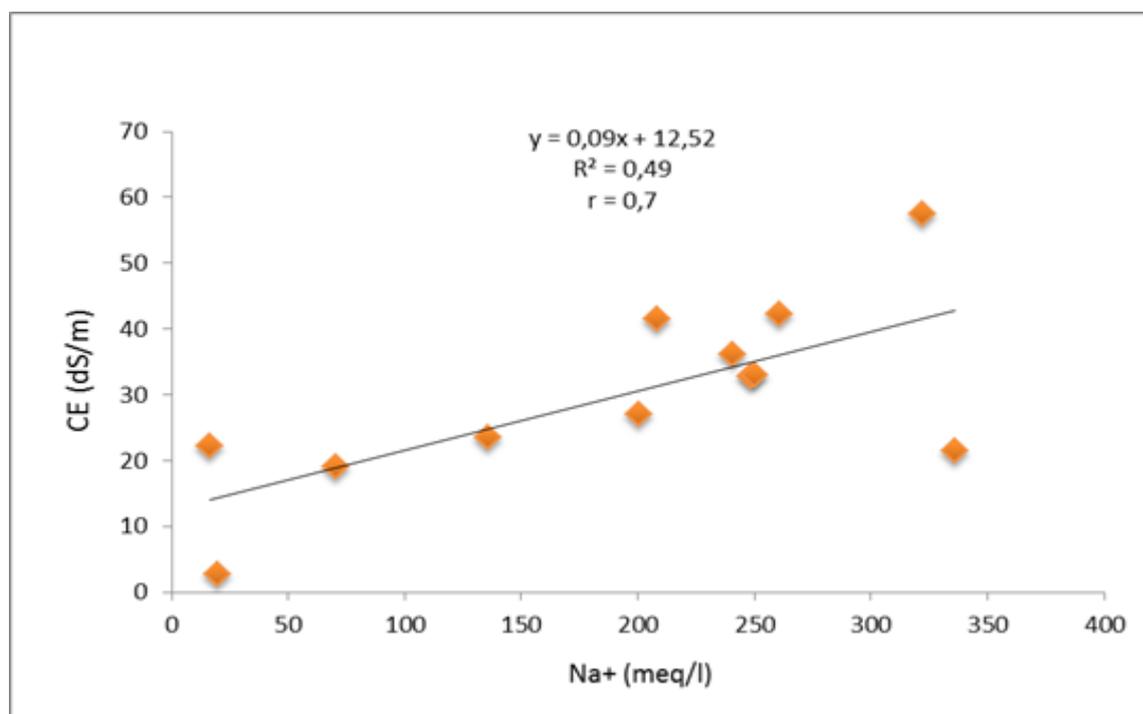
## 3. La relation entre la CE et la composition chimique de la solution du sol

Il s'agira d'étudier les relations entre la CE et la composition chimique de la solution du sol, afin de savoir l'intensité de ces relations ( $p < 0.05$ ). Seules, les relations statistiquement significatives seront présentées graphiquement. Dans cette démarche, nous avons étudié l'ensemble des échantillons sans prendre en considération la saison de prélèvement des échantillons.

### 3.1. Corrélation entre la CE et le $\text{Na}^+$

La relation entre la CE et le  $\text{Na}^+$  est significative ( $r = 0.7$  ;  $p < 0.05$ ) (figure 21). Ce résultat statistique indique que l'augmentation des teneurs du  $\text{Na}^+$  dans la solution du sol s'accompagne de celle de la CE. L'équation de régression linéaire est de type :

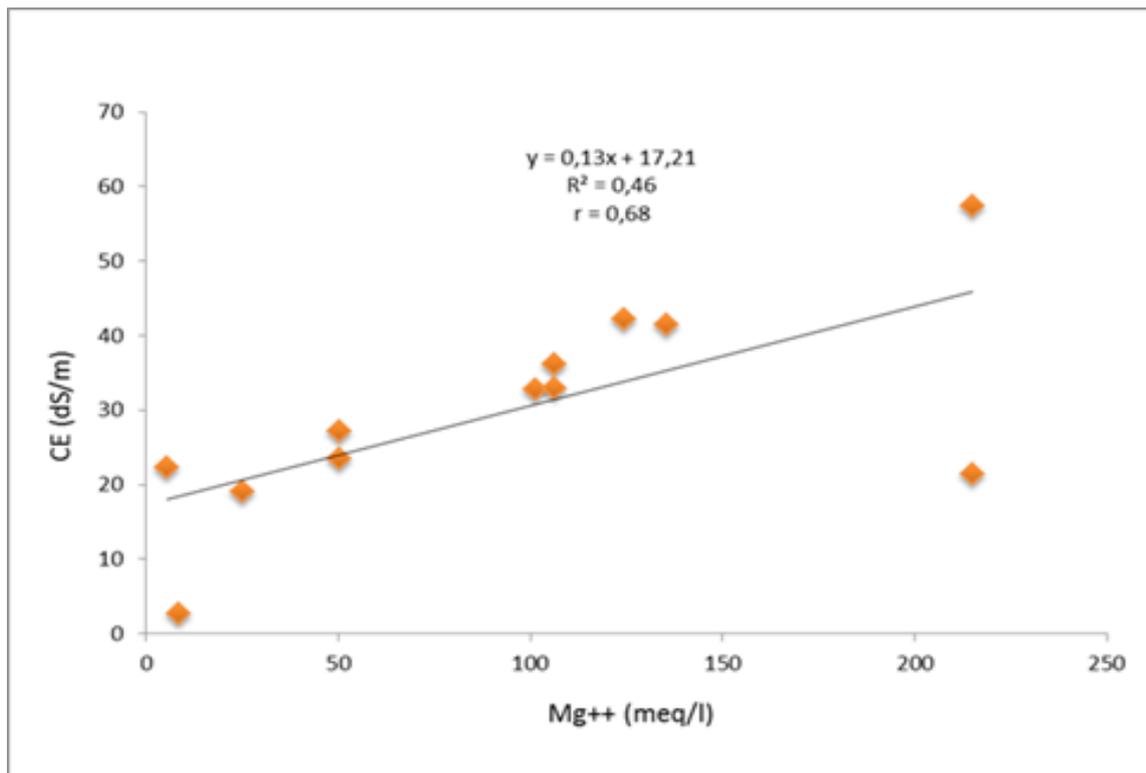
$$\text{CE} = 0.09\text{Na}^+ + 12.52.$$



**Figure 21.** Relation entre la conductivité électrique et le  $\text{Na}^+$ .

### 3.2. Corrélation entre la CE et le $\text{Mg}^{++}$

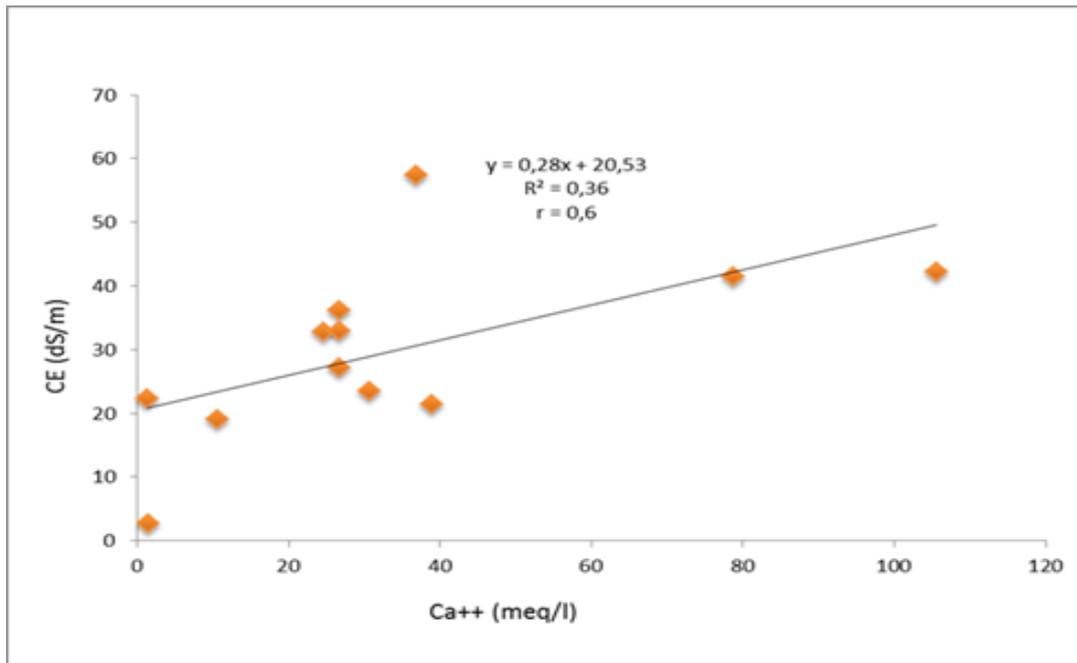
La relation entre la CE et le  $\text{Mg}^{++}$  est significative ( $r = 0.68$  ;  $p < 0.05$ ) (figure 22). Ce résultat révèle que l'évolution de la conductivité électrique varie en fonction de la teneur en  $\text{Mg}^{++}$  dans la solution du sol. L'équation de régression linéaire est de type :  $\text{CE} = 0.13 \text{Mg}^{++} + 17.21$ .



**Figure 22.** Relation entre la conductivité électrique et le  $Mg^{++}$ .

### 3.3. Corrélation entre la CE et le $Ca^{++}$

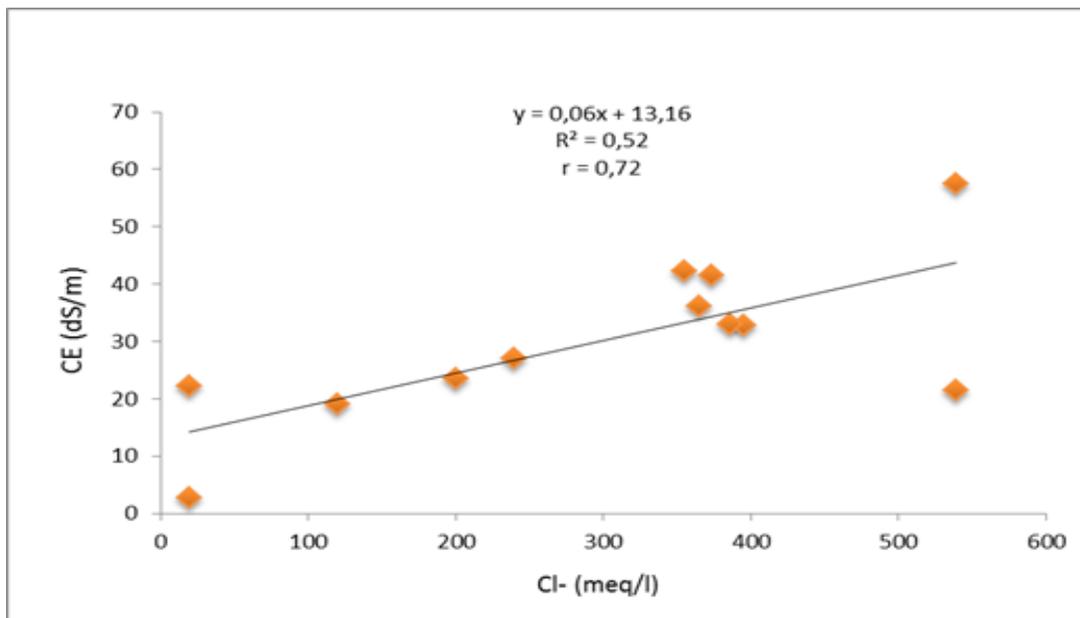
La relation entre la CE et le  $Ca^{++}$  est significative ( $r = 0.6$  ;  $p < 0.01$ ) (figure 23). Ce résultat révèle que l'évolution de la conductivité électrique varie avec la teneur en  $Ca^{++}$ . L'équation de régression linéaire est de type :  $CE = 0.28Ca^{++} + 20.53$ . Ce résultat va dans le même sens que celui de Daoud (1993) et Aite mechedal (2014).



**Figure 23.** Relation entre la conductivité électrique et le  $\text{Ca}^{++}$ .

### 3.4. Corrélacion entre la CE et le $\text{Cl}^-$

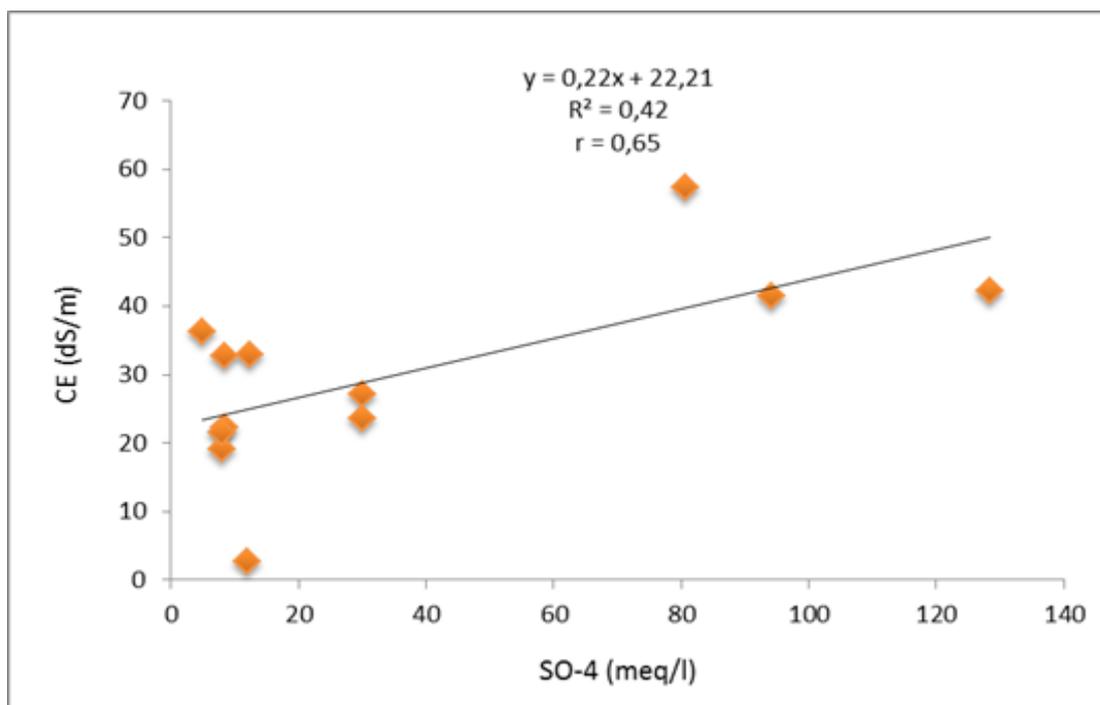
La relation entre la CE et le  $\text{Cl}^-$  est significative ( $r = 0,72$  ;  $p < 0,01$ ) (figure 24). Ce résultat montre que la conductivité électrique évolue potentiellement par rapport à la concentration des chlorures. L'équation de régression linéaire est de type :  $\text{CE} = 0,06\text{Cl}^- + 13,16$ .



**Figure 24.** Relation entre la conductivité électrique et le  $\text{Cl}^-$ .

## 3.5. Corrélation entre la CE et le $\text{SO}_4^{--}$

La relation entre la CE et le  $\text{SO}_4^{--}$  est significative ( $r = 0.65$  ;  $p > 0.05$ ) (figure 25). Ce ci indique que l'évolution de la conductivité électrique varie en fonction de la teneur en  $\text{SO}_4^{--}$ . L'équation de régression linéaire est de type :  $\text{CE} = 0.22\text{SO}_4^{--} + 22.21$ .



**Figure 25.** Relation entre la conductivité électrique et le  $\text{SO}_4^{--}$ .

Par contre, il n'ya aucun effet significatif entre les couples : (CE,  $\text{K}^+$ ) ( $r = 0.27$  ;  $P < 0.05$ ) et (CE,  $\text{HCO}_3^-$ ) ( $r = 0.35$  ;  $P < 0.05$ ).

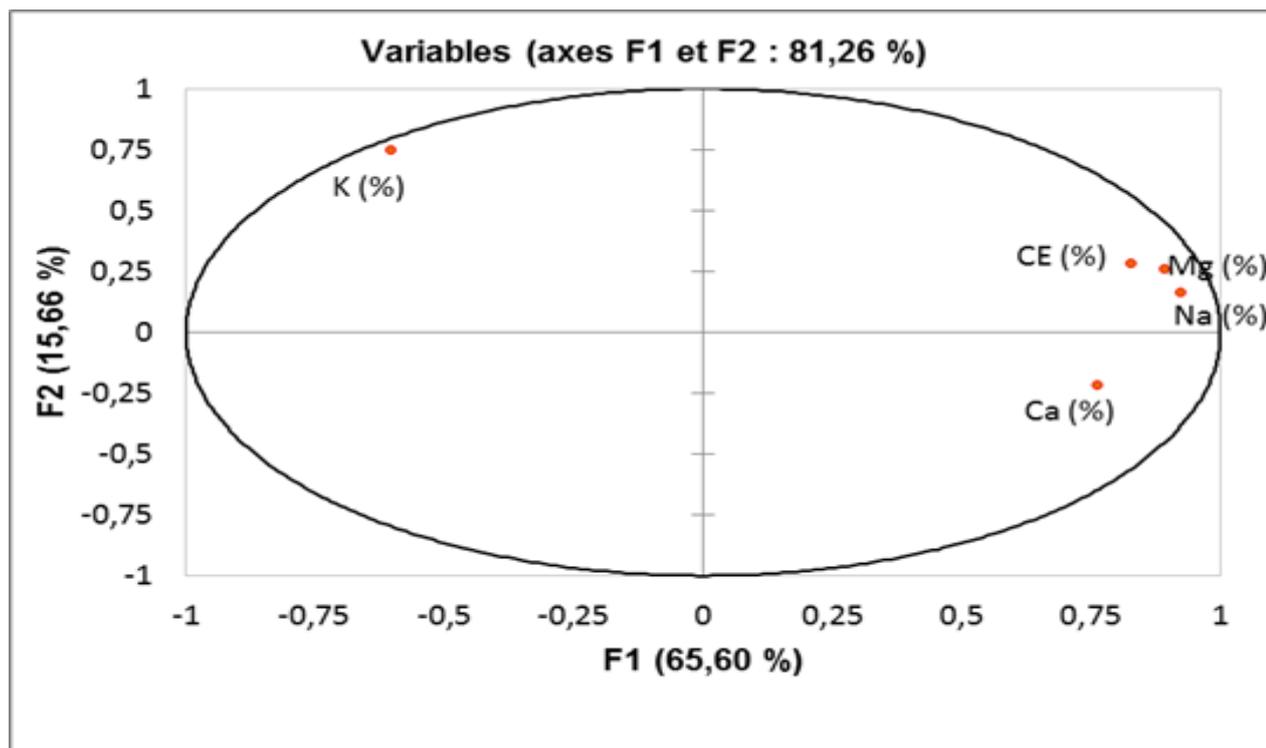
## 4. Statistique descriptive multidimensionnelle de la composition chimique de la solution du sol

Nous avons utilisé l'analyse en composante principale (ACP), afin de connaître les éléments de la solution du sol qui ont le plus de poids sur la variation de la CE.

### 4.1. ACP de la CE et les cations de la solution du sol

La figure 25 de l'ACP, montre que L'axe F1 extrait 65.60 % de l'inertie du nuage de points.

Sur l'axe F2, l'inertie résiduelle qu'il extrait est de 15.66 %.L'essentiel de l'information contenue dans les résultats sont représentés par l'axe F1 et F2.



**Figure 26.** L'analyse en composante principale.

Le premier axe est formé de la contribution des variables :  $\text{Na}^+$  (25,90%), CE (20,85%),  $\text{K}^+$  (11,19%),  $\text{Ca}^{++}$  (17,73%) et le  $\text{Mg}^{++}$  (24,30%) (Tableau XVIII). Cependant, l'axe F2 est formé de la contribution des variables  $\text{Na}^+$  (3,39%), CE (10,40%),  $\text{K}^+$  (71,67%),  $\text{Ca}^{++}$  (5,91%), et le  $\text{Mg}^{++}$  (8,60%). Ces résultats indiquent que la CE et le  $\text{Na}^+$  sont proches et se dirigent dans le sens positif de l'axe F1, ainsi ces deux paramètres sont proches du cercle de corrélation (figure 25). Nous pouvons dire que le  $\text{Na}^+$  a plus de poids (25,90%) sur la variation de la CE, le  $\text{Mg}^{++}$  vient en deuxième position avec une contribution de 24,30%. Le  $\text{Na}^+$  et le  $\text{Mg}^{++}$  sont les cations de la solution du sol qui ont le plus de poids sur la variation de la CE.

**Tableau XVIII. Contributions des variables (%) dans la formation des axes**

Paramètres	F1	F2	F3	F4	F5
CE	20.854	10.406	10.499	57.884	0.356
$\text{Na}^+(\%)$	25.906	3.395	13.300	2.904	54.495
$\text{K}^+(\%)$	11.196	71.679	8.561	7.555	1.010
$\text{Ca}^{++}(\%)$	17.736	5.916	54.848	21.414	0.086
$\text{Mg}^{++}(\%)$	24.307	8.604	12.793	10.243	44.053

## 4.2. ACP de la CE et les anions de la solution du sol

D'après la figure 26, l'axe F1 extrait 61,40% de l'inertie du nuage de points. Sur l'axe F2, l'inertie résiduelle qu'il extrait est de 20.95%. L'essentiel de l'information contenue est représenté par l'axe F1 et F2.

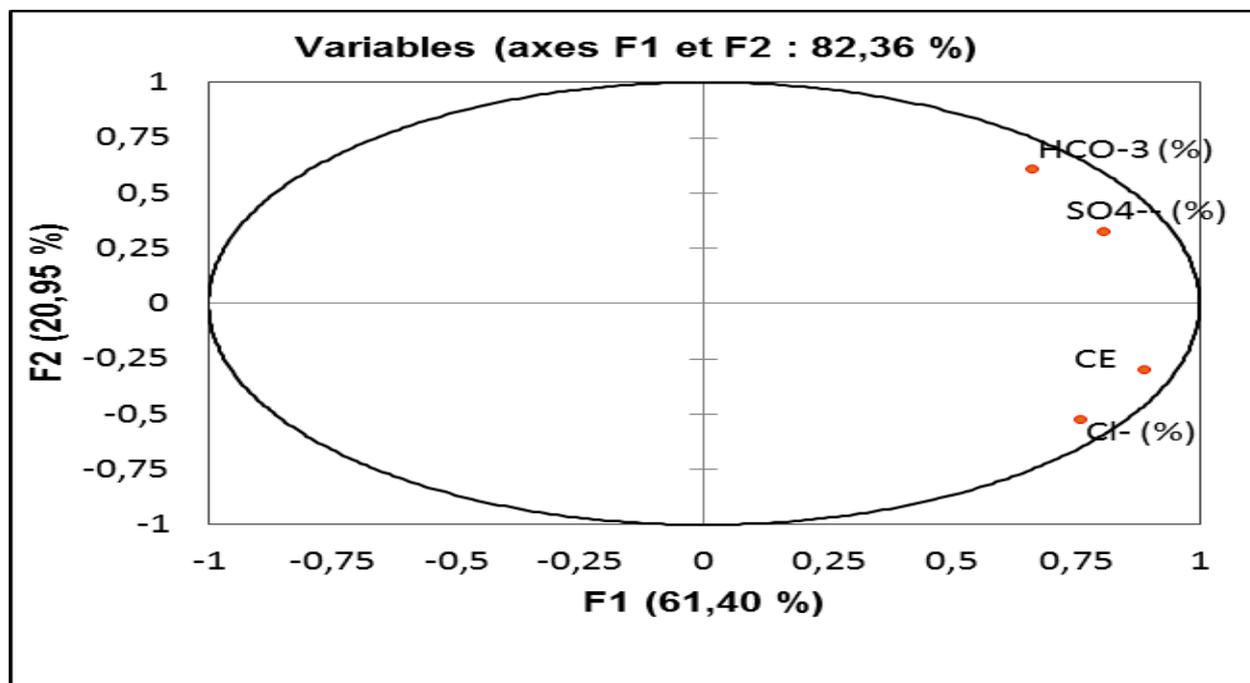


Figure 27. L'analyse en composante principale.

Tableau XIX. Contributions des variables (%) dans la formation des axes

Paramètres	F1	F2	F3	F4
CE	32.181	10.734	6.698	50.387
Cl <sup>-</sup> (%)	23.609	32.553	19.944	23.895
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)	17.816	44.021	34.780	3.383
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (%)	26.394	12.692	38.578	22.335

Le premier axe est formé de la contribution des variables: Cl<sup>-</sup> (23.60%), CE (32,18%),

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(17.81%), SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (26,39%) (Tableau XIX).Cependant, l'axe F2 est formé de la contribution des variables Cl<sup>-</sup>(32.55%), CE (10,73%), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(44.02%), SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (12.69%).

L'ACP à révéler que HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Cl<sup>-</sup> ont le plus de poids sur la variation de la CE comparativement autres anions de la solution du sol. Ces dernières sont suivies par les sulfates.

## 5. Discussion générale

Les sols étudiés se caractérisent par une texture lourde (argileuse à argilo-limoneuse) en alternance parfois avec des couches de texture limoneuse. Cette répartition granulométrique démontre le caractère alluvionnaire de la région d'étude. De même, ces profils sont calcaires avec des taux qui se situent autour de 20%.

Cependant, les analyses démontrent que les trois profils sont excessivement salés pendant la période humide et sèche. Par ailleurs, nous avons observé un maximum de salinité pendant la période sèche ( $CE = 138 \text{ dS/m}$ ) pour le profil 1. Ceci est dû à la présence d'une nappe salée à faible profondeur (1.5m de profondeur ;  $CE = 60 \text{ dS/m}$ ) (Hadj miloud, 2010). En revanche, le climat évaporant de cette région ( $ETP = 1500 \text{ mm/an}$ ) et la texture argileuse favorisent la remontée capillaire des eaux de la nappe salée pendant la période sèche. Les trois profils en question présentent une salinisation entre la période humide et sèche, cette salinité s'est produite à une vitesse qui est respectivement de  $8.47 \text{ dS/m/mois}$ ,  $8.5 \text{ dS/m/mois}$  et  $3.1 \text{ dS/m/mois}$  pour les profils 1, 2 et 3. De ce fait, le profil salin est de type convexe pour le profil 3. Le maximum de salinité est observé au niveau de la partie médiane du profil. Par contre pour le profil 1 la distribution des sels est descendante car les sels sont accumulés dans la partie inférieure du profil. Ceci serait due à une rupture du capillaire dans les parties les plus basses du profil, qui est causé par les fentes de retraites présente dans le profil. De ce fait, nous concluons que le mouvement des sels n'est pas toujours ascendant pendant les périodes sèches, car le comportement salin différent d'un sol à l'autre. Cette différence de comportement est due également aux caractéristiques morphologiques des sols (Daoud, 1993).

Le pH de ces sols se situe autour de 7,4 démontre une légère alcalinité de ces sols. Ainsi, le SAR montre que le risque d'alcalinisation est important. La composition cationique de la solution du sol est dominée par le  $\text{Na}^+$  et celle des anions est dominée par les chlorures.

L'analyse en composante principale (ACP) a montré que les éléments chimiques de la solution du sol qui ont le plus de poids sur la variabilité de la salinité sont :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{HCO}_3^-$ . Nous pouvons expliquer le résultat de cette analyse, 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, 1980).

## *Chapitre III : Résultats et discussions*

---

Les équations de régression obtenues montrent une meilleure corrélation entre la conductivité électrique et le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{Cl}^-$ , qui sont significatives. 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).

Enfin, la corrélation entre les couples (CE,  $\text{K}^+$ ) reste très faible.



## 5. Discussion générale

Les sols étudiés se caractérisent par une texture lourde (argileuse à argilo-limoneuse) en alternance parfois avec des couches de texture limoneuse. Cette répartition granulométrique démontre le caractère alluvionnaire de la région d'étude. De même, ces profils sont calcaires avec des taux qui se situent autour de 20%.

Cependant, les analyses ont montré que les trois profils sont excessivement salés pendant la période humide et sèche. Par ailleurs, nous avons observé un maximum de salinité pendant la période sèche ( $CE = 138 \text{ dS/m}$ ) pour le profil 1. Ceci est dû à la présence d'une nappe salée à faible profondeur (1.5m de profondeur ;  $CE = 60 \text{ dS/m}$ ) (Hadj miloud, 2010). En revanche, le climat évaporant de cette région ( $ETP = 1500 \text{ mm/an}$ ) et la texture argileuse favorisent la remontée capillaire des eaux de la nappe salée pendant la période sèche. Les trois profils en question présentent une salinisation entre la période humide et sèche, cette salinité s'est produite à une vitesse qui est respectivement de  $8.47 \text{ dS/m/mois}$ ,  $8.5 \text{ dS/m/mois}$  et  $3.1 \text{ dS/m/mois}$  pour les profils 1, 2 et 3. De ce fait, le profil salin est de type convexe pour le profil 3. Le maximum de salinité est observé au niveau de la partie médiane du profil. Par contre pour le profil 1 la distribution des sels est descendante car les sels sont accumulés dans la partie inférieure du profil. Ceci serait due à une rupture du capillaire dans les parties les plus basses du profil, qui est causé par les fentes de retrait présente dans le profil. De ce fait, nous concluons que le mouvement des sels n'est pas toujours ascendant pendant les périodes sèches, car le comportement salin différent d'un sol à l'autre. Cette différence de comportement est due également aux caractéristiques morphologiques des sols (Daoud, 1993).

Le pH de ces sols se situe autour de 7,4 démontre une légère alcalinité de ces sols. Ainsi, le SAR montre que le risque d'alcalinisation est important. La composition cationique de la solution du sol est dominée par le  $\text{Na}^+$  et celle des anions est dominée par les chlorures.

L'analyse en composante principale (ACP) a montré que les éléments chimiques de la solution du sol qui ont le plus de poids sur la variabilité de la salinité sont :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ . Nous pouvons expliquer le résultat de cette analyse, 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, 1980).

Les équations de régression obtenues montrent une meilleure corrélation entre la conductivité électrique et le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{Cl}^-$ , qui sont significatives. 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).

Enfin, la corrélation entre les couples (CE,  $\text{K}^+$ ) reste très faible.

# *Conclusion*

# *Conclusion générale*

---

## **Conclusion générale**

L'objectif de ce travail est consacré à l'étude de l'évolution saisonnière de la salinité des sols de la plaine du Bas- Chéiff.

Les résultats obtenus montrent que la zone d'étude se caractérise par une texture à prédominance limono-argileuse. Les sols étudiés sont généralement alcalins, calcaires (18%), pauvre en matière organique et faiblement gypseux (gypse < 3%).

L'analyse de la solution du sol des trois profils a montré que les chlorures et le sodium constituent une prédominance dans la composition chimique de la solution des sols étudiés. Ainsi ces sols présentent une salinité très élevée pendant la saison sèche par rapport à la saison humide cette salinité c'est produit à une vitesse de 6.69 dS/m/mois. Avec un maximum de salinité observé au niveau du profil 1 (CE=138 dS/m), les profils salins pour la saison sèche sont de types descendant, convexe et ascendant pour le profil1, 2 et 3 consécutivement. Les profils en questions ont tous subits une salinisation pendant la saison sèche.

En générale, les valeurs du pH du sol démontrent une réaction du sol relativement alcaline. Le risque d'alcalinisation est très important au regard des valeurs du SAR pour les trois profils.

La composition cationique et anionique de la solution du sol est fortement dominée par les chlorures et le sodium pour l'ensemble des profils.

En revanche, la salinisation des sols du Bas-Cheliff est relativement hétérogène, elle peut atteindre des niveaux de salinité très élevés au cours de la saison sèche.

L'analyse en composante principale (ACP) a révélé que les éléments chimiques de la solution du sol ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) ont le plus de poids sur la variabilité de la salinité.

Les relations statistiques montrent une meilleure corrélation entre la conductivité électrique et le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ , qui sont significatives ( $p < 0.05$ ).

Enfin, afin de mieux cerner l'évolution temporelle de la salinité dans le Bas-Cheliff, il faut l'étudié sur une période plus longue.

# *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

- 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'I.N.A El Harrach, Alger Vol VI, n°1, pp. 185-196.
- AUBERT G., 1983.** Observation sur les caractéristiques, la domination et la classification des sols salés ou salsodiques. Cah. ORSTOM ser. Péd. Vol. XX, n°1, pp. 73-78.
- AIT MECHEDAL M., 2014.** Evolution temporelle de la salinité des sols du Bas-Chélif. Mémoire de magister, ENSA, El Harrach 74 p.
- ANTIPOLIS S., 2003.** Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. Les Cahiers du plan bleu, Vol.2, pp 44-49.
- BAIZE D., 2000.** Guide des analyses en pédologie. INRA Paris p 205 – 213.
- BENZAHI Y., 1994.** Contribution à l'étude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué sous palmeraie. Mém, Ing, INFS/AS. Ouargla, 111p.
- BRYSSINE., 1961.** La salinité du sol et ses problèmes.
- BAULAIN J., 1957.** Etude des sols des plaines du Chélif. Thèse d'état de l'université d'Alger. 582p.
- CHEVERRY CL., 1972.** Contribution à l'étude pédologique des polders du Lac Tchad. Dynamique des sels en milieu aride continental et subaride dans les sédiments argileux et organiques. Thèse doc. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 275p.
- CHEWORTH W., 2008.** Encyclopédia of soil science, Ed. Springer Dordrecht, Berlin, 902p.
- CHAMEKH Z., 2010.** Analyse de la réponse de quelques géotypes de blé dur à la contrainte saline. Mémoire de master, INA de Tunisie, 72p.
- CROWIN D L., LESCH S.M., 2003.** Application of soil electrical conductivity to precision agriculture. Theory principales and guidelines. Agronomy journal 95.pp 455-471.
- C.P.C.S., 1967.** Classification des sols. ENSA Grignon, 87 p.
- Daoud Y., 1990.** Evolution de la salinité d'un sol irrigué dans le périmètre du Haut Cheliff. Ann. INA. El-Harrach, vol. 14, n° 1 – 2 : 45 – 57.
- DAOUD Y., 1993.** Contribution à l'étude des sols des plaines du Chélif. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doctorat

d'Etat, INA Alger, 233 p.

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

**DOUAOUI A., 2005.** Variabilité spatiale de la salinité et relation avec certain caractéristiques des sols du plain du Bas-Chélif approche de la géostatique et de la télédétection. Thèse de doctorat d'état en agronomie, INA, EL Harrach .Alger, 255 p.

**DJILI K., DAOUD y., 1999.** Distribution latérale et verticale de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie. Compte rendu du séminaire national sur la salinisation des terres agricoles. CRSTRA. Chélif. Le 01 20 juin n°99, pp. 25-44.

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

**DURAND D., 1983.** Les Sols irrigables .Etude Pédologique. Ed. Presses universitaire de France, 339 p.

**DJELLOUDI A., et NOUARI H., 2010.** Caractéristique cartographique des sols du bas Chélif .Cas de station de Hmadna. Relizane. Mémoire de master. Khemis Miliana. Alger 73p.

**DJILI K., 2000.** Contribution à 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 spatialisation et la vectorisations des données pédologique. Thèse doc. INA. Alger. 384p.

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

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

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

**FAO., 1984.** Mise en valeur et amélioration des terres; Traitements physiques, chimiques et organiques, amendements chimiques et organique.

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

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

**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.

**HAMDY 1995**

**MENACER A., 2009.** Essai de l'optimisation de la fertilisation organique de la culture de pomme de terre dans des conditions salines sahariennes (cas d'Ouargla).Mém. Ing, Ouargla ,114p.

**MERMUT A.R., and ARSHAD M.A., 1987.** Significance of sulfide oxidation in soil salinization in southern Saskatchewan, Canada. Soil Sci. Amer. J. 51pp.247-251.

**McDonald, BNEDER (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural) ., 1990.** Etude de l'avant-projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkhia Benziane et du réaménagement du Bas Chélif.

**SAFART., 1983.**Pédologie et géochimie des milieux salés, contribution à l'étude de la dynamique de sels dans une plaine alluviale irriguée et non daignée. Thèse Ing, univ. Alep, Nancy, 200 p.

**SARVANT J.M., 1970.**Etude expérimentale des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques. Science du sol. Pp.85-105.

**SARVANT J.M., 1971.** Le profil salin des sols, méthode d'études et signification. Application aux sols halomorphes du midi de la France. Ann.Agro.24.3, 392p.

**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.

**U.S.S.L., 1954.** Diagnostic and improvement of saline and alkali soils, U.S.A.D, Handbook. N°60, 160p.

**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.

**ZIZA F.Z., 2006.** Evolution de la salinité des sols irrigués dans une région saharienne. Mémoire de magister, INRA, Alger, 121p.