



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



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Département de biotechnologie

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

Du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science Agronomique

Spécialité : Eau et Environnement

Thème

**Etude de la relation salinité-sodicité des sols salés
de la plaine du Bas-Cheliff**

Présenté par

GASMI HASSIBA

Devant le Jury composé de :

Président : Mr. **ZELLA L.**

Pr Blida 1

Promoteur : Mr. **HADJMILOUD S.**

MAA Blida 1

Examineurs : Mr. **MIMOUNI N.**

MAA Blida 1

Année Universitaire : **2017 /2018**

Résumé

L'objectif de ce travail consiste à étudier la relation salinité-sodicité des Solonchaks, localisés dans la région du Bas-Chélif. A cet effet, nous avons étudié trois profils pédologiques des solonchaks. Il s'agit donc de caractériser la solution des sols, le complexe adsorbant et de définir les profils de distribution des sels dans les sols et de déterminer les faciès chimiques des solutions des sols.

L'analyse statistique des résultats nous a permis d'établir des équations de régression en raison des corrélations significatives ($p > 0.05$) dégagées entre la salinité et les cations échangeables (Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++}) des sols étudiés.

La corrélation est positive et significative entre la salinité et le taux du sodium échangeable sur le complexe adsorbant ($r = 0.54$; $p > 0.05$). L'analyse des résultats analytiques suggère que la salinisation dans le Bas-Chélif s'accompagne d'une sodisation.

Mots clés : salinité, sodicité, faciès chimiques, solonchaks, complexe adsorbant, Bas-Chélif.

Summary

The objective of this work is to study the salinity-sodicity relationship of the Solonchaks, located in the Bas-Chélif region. For this purpose, we studied three pedological profiles of solonchaks. It is therefore a question of characterizing the soil solution, the adsorbent complex and defining the distribution profiles of the salts in the soils and to determine the chemical facies of the soil solutions.

The statistical analysis of the results enabled us to establish regression equations because of the significant correlations ($p > 0.05$) released between the salinity and the exchangeable cations (Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++}) of the studied soils.

The correlation is positive and significant between the salinity and the exchangeable sodium content on the adsorbent complex ($r = 0.54$, $p > 0.05$). Analysis of the analytical results suggests that salinization in the Lower Chélif is accompanied by sodization.

Key words: salinity, sodicity, chemical facies, solonchaks, adsorbent complex, Bas-Chélif.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة العلاقة الموجودة بين الملوحة – وصدسية التربة من سولونتشاك، والتي تقع في منطقة الهضاب السفلي الشلفوي. لهذا الغرض، قمنا بدراسة ثلاثة ملامح من التربة من سولونتشاك. ولذلك فهي مسألة توصيف محلول التربة والمجمع المكثف وتحديد ملامح توزيع الأملاح في التربة وتحديد السطوح الكيميائية لمحلول التربة.

مكننا التحليل الإحصائي للنتائج من إنشاء معادلات انحدار بسبب الترابط الكبير ($p < 0.05$) الذي تم إطلاقه بين الملوحة والكاتيونات القابلة للتبديل (Ca^{++} ، Mg^{++} ، Na^{+}) للتربة المدروسة.

العلاقة المتبادلة موجبة وهامة بين الملوحة ومحتوى الصوديوم القابل للتبديل في المركب المكثف ($r = 0.54$ ، $p < 0.05$). يشير تحليل النتائج التحليلية إلى أن التملح في الجزء السفلي الشلفوي يترافق مع التدني.

الكلمات المفتاحية: الملوحة، صوديوية التربة، السمة الكيميائية، سولونتشاك، مجمع مكثف، الهضاب السفلي الشلفوي.

Liste des figures

N° de Figure	Titre de figure	Page
Figure 01. a	Le profil salin forme A	5
Figure 01. b	Le profil salin forme B	6
Figure 01. c	Le profil salin forme C	6
Figure 01. d	Le profil salin forme D	6
Figure 02	Localisation de la plaine du Bas-Chélif	17
Figure 03	Carte des étages bioclimatiques du bassin de Chélif	18
Figure 04	Histogramme de la température moyenne mensuelle (1990-2010)	20
Figure 05	Diagramme ombrothermique de la station climatique de Hmadna (1990-2010)	21
Figure 06	Localisation des profils	24
Figure 07	Histogramme de la granulométrie du profil 1	26
Figure 08	Histogramme de la granulométrie du profil 2	28
Figure 09	Histogramme de la granulométrie du profil 3	29
Figure 10	Les cations échangeables du complexe adsorbant du profil 1	31
Figure 11	Les cations échangeables du complexe adsorbant du profil 2	32
Figure 12	Les cations échangeables du complexe adsorbant du profil 3	33
Figure 13	Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 1	34
Figure 14	Histogramme des cations et des anions de la solution du sol du profil 1	35
Figure 15	Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 2	36
Figure 16	Histogramme des cations et des anions de la solution du sol du profil 2	37
Figure 17	Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 3	38
Figure 18	Histogramme des cations et des anions de la solution du sol du profil 3	39
Figure 19	Diagramme de Piper	40
Figure 20	ACP	41
Figure 21	Relation entre la conductivité électrique et le Na ⁺	42
Figure 22	Relation entre la conductivité électrique et le Ca ⁺⁺	43
Figure 23	Relation entre la conductivité électrique et le Mg ⁺⁺	44

Liste des tableaux

N° du tableau	Titre du tableau	Page
Tableau I	Classe des sols affectés par les sels (USSL, 1954 ; Daoud, 1993)	4
Tableau II	La superficie affectée par la salinité dans différentes régions du monde	7
Tableau III	le classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la S.A.U	8
Tableau IV	Classe de la salinité en fonction de la conductivité électrique USSL (1954)	10
Tableau V	Classe de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25C° (Mathieu et Pieltain, 2003)	11
Tableau VI	les classes du taux de sodium échangeable (FAO, 1984)	12
Tableau VII	Données pluviométriques (1990-2010)	19
Tableau VIII	Températures moyennes mensuelles (1993/94 à 2010/11)	20
Tableau IX	Données de L'évapotranspiration de la station météorologique de Hmadna Compagne 1990/2010	22
Tableau X	Résultats analytiques des constituants de sols du profil 1	26
Tableau XI	Résultats analytiques des constituants de sols du profil 2	27
Tableau XII	Résultats analytiques des constituants de sols du profil 3	29
Tableau XIII	Résultats analytiques du complexe adsorbant du profil 1	30
Tableau XIV	Résultats analytiques des constituants du complexe adsorbant du profil 2	31
Tableau XV	Résultats analytiques des constituants du complexe adsorbant du profil 3	32
Tableau XVI	Résultats analytiques de la solution du sol du profil 1	33
Tableau XVII	Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 2	35
Tableau XVIII	Résultats analytiques de la solution du sol du profil 3	38
Tableau XIX	Contributions des variables (%) dans la formation des axes	42

Liste des abréviations

A.C.P : Analyse en composante principale

C.E : Conductivité électrique.

S.A.R : Sodium adsorption ratio.

pH : Potentiel Hydrogène.

C.E.C: Capacité d'échange cationique.

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

F.A.O : Food and Agriculture Organization.

E.S.P : taux de sodium échangeable.

dS/m : décisiemens par mètre.

WRB : World reference bases of soil.

S.A.U : Surface agricole utilisé.

Remerciements

Nous tiennes à remercier tout d'abord notre Dieu le tout puissant qui m'a donné la santé et le courage et la volonté pour effectuer ce modeste travail.

Au terme de ce travail, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui m'ont apporté conseils, encouragement.

*J'exprime mes plus profonds remerciements à mon promoteur monsieur **HADJ MILOUD. S.** pour l'aide précieuse qu'il m'a apportée et les conseils infiniment utiles qu'il m'a prodigués pour la réalisation de ce travail.*

*J'exprime mes sincères remerciements et ma gratitude au Président de jury, **Mr. ZELLA L.** Professeur à Blida, pour avoir accepté la présidence du jury.*

*Je remercie vivement **Mr MIMOUNI N.** pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je remercie vivement **Mme. YAHYIA N.***

Je tiens à remercier tous les enseignants du Spécialité Eau et Environnement, Blida.

*A Tous les amis et les étudiants en particulier **Iméné, Khayra, Amina, et Ferdous.***

Enfin, je remercie toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette modeste étude.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

- *À Allah, qui m'a conduit et protégé tout au long des mystérieux chemins de ma vie.*
- *A ma très chère mère **FATIHA S.** ma source de tendresse et de courage, et qui m'a soutenu moralement à accomplir cette tâche et je prie le bon Dieu qu'il me la garde pour toujours.*
 - *A mon cher regretté père.*
- *A mes chères frères, en particulier : **RABAH. ABD EL AZIZE. MOURAD ET HOCINE.***
 - *A mes sœurs ;*
 - *À mon cher neveu **KHOSSAY ;***
 - *Au fils de mon cher frère **MOHAMED ;***
 - *A mon promoteur Mr. **HADJ MILOUD. S.***
- *A Tous mes professeurs durant tous mes études ;*
 - *A toute ma famille grande et petite ;*
- *A tous mes amies qui font mon équilibre, pour leur présence dans ma vie ;*
- *A toutes la promotion de master 2 Eau et environnement de l'année universitaire 2017-2018 de Blida ;*

HASSIBA

Sommaire

Sommaire

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

Chapitre I. synthèse bibliographique

1. La salinité.....	3
2. La salinisation.....	3
2.1. Définition.....	3
2.2. Origine de la salinisation.....	3
2.3. Les propriétés des sols salés.....	4
2.4. Dynamique des sels.....	5
2.5. Les types de profils salins.....	5
2.6. Répartition des sols salés.....	7
2.7. Classification des sols salins.....	9
2.8. Les méthode et les paramètres de l'évaluation de la salinité des sols.....	10
3. Effet de la salinité.....	12
3.1. Effet de la salinité sur le sol.....	13
3.2. Effet de la salinité sur les végétaux.....	15

Chapitre II. Matériel et Méthode

1. Localisation de la zone d'étude.....	17
2. Le climat.....	18
2. 1. La précipitation.....	18
2.2. La température.....	19
2.3. Evapotranspiration (ETP).....	21

Sommaire

3. Pédologie.....	22
4. Méthodologie.....	22
4.1. Analyses du sol.....	24
4.2. Analyses de la solution du sol.....	25

Chapitre III. Résultats et discussion

Introduction.....	26
1. Analyse des constitutions du sol.....	26
1.1. Analyse des constitutions du sol du profil 1.....	26
1.2. Analyse des constitutions du sol du profil 2.....	27
1.3 Analyse des constitutions du sol du profil 3.....	28
2. L'analyse du complexe adsorbant.....	30
2.1. L'analyse du complexe adsorbant du profil 1.....	30
2.2. L'analyse du complexe adsorbant du profile 2.....	31
3.3. L'analyse du complexe adsorbant du profil 3.....	32
3. Analyse de la solution du sol.....	33
3.1. Analyse de la solution du sol du profil 1.....	33
3.2. Analyse de la solution du sol du profil 2.....	35
3.3. Analyse de la solution du sol du profil 3.....	37
4. Le faciès chimique.....	40
5. Statistique descriptive multidimensionnelle du complexe adsorbant et la salinité.....	41
6. Relation entre la salinité et les cations échangeables du complexe adsorbant.....	42
7. Discussion générale.....	44
Conclusion générale.....	46

Introduction générale

Introduction générale

La salinité est l'un des plus grands problèmes dans les environnements arides et semi-arides du monde (Navarro et al, 2007). Cependant, plus de 10% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) souffrent à des degrés divers, de problèmes de salinisation (Mermoud, 2006).

En Afrique, près de 40 Million hectares sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale (IPTRID, 2006). Les sols salins sont très répandus à la surface du globe, leur salinité constitue l'un des principaux problèmes du développement agricole (Beldjoudi et al, 2002).

Selon la FAO (2005), les sols salés d'Algérie sont essentiellement des solonchaks et ils sont préférentiellement localisés dans les bioclimats arides et semi-arides.

La salinisation est un processus pédogénétique fréquent dans les sols d'Algérie (Daoud, 1993 ; Halitim, 1988). De même, ces sols 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). L'origine de la salinisation est primaire lorsqu'elle se produit naturellement, elle est secondaire lorsqu'elle se produit par l'action anthropique (slama, 2004).

Les sols du Bas-Cheliff sont généralement affectés par le phénomène de salinisation (Durand, 1956 ; Daoud, 1993 ; Douaoui, 2005 ; Hadj Miloud, 2010). Cette salinisation est liée à la nature des alluvions relativement riches en sels solubles, à la qualité des eaux d'irrigation et à la faible profondeur de la nappe (Durand, 1956). 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).

Introduction générale

L'objectif de cette étude consiste à étudier la relation entre la salinité et la sodicité des solonchaks, dans la région du Bas-Cheliff. L'accroissement de la salinité dans la solution du sol engendre éventuellement un enrichissement du complexe adsorbant par le sodium échangeable. En revanche, ce dernier provoque une dégradation de la structure du sol, lorsqu'il dépasse le seuil de 15% au niveau du complexe. Ceci pourrait affecter considérablement les propriétés du sol.

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

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

Chapitre I. Synthèse bibliographique

1. La salinité

La salinité peut être définie comme étant la quantité globale des sels contenus dans la solution du sol (Imalet, 1979).

Elle constitue l'un des facteurs abiotiques les plus répandus au niveau de la planète et qui limite fortement les rendements agricoles, notamment dans les régions arides et de semi-arides, où les précipitations sont limitées et ne sont pas suffisantes pour la lixiviation des sels en dehors de la zone racinaire (Khales et al., 2006 et Schulze et al. 2005).

2. La salinisation

2. 1. Définition

La salinisation est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin (Keren, 2000 ; Levy, 2000 ; Essington, 2004).

2. 2. Origine de la salinisation

L'altération des roches et les minéraux primaires c'est la principale source de tous les sels, les sols salés sont rarement formés par accumulation de sels in situ (Maillard, 2001).

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

2. 2. 1. Salinisation primaire ou (naturelle)

La salinisation primaire constitue la principale source de la salinité des terres. Elle peut avoir plusieurs origines.

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

- D'origine marin : peut constituer une source principale de la salinité, notamment dans les zones côtières où le matériau de base est constitué de dépôts marins anciens. De même, les eaux salées des nappes phréatiques ou artésiennes peuvent aboutir à la salinité par remontée de la nappe (Ben Hassine, 2005).

Chapitre I. Synthèse bibliographique

2. 2. 2. La salinisation secondaire

Près de 20% des terres salinisées ont une origine humaine ou anthropique, qui est qualifiées de salinisation secondaires dû principalement à l'irrigation des terres avec une eau de mauvaise qualité (eau saline), un lessivage insuffisant et un drainage défaillant (Anonyme, 2006, Le goupil, 1974).

2. 3. Les propriétés des sols salés

Il existe trois catégories des sols salé (USSL, 1954) : les sols salins, les sols salin et sodique et les sols sodiques.

Tableau I. Classe des sols affectés par les sels

Classes	CE (dS/m)	ESP (%)	Ph	Les propriétés du sol
Salin	>4	<15	<8.5	- Une croute Saline blanche à leur 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.
Sodique (à alcalis)	< 4	>15	<8.5	-Sols à alcalis présentent une faible perméabilité.
Salin - sodique (à alcalis)	> 4	>15	>8.5	- Des sols qui ont été affectés par les processus de salinisation et d'alcalisation aux cours de leurs formations ;

(USSL, 1954 ; Daoud, 1993)

CE = Conductivité électrique (CE) de l'extrait de pate saturée

pH = pH de l'extrait de pate saturée

ESP = pourcentage de sodium échangeable

Chapitre I. Synthèse bibliographique

2. 4. Dynamique des sels

Les sels solubles sont des sels plus solubles dans l'eau que le gypse. Les éléments chimiques qui constituent les sels solubles sont essentiellement Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^{+} , HCO_3^- , CO_3^- (Boivin et Brusq, 1985 ; Halitim, 1988).

Le transfert des sels concorde avec la dynamique de l'eau et les variations verticales et temporelles de la tension de l'eau. Cette dynamique est régie par le bilan hydrique (Majdoub et al., 2012).

Le transfert des éléments chimiques en solution dans le sol se produit par convection et par diffusion.

2. 5. Les types de profils salins

Selon servant (1976), il est possible de distinguer quatre formes principales :

- * La forme **A** est une salinisation.
- * La forme **B** est une désalinisation.
- * La forme **C** est une résalinisation temporaire.
- * La forme **D** est une désalinisation permanente.

- Le profil de type A

Le gradient de salinité est orienté vers la surface, ou le maximum de salinité s'observe. Ce type de profil de distribution ascendant s'observe à la suite d'une saison sèche qui provoque une évaporation et une concentration des sels dans la partie supérieure du sol. Il peut être favorisé également par la présence d'une nappe salée peu profonde (Figure 1. a).

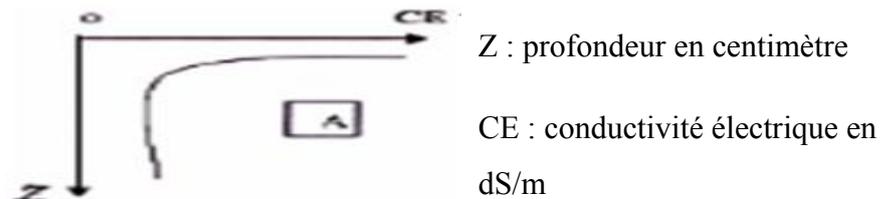


Figure 1. a. Le profil salin forme A

Chapitre I. Synthèse bibliographique

- Le profil de type B

Le maximum de la salinité est localisé au niveau de la partie médiane du profil. Ce profil convexe résulte d'une phase de désalinisation des profils de type B (Figure 1. b).

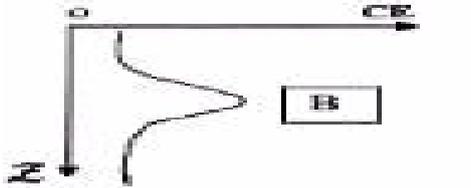


Figure 1. b. Le profil salin forme B

- Le profil de type C

Le maximum de la salinité se localise au niveau de la partie supérieure et au niveau de la base du profil. Ce type de profil caractérise une phase de résalinisation des profils (Figure 1. c).



Figure 1. c. Le profil salin forme C

- Le profil de type D

Le gradient de salinité est descendant. Le maximum de salinité se situe à la base du profil. Ce type de distribution est observé dans les sols qui présentent une bonne lixiviation des sels et une nappe profonde (Figure 1. d).

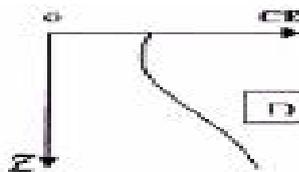


Figure 1. d. Le profil salin forme D

Chapitre I. Synthèse bibliographique

2. 6. Répartition des sols salés

2. 6. 1. Répartition des sols salés dans le monde

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle mondiale. Selon la FAO et les estimations les plus récentes, elle affecte environ 400 millions. Elle est donc très importante quantitativement car nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha de terres cultivés.

Généralement, le monde perd en moyenne plus de 1,5 million ha/an) à cause de la salinisation. Aujourd'hui, il y a à peu près 400Mha des terres qui sont affectées par la salinisation (Bot et al, 2000). En Afrique, près de 40Mha y sont affectés, soit près de 2% de la surface totale. Au Proche-Orient, près de 92Mha soit environ 5% de la surface totale (FAO, 2008). Les superficies des terres affectées par la salinité dans le monde sont indiquées dans le tableau II.

Tableau II. La superficie affectée par la salinité dans différentes régions du monde.

Région	Superficie (million d'hectares)
Afrique	80.5
Europ	50.8
Amérique du nord	5.7
Amérique du sud	129.2
Asie du sud	87.6
Australie	357.3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du sud	20
Asie du centre et du nord	211.7
Total	954.8

(Sinoussi ,2001)

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

Les sols salés sont très répandus en Algérie essentiellement dans les zones arides et semi-arides; des travaux effectués par différents auteurs montrent que la majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés par les sels (Durand, 1958 ; Halitim, 1985).

Chapitre I. Synthèse bibliographique

De façon générale « les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent principalement d'une action de la mer (pas actuelle) ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le Trias jusqu'au Quaternaire »

Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra Sig, Maghnia) dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sbkhas (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhah d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc..).

Tableau III. Le classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la S.A.U.

Wilayas	S.A.U (ha)	Superficie affectée par la salinité	% de la S.A.U affecté par la salinité
Tamanrasset	2510	1445	57.57
Ouargla	17390	9850	56.64
Ghardaïa	7930	3284	41.41
Bechar	13250	2249	16.97
Illizi	570	60	10.53
Djelfa	67760	6250	9.22
Relizane	241670	20000	8.28
Ain temouchent	18350	15000	8.14
Tébessa	231750	13000	5.61
Adrar	14990	780	5.20
Biskra	151530	7272	4.80
Khanchla	177900	4480	2.52
Mascara	328740	6475	1.97
Alger	7940	150	1.89
Mostaganem	131730	1977	1.50
Naama	4150	62	1.49
Laghouat	487740	800	1.48
Batna	85860	5100	1.05
Oran	188620	850	0.99
Cheliff	183860	1490	0.79
Guelma	22150	1283	0.70
Mila	72090	100	0.45
Boumersès	306480	192	0.27
Saida	615340	700	0.23

(Benzellat, 2012)

Chapitre I. Synthèse bibliographique

2. 7. Classification des sols salins

Il existe plusieurs classifications américaine, française, russe et celle de la FAO 1972. Parmi ces classifications, Duchaufour, (1977) et Cherbuy, (1991) ont classé les sols salins en trois grandes classes:

- Sols salins
- Sols salins à alcalins.
- Sols alcalins.

2. 8. Caractéristique des sols salins

La formation des sols salés est en relation étroite avec la présence de l'ion sodium Na^+ . Sous l'une ou l'autre de ses formes: saline (NaCl , Na_2SO_4) ou échangeable, parfois les deux. Les sols salés sont riches en sels solubles (Sols salins) ou en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins) :

- Les sols salins (Solontchaks)

Caractérisent principalement par leur richesse en sels de sodium neutres (NaCl chlorure de Sodium, Na_2SO_4 sulfate de sodium) mais contenant également des quantités appréciables d'ions chlorites et de sulfates de sodium, calcium et magnésium. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi - arides.

- Les sols alcalins (Solonetz)

Sont riches en sodium échangeable et en revanche pauvres en sels solubles (sels alcalins, carbonates et bicarbonates de sodium, Na_2CO_3 principalement) les sols alcalins se trouvent plutôt dans les zones semi-aride et sub-humide.

2. 9. Les méthodes et les paramètres de l'évaluation de la salinité des sols

Ils peuvent être classés en deux grandes catégories:

2. 9. 1. Analyse au laboratoire : La mesure de la conductivité électrique permet d'estimer la concentration des sels solubles et donc de caractériser l'état de salinité du sol (USSS, 1954).

On distingue deux méthodes pour mesurer la conductivité électrique :

Chapitre I. Synthèse bibliographique

- **Mesure de la conductivité électrique sur les extraits de pâte saturée** : qui est proposée par (USSL, 1954).

- **Le principe**

consiste à ramener une prise d'essai de sol de 200 à 500 g à saturation par l'eau déminéralisé.

Après un repos de 12 à 24 heures, on extrait la solution du sol par centrifugation ou à l'aide d'une pompe à vide, la conductivité électrique est mesurée sur cette solution (Mathieu et Pieltain, 2003).

- **La méthode de l'extrait dilué**

- **Le principe**

correspond à un rapport entre la quantité de sol et la quantité d'eau nécessaire à la préparation de l'extrait. Plusieurs rapports sont utilisés, mais le rapport le plus utilisé est le rapport 1/5 (Montoroi, 1997).

D'après, l' USSL (1954)(tableau IV), les sols sont considérés salés quand leur CE est supérieure à 4 dS/m .

Tableau IV. Classe de la salinité en fonction de la conductivité électrique

Classe de salinité	CE dS/m
Non salé	<2
Peu salé	2-4
Moyennement salé	4-8
Salé	8-16
Très salé	>16

USSL (1954)

Pour les extraits aqueux 1/5 et 1/10, les classes de la salinité définies selon les valeurs de la conductivité électrique à 25C° sont rapportées par Mathieu et Pieltain (2003) (tableau V).

Chapitre I. Synthèse bibliographique

Tableau V. Classe de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25C°

CE dS/m à 25C°	<0.6	0.6 – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	>4
(extrait 1/5)	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Très salé	Extrêmement Salé
(extrait 1/10)	Non salé à peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement Salé	Extrêmement Salé	Extrêmement Salé

(Mathieu et Pieltain, 2003)

2. 9. 2. Mesure In situ

Il existe d'autres méthodes de la mesure de la salinité sont proposées :

- La mesure de la résistivité électrique (Bottraud et al, 1985) ;
- La mesure de la conductivité électromagnétique (Job et al., 1987) ;
- La mesure par télédétection (Douaoui, 2005).

2. 9. 3. Le taux de sodium échangeable

Le taux de sodium échangeable (ESP) est calculé par la formule suivante:

$$\text{ESP \%} = (\text{Na}/\text{CEC}) \times 100 \text{ (USSL, 1954)}$$

ESP = taux de sodium échangeable (exchangeable sodium percentage).

Na⁺ et CEC sont exprimés en Cmol(+)/kg de terre.

Ce paramètre caractérise l'état de sodicité du complexe adsorbant du sol.

Selon la FAO (1984), la limite de classe pour le taux de sodium échangeable est donnée dans le (tableau VI).

Chapitre I. Synthèse bibliographique

Tableau VI. Les classes du taux de sodium échangeable

Classe de sodicité	ESP %
Sodicité légère	<5
Sodicité modérée	5 – 20
Sodicité grave	20 – 45
Sodicité très grave	>45

(FAO, 1984)

2. 9. 4. Relation entre la salinité et la sodicité (CE et Na⁺) dans les sols salés de l'Algérie

D'après Touaf (2002), l'analyse statistique a montré que la droite de régression linéaire calculée sur 1811 couples de données (E.S.P., C.E.) montre clairement que la salinité et la sodicité évaluent étroitement. L'augmentation de la conductivité électrique s'accompagne d'un accroissement du taux de sodium échangeable. La corrélation s'avère positive et très hautement significative avec $P < 0.001$.

2. 9. 5. Le sodium adsorption ratio (SAR)

Le SAR (sodium adsorption ratio) est une caractéristique de la solution du sol. Il se calcule selon la formule suivante :

$$SAR = Na^+ / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})} / 2$$

Na⁺, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ sont les concentration de la solution du sol exprimées en meq/l.

Il existe une relation entre le taux de sodium échangeable (ESP) et sodium adsorption ratio (SAR) (USSSL, 1954) :

$$ESP = 100(-0,0126 + 0,01475 \times SAR) / (1 + (-0,0126 + 0,01475 \times SAR))$$

Cette relation permet d'estimer le taux de sodium échangeable à partir du SAR de la solution du sol.

3. Effet de la salinité

La salinité affecte les différentes propriétés de sols, ceci présente des effets néfaste sur les paramètres hydrodynamiques des sols. De même, la salinité affecte l'état chimique et biologique des sols.

Chapitre I. Synthèse bibliographique

3. 1. Effet de la salinité sur le sol

3. 1. 1. Les effets des sels sur les propriétés physiques du sol

Sigala et al (1988), ont constaté que le sodium échangeable influe sur le taux de dispersion des argiles, donc la présence des sels transforme profondément l'évolution du sol, elle influence en particulier :

- Les rapports sol- eau ;
- Les propriétés physiques du sol, structure, porosité, perméabilité donc circulation des solutions ;

Les différentes recherches menées jusqu'à présent concernant les effets des sels sur les propriétés des sols ont concerné principalement la perméabilité et la stabilité structurale.

3. 1. 2. Effets sur les propriétés chimiques

L'excès de sels présente un effet sur les propriétés chimiques, notamment sur le pH et l'ESP (Oustani, 2006).

pH : la réaction du sol est influencée par la nature des sels. Alors que certains sels sont acidifiants (CaSO_4 , KCl , MgSO_4), d'autres sont alcalinisant (NaHCO_3 , CaCO_3 , NaCO_3).

ESP: 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 le cas des sols salés, la grande partie du sodium se trouve dans la solution du sol.

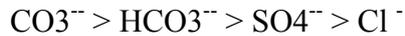
3. 1. 3. Les effets des sels sur la stabilité structurale

L'augmentation du taux de sodium échangeable d'un faible niveau de salinité entraîne une dégradation de la structure par une dispersion physico-chimique des agrégats (Saidi et al, 2004 ; Ben Aissa et al, 2004). Cette dégradation structurale provoque une diminution du taux d'infiltration et de la conductivité hydraulique du sol (Salim et Tessier, 1998).

Chapitre I. Synthèse bibliographique

3. 1. 4. L'effet des sels sur la perméabilité

La réduction de la perméabilité des sols salés est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par le sodium échangeable. La diminution de la perméabilité est en fonction de l'ion accompagnateur du sodium, elle diminue dans le sens suivant (Servant, 1971):



D'après servant (1971) le sodium réduit la percolation alors que le K^+ augmente cette dernière. Par contre les sols saturés par le Ca^{++} ont une meilleure perméabilité que ceux saturés par le Na^+ et K^+ .

Selon Richards (1954), deux facteurs jouent ou régissent la diminution de la perméabilité :

- Le gonflement des particules d'argiles, causant la diminution de la taille des pores larges.
- La dispersion des argiles provoque ainsi l'obstruction des pores.

3. 1. 5. La rétention en eau

La concentration élevée en sels entraîne une augmentation considérable de la rétention en eau (Salim et tessier, 1998).

3. 1. 6. L'activité biologique

Généralement, la salinité entraîne une diminution du nombre de micro-organismes dans le sol, mais la sensibilité des micro-organismes à la salinité varie selon l'espèce. Les germes nitrifiants sont plus sensibles. Les champignons tolèrent mieux la salinité et la sodicité que les bactéries (Slama, 2004).

3. 1. 7. L'effet des sels sur la faune du sol

La pression osmotique de la solution des sols salés augmente en fonction de la richesse en sels et sa conductivité ce qui rend l'alimentation en eau des plantes et celle du micro-organisme plus difficile (Aubert, 1988).

Une forte salinité exerce également une action d'inhibition de l'activité des microorganismes dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la dégradation de la matière organique. Donc le sel influe sur l'activité biologique du sol et la nature des produits humiques formés ainsi que le cycle biochimique des éléments minéraux (Gallili, 1980).

Chapitre I. Synthèse bibliographique

3. 2. Effet de la salinité sur les plantes

La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité des plantes (Hammi Imane, 2012).

3. 2. 1. Effet de la salinité sur le rendement

Munns et Rawson (1999), ont montré que 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. Lorsque l'orge est soumis à un stress salin au cours de épiaison ou la différenciation de épi, le nombre d'épillets par épi est réduit ainsi que le nombre des grains .ainsi ils ont montré que la salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains. La salinité diminue le rendement plus souvent en réduisant le nombre de pointes portant les épillets, le poids de l'épi et le poids de 1000 graines (Munns et Rawson, 1999).

3. 2. 2. Effet sur la germination

La plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001).

Parmi les effets délétères du stress salin est :

- La diminution du taux de germination et l'inhibition de la croissance, ce qui affecte le poids de la matière sèche (Mahhrouz, 2013).
- Les concentrations élevées en sel réduisent le potentiel hydrique, il en résulte ainsi une diminution de l'absorption de l'eau par les graines (Mahhrouz, 2013).
- Les variations de l'équilibre hormonal a été évoquée (Bouchoukh, 2010).

3. 2. 3. Sur la croissance et le développement

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (Bouaouina et al, 2000).

La salinité affecterait de plusieurs manières la croissance de la plante :

- La concentration élevée de NaCl diminue également l'absorption de Ca^{2+} qui est relativement tolérante au sel, l'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une

Chapitre I. Synthèse bibliographique

réduction de la concentration en Mg^{2+} , K^+ , N, P et Ca^{2+} dans la plante (Levitt, 1980 in Haouala et al., 2007). Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitant (Haouala et al, 2004).

- Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol (Jabnoute, 2008).

3. 2. 4. Effets sur la nutrition minérale des végétaux

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes:

- La toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par excès de certains ions.
- Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (Haouala et al, 2004).

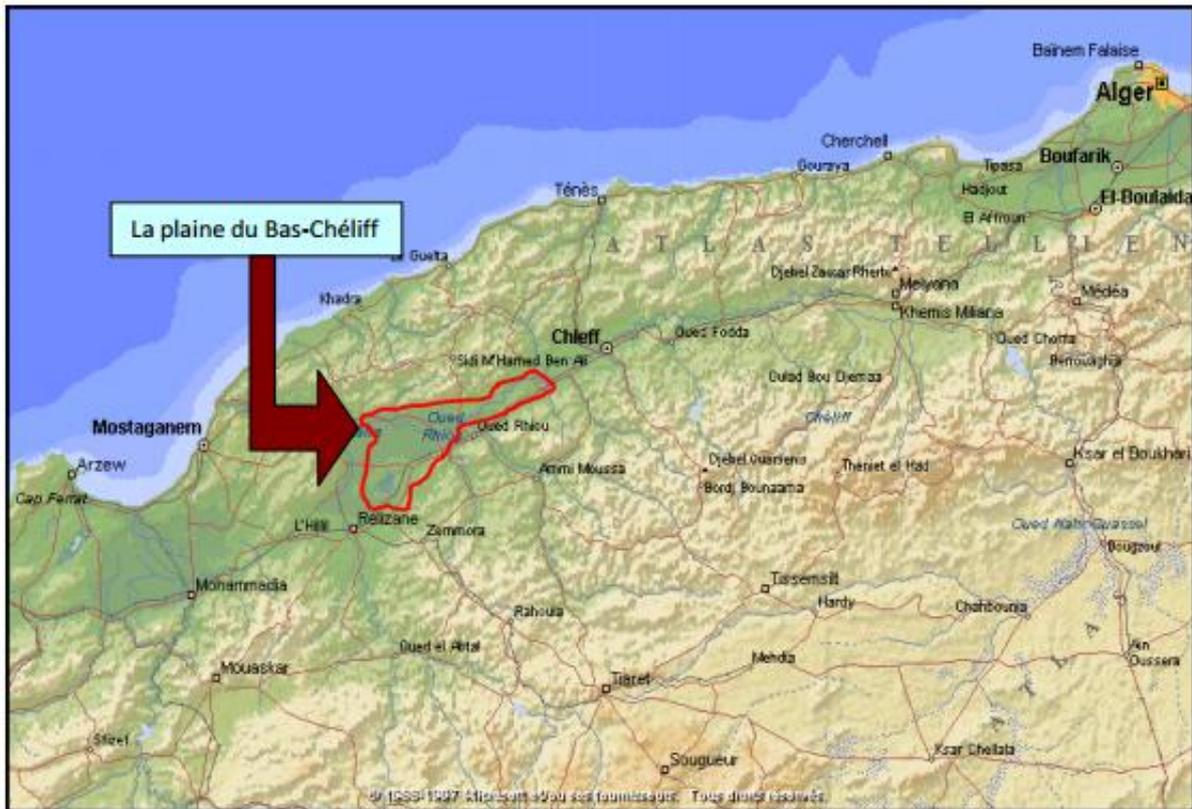
L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{++} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^+ pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. L'interaction entre les ions Na^+ et Ca^{++} (Jendoubi, 1997).

Chapitre II. Matériel et méthode

Etude du milieu

1. Localisation de la zone d'étude

La plaine du Bas-Cheliff, elle se situe au Nord-ouest de l'Algérie, à environ 250 Km de l'ouest d'Alger et à 35 Km à vol d'oiseau de la méditerranée, avec en son centre la ville de Oued Rhiou (wilaya de Relizane) (figure 2).



(Mokhtari, 2009)

Figure 2. Localisation de la plaine du Bas-Chéliff.

Elle fait partie du grand bassin du Cheliff et occupe sa partie nord, elle est limitée par le périmètre de moyen Cheliff à l'est, le périmètre de la Mina à l'ouest, les massifs du Dahra et l'Ouarsenis au nord et au sud respectivement. Oued Rhiou, Djidiouia, Hmadna, Ouarizane, sont les principales villes situées dans le périmètre allant d'Est en Ouest.

Elle fait environ 50 Km de longueur sur une largeur variant 6 à l'est à plus de 20 Km à l'ouest, et une altitude moyenne de 70 m.

La superficie totale de la plaine (si on prend comme limite ouest l'oued Mina) est estimée à 65000 ha (Douaoui, 2005).

Chapitre II. Matériel et méthode

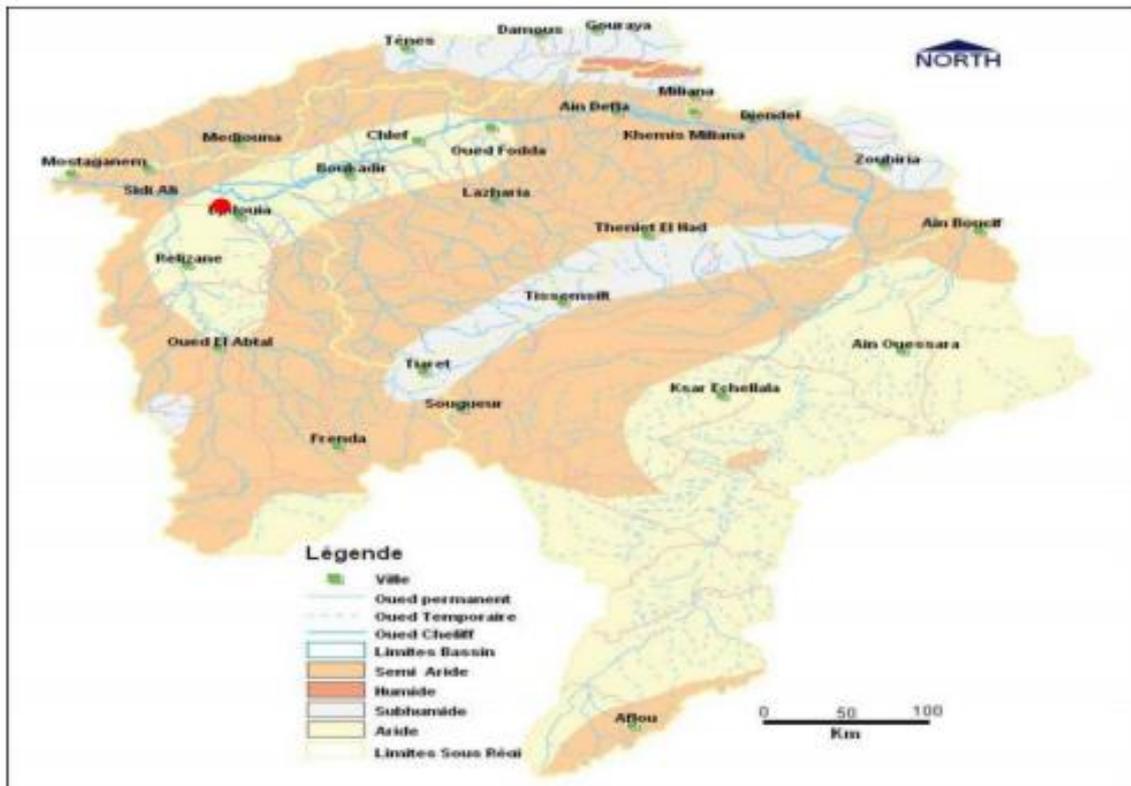
La région du Bas-Cheliff se trouve entre $0^{\circ} 40'$ et $1^{\circ} 6' 8''$ de longitude et entre $34^{\circ} 3' 12''$ et $36^{\circ} 5' 57''$ de latitude nord. Avec les coordonnées géographiques x et y, selon la projection UTM Algérie fuseau 31, sont:

X = 275 649 et 328 533 m.

Y = 3 968 3 996 812 m.

2. Le climat

Le climat de la région du Bas-Chélif est spécifique, contrasté, caractérisé par des étés très chauds et des températures basses en hiver. D'après la carte des étages bioclimatiques du bassin du Chélif (figure 3), l'étage bioclimatique de la région de Hmadna est aride (indiqué dans la figure 3 en point rouge). Selon l'INSID (2005), l'évapotranspiration potentielle annuelle de la région est de l'ordre de 1600 mm/an.



(INSID, 2005)

Figure 3. Carte des étages bioclimatiques du bassin de Chélif.

Chapitre II. Matériel et méthode

2. 1. Précipitation

En ce qui concerne les pluviométries précipitations, on note une diminution de la hauteur des pluies, dans la vallée du Chélif d'Est en Ouest. La région d'étude a connu durant la dernière décennie des cycles de sécheresse, la plus marquée est celle qui s'étale de 1990 à 2010. Les précipitations moyennes annuelles en pluviométrie restent inférieures à 302.44 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. L'analyse pluviométrique sur la région du Hmadna calculée sur une période s'étalant de 1990 à 2010. (tableau VII) montre que le mois de Novembre est le mois le plus pluvieux (50.44 mm).

Tableau VII. Données pluviométriques (1990-2010)

Mois	P (mm)
Janvier	37,21
Février	35,26
Mars	29
Avril	33,55
Mai	23,59
Juin	3,1
Juillet	0,87
Août	3,36
Septembre	17,79
Octobre	33,72
Novembre	50,44
Décembre	34,55
Somme	302.44

(Source: Station de Hmadna)

2. 2. Température

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. L'histogramme (figure 4) montre que les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août, où elles atteignent un maximum de

Chapitre II. Matériel et méthode

29 °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.

Les basses températures se manifestent au mois de janvier avec une température moyenne de 10 °C.

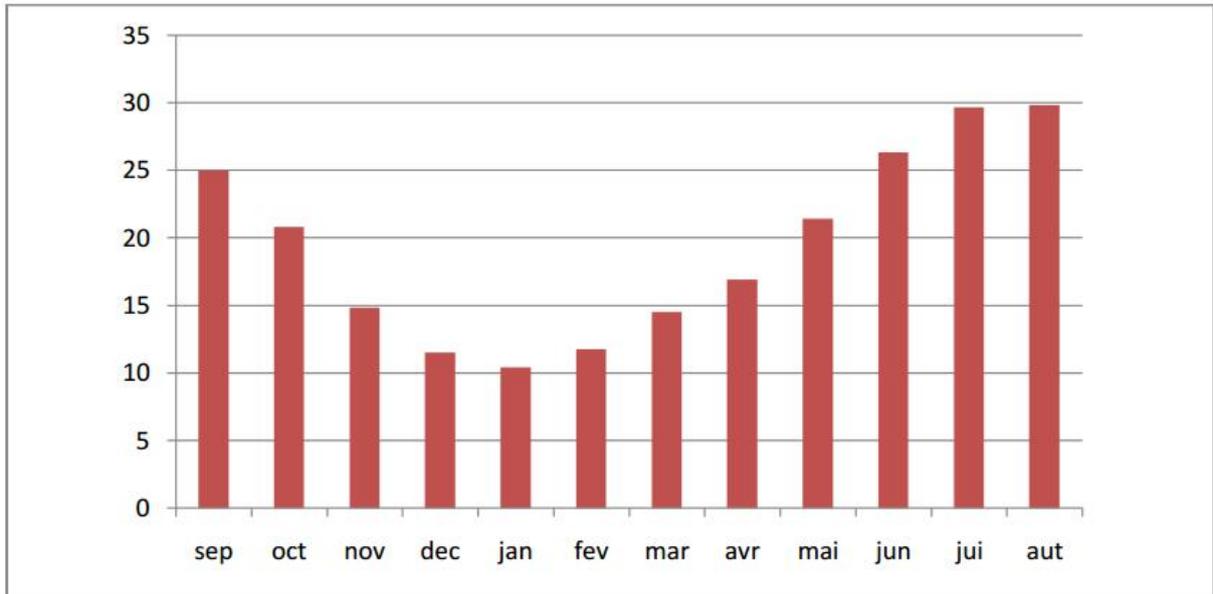


Figure 04. Histogramme de la température moyenne mensuelle (1990-2010).

Tableau VIII. Températures moyennes mensuelles (1993/94 à 2010/11)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T. mim	17.1	13.7	8.9	5.9	05	5.5	07	9.3	13.8	18.2	21.7	21.7
T. max	32.5	28.1	21	17.4	16.5	19.1	22.1	24.8	29.5	34.8	38.3	38.7
T. moy (C°)	24.9	21	14.8	11.7	10.5	12.1	14.5	17	21.6	26.4	30	30

Source : Station INRAA Hmadna Relizane

Ce tableau montre que le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. La température minimale enregistrée est de 5°C en janvier et la température maximale est de 38.7°C en août. Les températures moyennes les

Chapitre II. Matériel et méthode

plus élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août, où elles atteignent un maximum de 30 °C, ce qui correspond à une forte évapotranspiration et une remontée capillaire de la nappe. Les basses températures se manifestent aux mois de janvier avec une température moyenne de 10.5°C.

Le diagramme ombrothermique de la station climatique de Hmadna entre 1990 et 2010, la Figure N° 05 montre que la période de sécheresse est très longue. Elle s'étale sur six mois. Allant de Mai à Octobre.

La période sèche

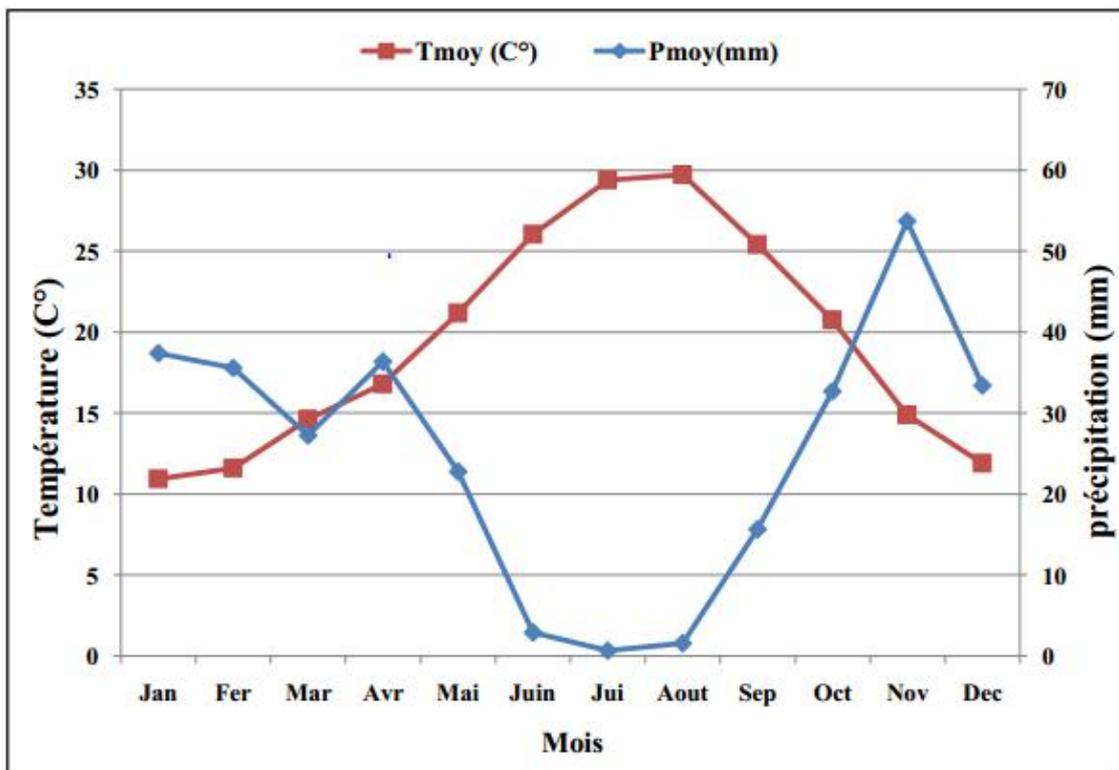


Figure 05. Diagramme ombrothermique de la station climatique de Hmadna (1990-2010).

2. 3. Evapotranspiration (ETP)

Elle est définie comme étant la valeur maximale possible de l'évaporation dans conditions climatiques données. Elle résulte de deux phénomènes l'un physique : l'évaporation, l'autre biologique : la transpiration. L'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de penman est de 1500 mm/an (Douaoui, 2005).

Chapitre II. Matériel et méthode

Tableau IX. Données de L'évapotranspiration de la station météorologique de Hmadna Compagne 1990/2010

Mois	ETP (mm) (1990-2010)
Septembre	121.2
Octobre	79.3
Novembre	32.8
Décembre	19.3
Janvier	16.0
Février	18.5
Mars	39.0
Avril	55.4
Mai	105.7
Juin	159.3
Juillet	215.9
Août	206.0

(Station météorologique de Hmadna)

3. Pédologie

D'après (Douaoui, 2005), les principales classes des sols de la plaine du bas-Cheliff sont :

- * Les sols salés,
- * Les sols hydromorphes,
- * Les sols Vertisols,
- * Les sols peu évolués,
- * Les sols calcimagnésiques,

Les sols du périmètre de Hmadna sont considérés comme des sols salés, soit des solontchaks et des solonetz (Durand, 1956).

Chapitre II. Matériel et méthode

4. Méthodologie

L'objectif de cette investigation est d'étudier l'éventuelle relation entre la salinité de la solution du sol et l'enrichissement du complexe adsorbant par le sodium. Les sols étudiés se localisent dans le périmètre irrigué du Bas-Chélif. De ce fait, nous avons sélectionné trois profils de Solonchaks, ce choix est justifié par le fait que ces sols répondent aux critères diagnostiques. 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 25°C à un moment de la l'année ;
- Une CE de plus de 8 dS/m à 25°C si le pH (H₂O) 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 15cm.
- 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 6) :

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

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

Latitude 35° 44' 17.0'' N

- Le profil P2 se trouve à Gaâ c'est une dépression fermée qui se trouve sur la rive droite de l'oued Mina ;

Cordonnées 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 6).

Chapitre II. Matériel et méthode

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

Latitude 35° 57' 47,5'' N

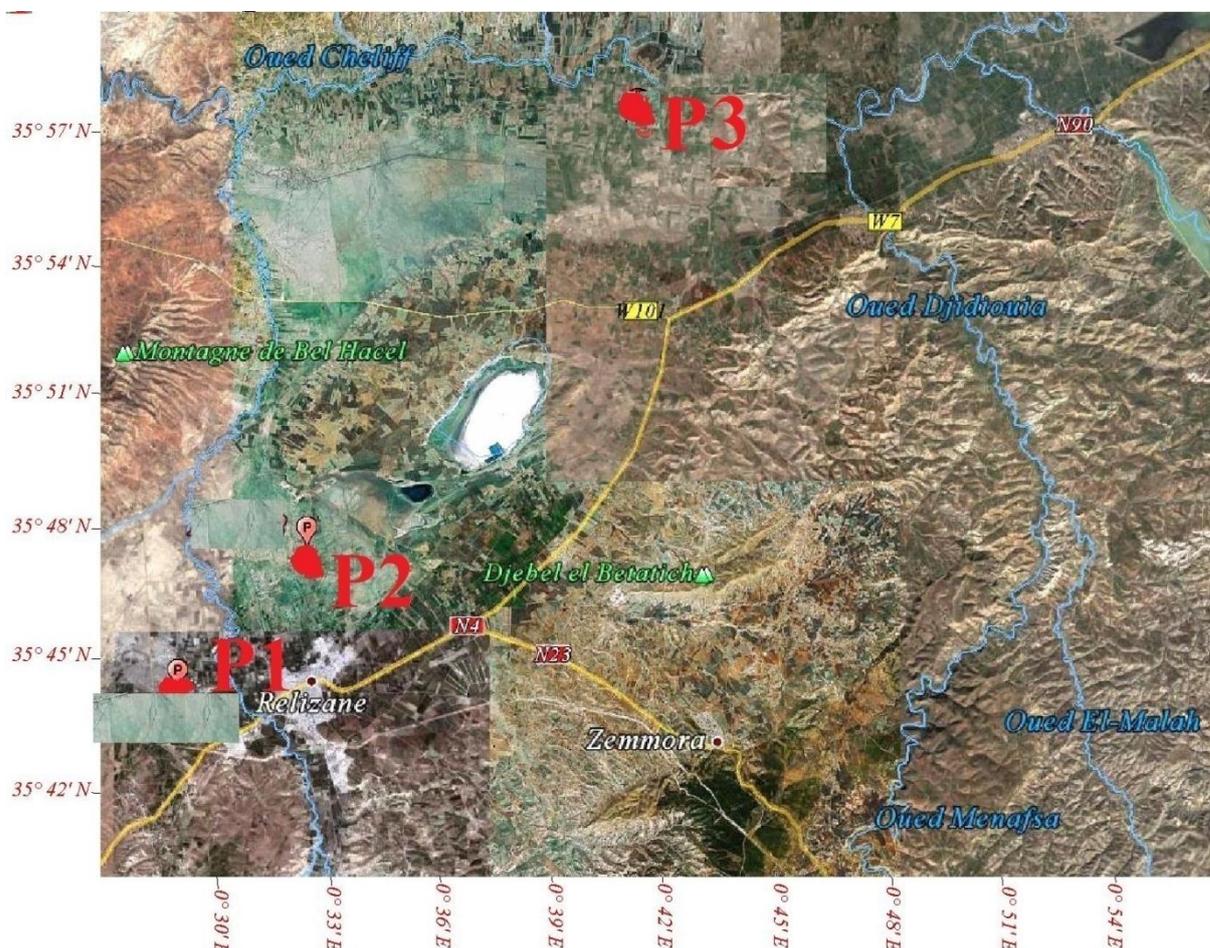


Figure 6. Localisation des profils.

Les données utilisées ont été extraites d'une base de données pédologique englobant des études d'inventaire pédologique réalisées dans la région Nord de l'Algérie. À partir de cette dernière, nous avons extrait les données de trois profils pédologiques correspondant aux critères diagnostiques des solonchaks WRB (2014). Les trois solonchaks étudiés se trouvent dans la région de Relizane (périmètre irrigué du Bas-Chéliff).

4. 1. Analyses du sol

Pour le sol, les méthodes utilisées sont les suivantes :

- L'analyse granulométrique : méthode internationale à la pipette de Robinson ;
- La conductivité électrique (pâte saturée) : méthode électrique (USSS, 1954) ;

Chapitre II. Matériel et méthode

- Le pH : réalisé sur l'extrait de la pâte saturée ;
- Calcaire total : méthode volumétrique au calcimètre de Bernard ;
- Le carbone organique : méthode Anne ;
- Le gypse : dosage par attaque puis précipitation, par le chlorure de baryum ;
- La capacité d'échange cationique (CEC) : méthode Bower, saturation à l'acétate de sodium, pH = 8.2.
- Les bases échangeables (analyse du complexe adsorbant) : déplacement des cations par une solution de chlorure de Baryum. Dosage des bivalents (Ca^{++} , Mg^{++}) par spectrophotométrie à absorption atomique, les monovalents (K^+ , Na^+) par spectrophotométrie à flamme.

4. 2. Analyses de la solution du sol

- 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 trouver une éventuelle relation entre la salinité et les différentes bases échangeables du complexe adsorbant, nous avons adopté une méthode statistique celle des corrélations, à l'aide du logiciel Excel. Pour mieux interpréter le comportement des bases échangeables en fonction de la salinité, nous avons utilisé l'analyse en composante principale.

Chapitre III. Résultats et discussion

Ce chapitre est consacré à la présentation et la discussion des résultats analytiques des Solonchaks du Bas-Chélif.

1. Analyse des constitutions du sol

1. 1. Analyse des constitutions du sol du profil 1

Les paramètres analysés du profil 1 sont présentés dans le tableau I

Tableau X. Résultats analytiques des constituants de sols du profil1

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

1. 1. 1. La granulométrie

Le tableau X et la figure 7 montrent qu'on a une dominance de la fraction limoneuse avec une valeur maximal (58.4%) et argileuse (57.9%). Par contre, la fraction sableuse présentée avec des valeurs faible varie entre 1.3% et 5.9 %. Donc la texture de ce profil est limono-argileuse.

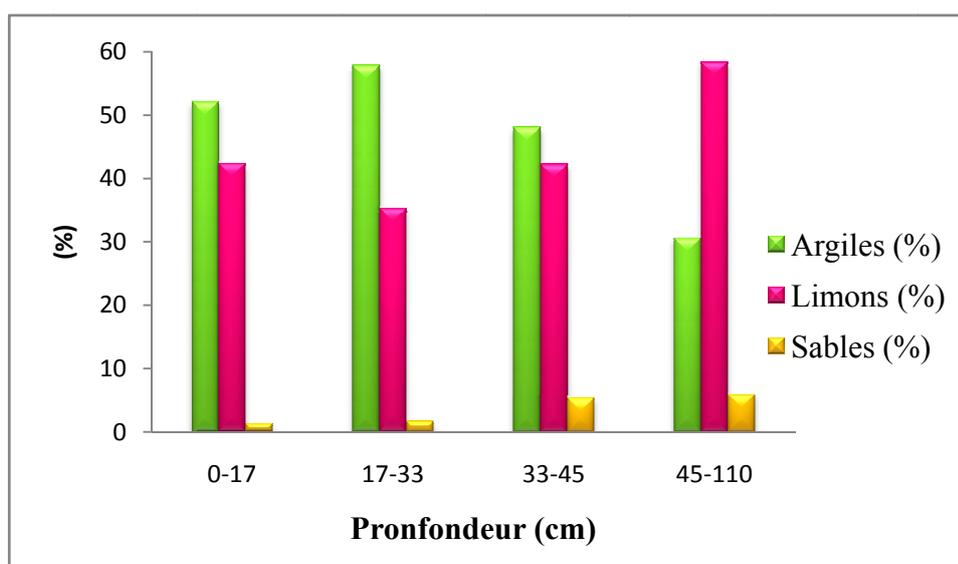


Figure 7. Histogramme de la granulométrie du profil 1.

Chapitre III. Résultats et discussion

1. 1. 2. Le calcaire total

Les teneurs en CaCO₃ varient entre 20.27 et 23.51%. Par conséquent le sol est modérément calcaire (tableau X).

1. 1. 3. Le gypse

Les teneurs en gypse sont faible dans l'ensemble des horizons du profil 1 elles variaient entre 0.71 et 2.678% (tableau X) .Donc, le sol est non gypseux.

1. 1. 4. La matière organique (MO)

Les teneurs en M.O du profil 1 varient entre 0 et 2,47% (tableau X). Par conséquent le sol est pauvre en M.O.

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

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

Tableau XI. Résultats analytiques des constituants de sols du profil 2

	Horizons	Profondeur (cm)	gypse (%)	CaCO ₃ (%)	MO (%)	Argile (%)	Limons (%)	Sable (%)
Profil2	H1	0-10	0.34	18.09	2.4768	38.8	42.0	13.5
	H2	10-19	0.65	22.29	/	42.0	51.2	2.7
	H3	19-28	0.66	19.0	/	30.0	63.2	3.7
	H4	28-70	0.79	21.48	/	32.9	54.6	8.3

1. 2. 1. La granulométrie

Nous remarquons que la fraction granulométrique prédominante c'est la fraction limoneuse qui varie entre 42 et 63.2%, suivie de l'argile avec un taux de 42%. La fraction sableuse est très peu représentée, elle varie entre 2.7 et 13.5% (tableau XI, figure 8). Par conséquent la texture est limono-argileuse.

Chapitre III. Résultats et discussion

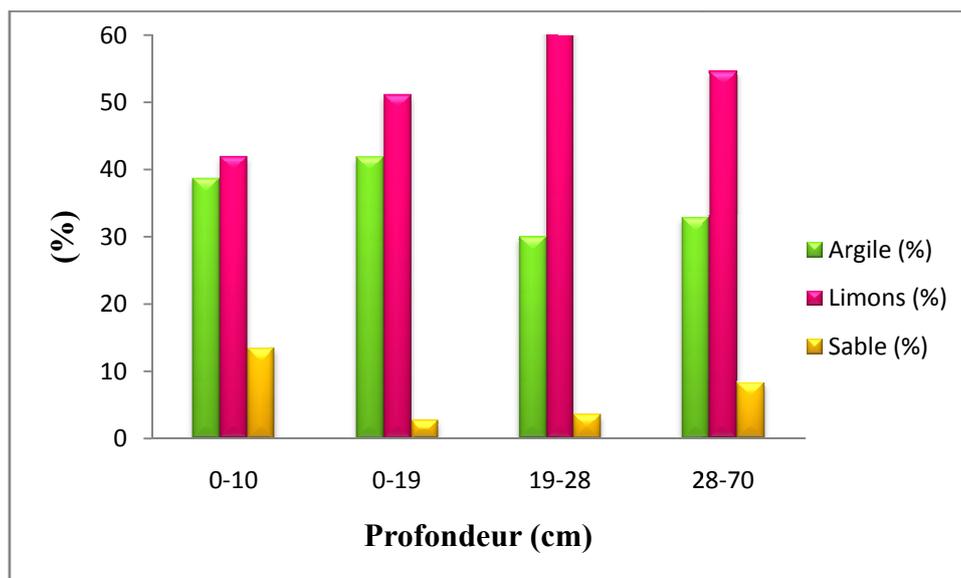


Figure 8. Histogramme de la granulométrie du profil 2.

1. 2. 2. Le calcaire total

Les teneurs en carbonate de calcium varient entre 18,02- 22,29% (tableau XI). De ce fait, le sol est modérément calcaire.

1. 2. 3. Le gypse

La teneur du gypse est faible dans l'ensemble du profil 2 elles varient entre 0,34 et 0,79%. Donc, le sol est non gypseux.

1. 2. 4. La matière organique (MO)

Les valeurs du M.O varient entre 0 et 2,47%. De ce fait, ce sol est pauvre en matière organique.

1. 3. Analyse des constitutions du sol du profil 3

Les paramètres analysés du profil 1 sont présentés dans le tableau XII.

Chapitre III. Résultats et discussion

Tableau XII. Résultats analytiques des constituants de sols du profil 3

	Horizons	Profondeur (cm)	Gypse (%)	CaCO ₃ (%)	MO (%)	Argile (%)	Limons (%)	Sable (%)
Profil3	H1	0-17	1.5	17.02	2.47	47.7	47.5	<1
	H2	17-50	/	17.83	2.4	54.0	46.5	<1
	H3	50-82	/	28,47	/	55.8	41.0	<1
	H4	82-115	/	18.44	/	55.5	40.0	<1

1. 3. 1. La granulométrie

Le tableau XII et la figure 9 montrent qu'on a une dominance de la fraction argileuse avec des valeurs varie entre (47.7 et 55.8%), suivie de la fraction limoneuse (47.5%). La fraction sableuse est faible (<1%), de ce fait, la texture est Argilo- limoneuse.

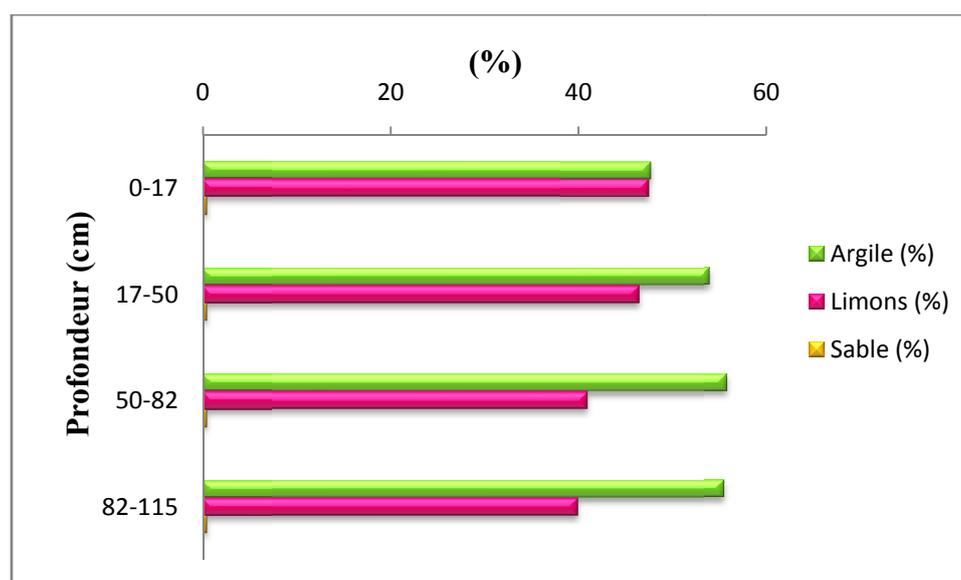


Figure 9. Histogramme de la granulométrie du profil 3.

1. 3. 2. Le calcaire total

Les teneurs en carbonate de calcium de ce profil varient entre (17,02% < CaCO₃ < 28,47%). Par conséquent le sol est modérément calcaire (tableau XII).

Chapitre III. Résultats et discussion

1. 3. 3. Le gypse

Les teneurs en gypse sont très peu représenté dans l'ensemble du profil 3 elles varient entre 0 et 1,5% (tableau XII). De ce fait, le sol est non gypseux.

1. 3. 4. La matière organique (MO)

Nous remarquons que le taux de la matière organique de profil 3 varie entre 0 et 2,47%. Le sol est pauvre en M.O.

2. L'analyse du complexe adsorbant

2. 1. L'analyse du complexe adsorbant du profil 1

Tableau XIII. Résultats analytiques du complexe adsorbant du profil 1

Horizons	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Taux de saturation	CEC	
	Cations échangeables (%)				(%)	(Cmol(+)/kg)	
Profil 1	H1	25,2	46	25,60	6,14	100	20,83
	H2	32,04	44,5	18,32	3,12	100	22,13
	H3	26,32	43,4	27,63	2,32	100	19
	H4	38,89	48,2	15,72	2,28	100	18

2. 1. 1. Capacité d'échange cationique (CEC)

Les valeurs de la CEC varient entre 18 et 20,83 Cmol(+)/kg (tableau XIII). Il semble que la CEC varie en fonction des taux d'argiles et celle de la matière organique (tableau X).

2. 1. 2. Les bases échangeables

Le tableau XIII et la figure 10 montrent que les bases échangeables sont dominées par le calcium avec des valeurs oscillent entre 43,4 % et 48,2 % de la CEC. Le magnésium occupe également une part appréciable de la capacité d'échange cationique avec des taux qui varient entre 15,72 et 27,63% de la CEC. Les taux du potassium sont faibles (2,28 à 6,14 %). Le taux de sodium échangeable (ESP) présente des teneurs variables (25% < ESP < 38%) selon l'horizon considérés. Tous les horizons sont sodiques (ESP > 15%). Le classement des bases échangeables par ordre des grandeurs est de type Ca⁺⁺% > Na⁺% > Mg⁺⁺% > K⁺%.

Chapitre III. Résultats et discussion

Le taux de saturation calculé est de 100 % de la capacité d'échange cationique. Ceci s'explique par le fait que ces sols sont salés et calcaires.

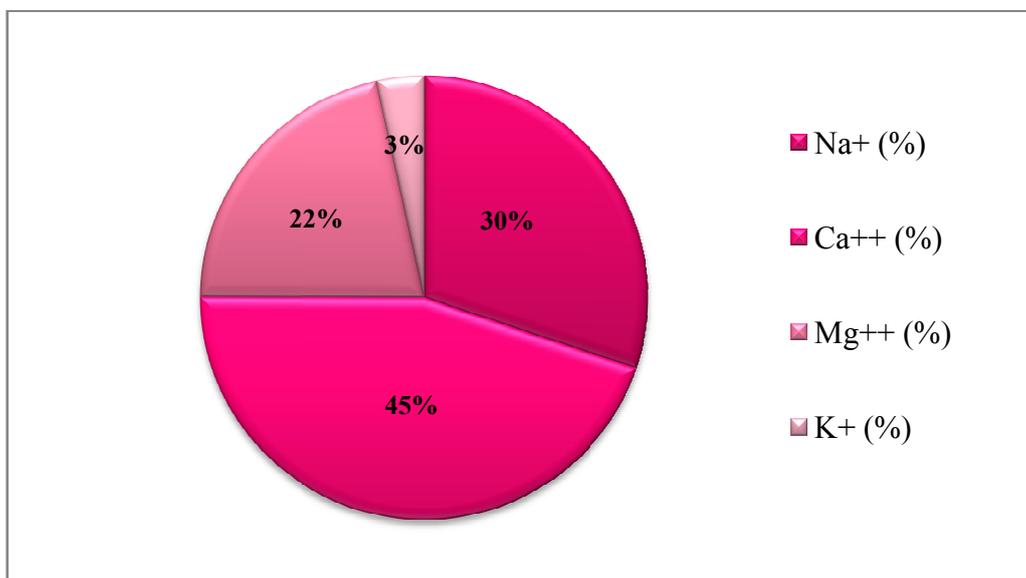


Figure 10. Les cations échangeables du complexe adsorbant du profil 1.

2. 2. L'analyse du complexe adsorbant du profil 2

Tableau XIV. Résultats analytiques des constituants du complexe adsorbant du profil 2

	Horizons	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Taux de saturation	CEC
		Cations échangeables (%)				(%)	(Cmol(+)/kg)
Profil 2	H1	29,55	45,9	19,32	5,19	100	17,74
	H2	26,33	46	20,71	5,39	100	19,48
	H3	24,89	43,6	32,39	3,83	100	18
	H4	29,72	40,9	21,28	4,28	100	18

2.2.1. Capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique du profil 3 varie entre 17,74 % et 19,48 (Cmol(+)/kg) (tableau XIV). Ces valeurs sont relativement élevées.

2.2.2. Les bases échangeables

Le calcium Ca⁺⁺ constitue le cation échangeable le plus dominant dans le profil 2, avec des taux qui varient entre 40,9 % et 46 % (tableau XIV et la figure 11). Le Na⁺ en deuxième position avec des taux varient entre 24,89 % et 29,72 %. Le Mg⁺⁺ se situe en troisième

Chapitre III. Résultats et discussion

positions avec une proportion qui varie entre 19,32 % et 32,39 %. Le K⁺ se situe en dernière position avec une moyenne de 5 % (figure 11).

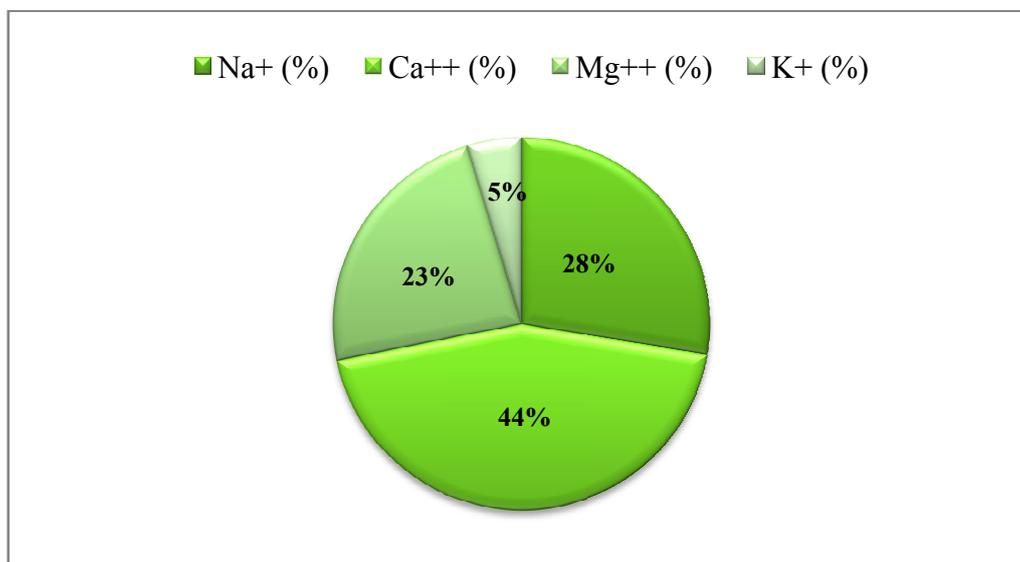


Figure 11. Les cations échangeables du complexe adsorbant du profil 2.

3. 3. L'analyse du complexe adsorbant du profil 3

Tableau XV. Résultats analytiques des constituants du complexe adsorbant du profil 3

	Horizons	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Taux de saturation	CEC
		Cations échangeables (%)				(%)	(Cmol(+)/kg)
Profil 3	H1	9,44	43,6	44,89	2,11	100	18
	H2	33,37	40	22,32	4,84	100	19
	H3	24,6	48,3	20,75	5,95	100	20
	H4	23,1	45,8	22,50	5,45	100	20

3.3.1. Capacité d'échange cationique (CEC)

Le tableau XV montre que la capacité d'échange cationique oscille entre 18 et 20 Cmol (+)/kg. Les valeurs importantes de la CEC sont dues aux taux élevés des argiles dans le profil.

3.3.2. Les bases échangeables

Nous observons que les bases échangeables du profil 3 (tableau XV et figure 12) sont dominés par le Ca⁺⁺ (45%). Le Mg⁺⁺ se situe en deuxième position, avec des valeurs oscillent entre 22,32 % et 44,89 %. Le Na⁺ (23%) et le K⁺ (4%) viennent en troisième et quatrième

Chapitre III. Résultats et discussion

position respectivement. Nous concluons que l'ensemble des horizons sont sodiques, exception faite pour le premier horizon qui n'est pas sodique $ESP < 15\%$.

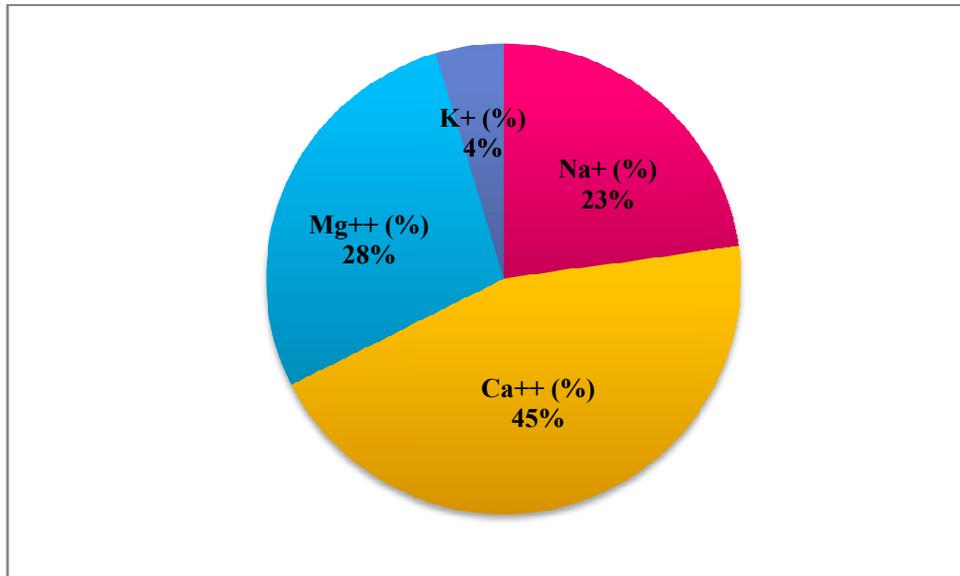


Figure 12. Les cations échangeables du complexe adsorbant du profil 3.

4. Analyse de la solution du sol

4. 1. Analyse de la solution du sol du profil 1

Les paramètres analysés de la solution du sol sont présentés dans le tableau XVI

Tableau XVI. Résultats analytiques de la solution du sol du profil 1

	Horizons	pH	CE (dS/m)	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	Ca ⁺⁺ (meq/l)	Mg ⁺⁺ (meq/l)	Σ ⁺	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ⁻ (meq/l)	Σ ⁻	SAR
Profil1	H1	7,63	23,5	125,6	10,16	50,25	30,64	19,75	2	200	30	232	19,75
	H2	7,45	27,1	180,65	3,82	50,25	26,67	261,39	2	240	30	272	29,13
	H3	7,18	41,5	208,27	4	135,63	78,82	426,72	8	373,91	94,2	476,11	20,11
	H4	7,3	57,4	322,04	4,94	215,08	36,92	578,98	9	500,13	80,6	589,73	28,69

3.1.1. La salinité

D'après le tableau XVI la distribution des sels en fonction de la profondeur montre un maximum de salinité au niveau de l'horizon de profondeur H4 (CE = 57,4 dS/m). Par contre

Chapitre III. Résultats et discussion

nous observons que la salinité est relativement faible au niveau de l'horizon de surface (CE = 23,5 dS/m). Ceci est dû à une lixiviation des sels par les pluies. De ce fait, le profil salin est de type descendant (figure 13).

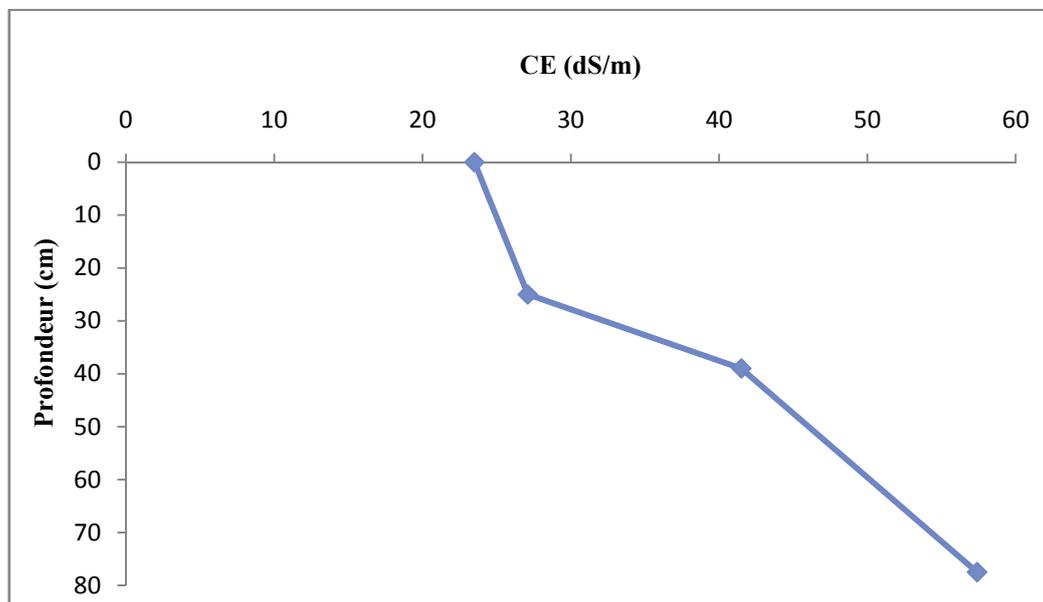


Figure 13. Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 1.

4. 1. 2. pH

Les valeurs du pH varient entre 7,3 et 7,63 (tableau XVI). La réaction du sol est relativement alcaline.

4. 1. 3. Les cations

Nous remarquons que la solution du sol du profil 1 est dominée par le Na^+ avec des concentrations plus élevées variant entre 125,6 meq/l et 322,04 meq/l (tableau XVI et figure 14). Le Ca^{2+} vient en deuxième position avec des teneurs qui varient entre 50,25 meq/l et 215,08 meq/l. Le Mg^{2+} classé en troisième position avec des concentrations variant entre 26,67 meq/l et 78,82 meq/l. Le K^+ classé en dernière position avec des concentrations variant entre 3,82 meq/l et 10,16 meq/l.

Le classement des cations selon leur prédominance, est de type : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$.

4. 1. 4. Les anions

Le Cl^- est l'anion dominant dans la solution du sol de ce profil, avec des concentrations variant entre 200 meq/l et 500,13 meq/l. Les ions SO_4^- situés en deuxième classe avec des

Chapitre III. Résultats et discussion

valeurs varient entre 30 meq/l et 94,2 meq/l. Les HCO_3^- sont classés en dernière positions avec des teneurs varient entre 2 meq/l et 9 meq/l.

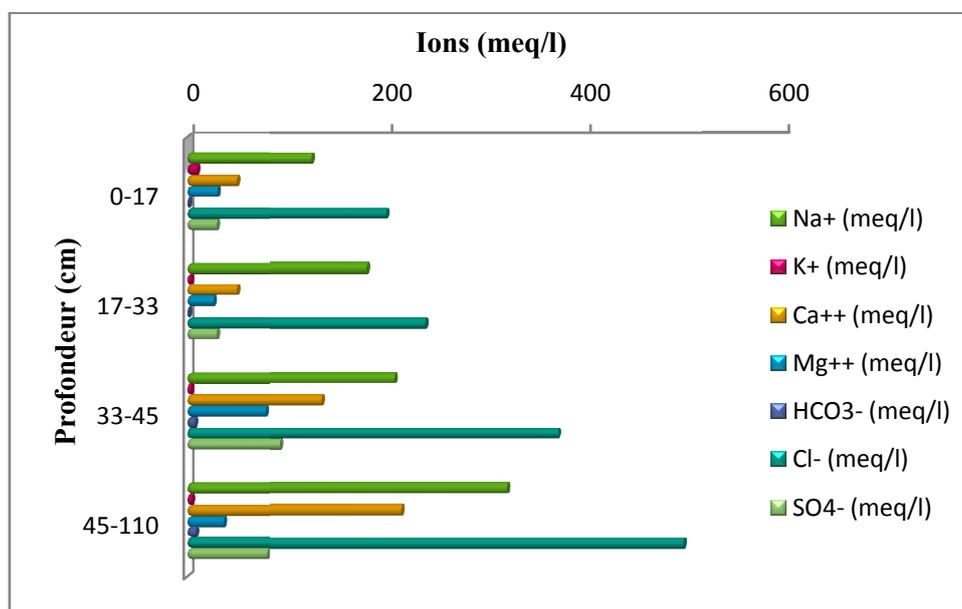


Figure 14. Histogramme des cations et des anions de la solution du sol du profil 1.

4. 1. 5. Le S.A.R (Sodium adsorption ratio)

Les valeurs du sodium adsorbant ratio (SAR) du profil 1 varient entre 19,75 et 29,16 (tableau XVI). Par conséquent le sol se caractérise par un degré d'alcalinisation intense.

4. 2. Analyse de la solution du sol du profil 2

La composition anionique et cationique de la solution du sol est présentée dans le tableau XVII.

Tableau XVII. Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 2

	Horizons	pH	CE (dS/m)	Na^+ (meq/l)	K^+ (meq/l)	Ca^{++} (meq/l)	Mg^{++} (meq/l)	Σ^+	HCO_3^- (meq/l)	Cl^- (meq/l)	SO_4^- (meq/l)	Σ^-	SAR
Profil2	H1	7,5	40,1	220	5	34,67	209,38	469,05	2,61	300,65	149,8	453,06	18,56
	H2	7,1	55,1	270,25	2,57	40,88	260,90	574,6	2,61	385,96	149,8	538,06	20,92
	H3	7,3	54,6	250	4,54	35,73	230,5	520,77	1,74	430,43	158,36	590,53	21,67
	H4	7,1	65	400,75	2,88	54,67	286,38	744,67	1,74	560,87	160	722,87	30,69

Chapitre III. Résultats et discussion

4. 2. 1. La salinité

Les résultats obtenus montrent une variation de la conductivité électrique d'un horizon à un autre (tableau XVII). Les valeurs obtenues sont comprises entre 40,1 dS/m pour l'horizon de surface et 65 dS/m pour l'horizon de profondeur. Nous constatons une augmentation de la salinité à partir de l'horizon de sub-surface (55,1 dS/m), par la suite la salinité diminue sensiblement au niveau du troisième horizon (54,6 dS/m). Cependant, nous remarquons une augmentation de la salinité au niveau de l'horizon de profondeur. Cette augmentation de la salinité est due à une lixiviation des sels par les dernières pluies, provoquant ainsi une accumulation des sels dans l'horizon de profondeur.

Ces résultats indiquent que le profil salin du profil 2 est de type descendant (figure 14).

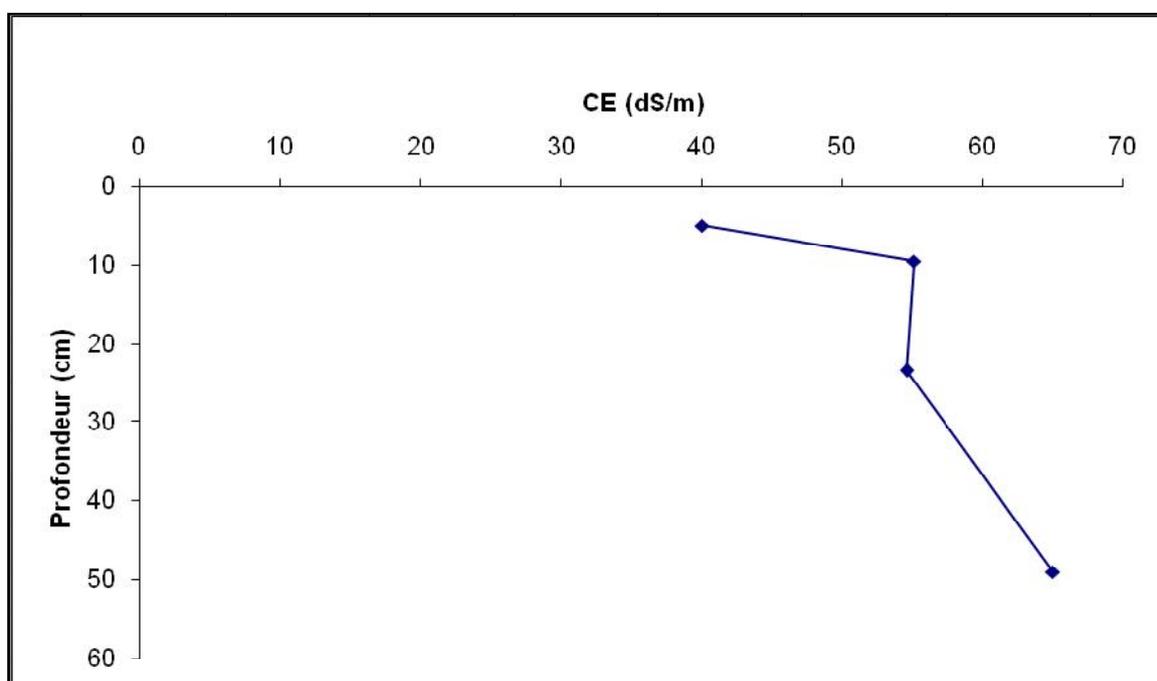


Figure 15. Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 2.

4. 2. 2. pH

Les valeurs du pH obtenues varient entre 7,1 et 7,5 (tableau XVII). Ces valeurs de pH révèlent une certaine alcalinité de la réaction du sol.

4. 2. 3. Les cations

Le sodium Na^+ est le cation le plus dominant avec des concentrations qui oscillent entre 220 meq/l et 400,75 meq/l (tableau XVII et figure 16). Le Mg^{2+} vient en deuxième position avec

Chapitre III. Résultats et discussion

des valeurs qui varient entre 209,38 meq/l et 286,38 meq/l. Le Ca^{2+} classé en troisième position avec des concentrations varient entre 34,67 meq/l et 54,67 meq/l, par contre le K^+ est classé en dernier position avec des teneurs varient entre 2,57 meq/l et 5 meq/l.

4. 2. 4. Les anions

L'anion prédominant dans la solution du sol du profil 2 est le Cl^- avec des teneurs varient entre 300,65 et 560,87 meq/l (tableau XVII et figure 16). Le SO_4^- est classé en deuxième position avec des concentrations qui varient entre 149,8 meq/l et 160 meq/l. Les ions bicarbonates HCO_3^- viennent en dernière position avec des valeurs très faible varie entre 1,74 meq/l et 2,61 meq/l.

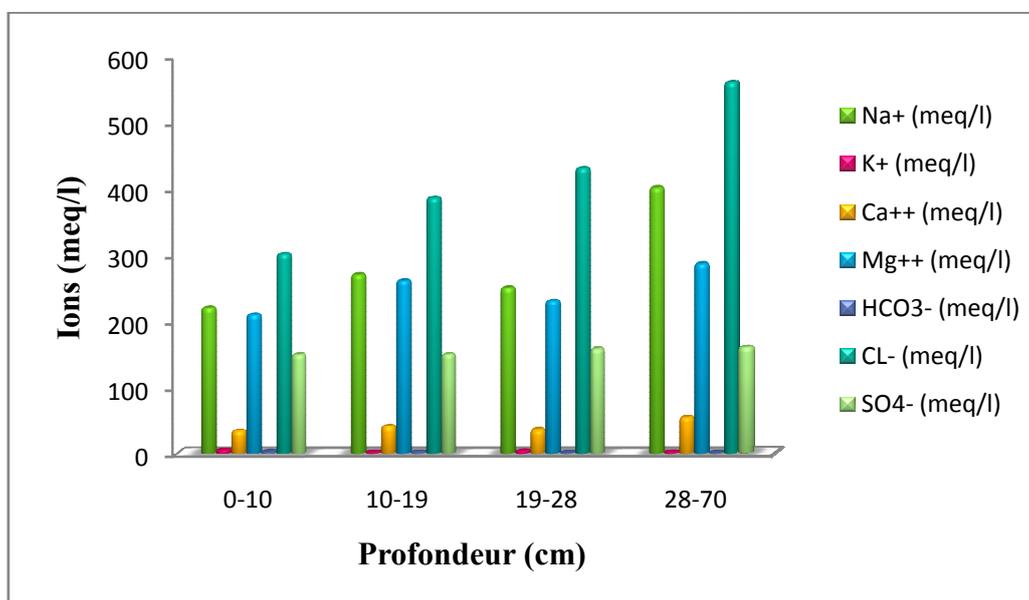


Figure 16. Histogramme des cations et des anions de la solution du sol du profil 2.

4. 2. 5. Le S.A.R

Les valeurs du SAR dans tous les horizons du profil 2 sont supérieures à 18. Ces valeurs varient entre 18,56 et 30,69 (tableau XVII). De ce fait, le risque d'alcalinisation est élevé.

4. 3. Analyse de la solution du sol du profil 3

Les résultats du bilan ionique de la solution du sol sont présentés dans le tableau XVIII.

Chapitre III. Résultats et discussion

Tableau XVIII. Résultats analytiques de la solution du sol du profil 3

	Horizons	pH	CE (dS/m)	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	Ca ⁺⁺ (meq/l)	Mg ⁺⁺ (meq/l)	Σ ⁺	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ⁻ (meq/l)	Σ ⁻	SAR
Profil3	H1	7,3	2,61	20	1,14	8,58	2,52	32,24	2	15	7	24	8,90
	H2	7,3	36,2	240,6	4,94	106,25	26,67	422,03	1	365	50	416	29,51
	H3	7,3	32,9	250	1,95	106,25	26,67	425,72	6	386	30	422	30,67
	H4	7,4	38,2	230	0,5	120	100	450,5	2,52	386,96	98,4	487,88	21,93

3.3.1. La salinité

Nous observons que les valeurs de la salinité varient entre 2,61 dS/m et 38,2 dS/m (tableau XVIII et figure 17). La distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 3 montre une forte salinité au niveau du dernier horizon avec une valeur de 38,2 dS/m. Par ailleurs, la salinité est relativement faible au niveau de l'horizon de surface (CE = 2,61dS/m). Ces résultats indiquent que le profil salin du profil 3 est de type descendant.

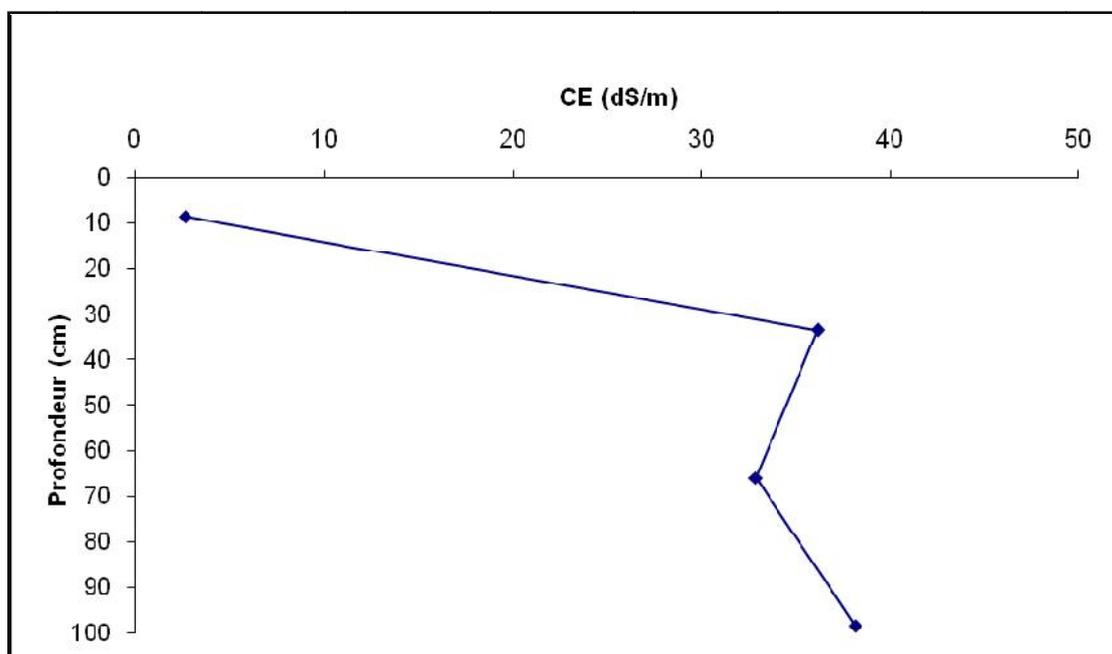


Figure 17. Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 3.

Chapitre III. Résultats et discussion

4. 3. 2. pH

Les valeurs du pH dans l'ensemble des horizons varient entre 7,3 et 7,4 (tableau XVIII). De ce fait, la réaction du sol est relativement alcaline.

4. 3. 3. Les cations

Parmi tous les cations de la solution du sol du profil 3 (tableau XVIII et figure 18). Nous remarquons une dominance du sodium avec des concentrations plus importantes varient entre 20 meq/l et 250 meq/l. Le Ca^{++} se situe en deuxième positions avec des valeurs entre 8,58 meq/l et 120 meq/l. Par la suite le Mg^{++} se situe en troisième positions avec des teneurs varient entre 2,52 et 100 meq/l. Le K^+ se situe en dernière position avec une concentration qui varie entre 0,5 et 4,94 meq/l.

4. 3. 4. Les anions

Le Cl^- est l'anion prédominant dans la solution du sol du profil 3 avec des concentrations varient entre 15 meq/l et 386,96 meq/l. Les ions SO_4^{--} situés en deuxième position avec des valeurs varient entre 7 meq/l et 98,4 meq/l. En fin, le HCO_3^- classé en troisième positions avec des faibles teneurs varient entre 1 meq/l et 6 meq/l.

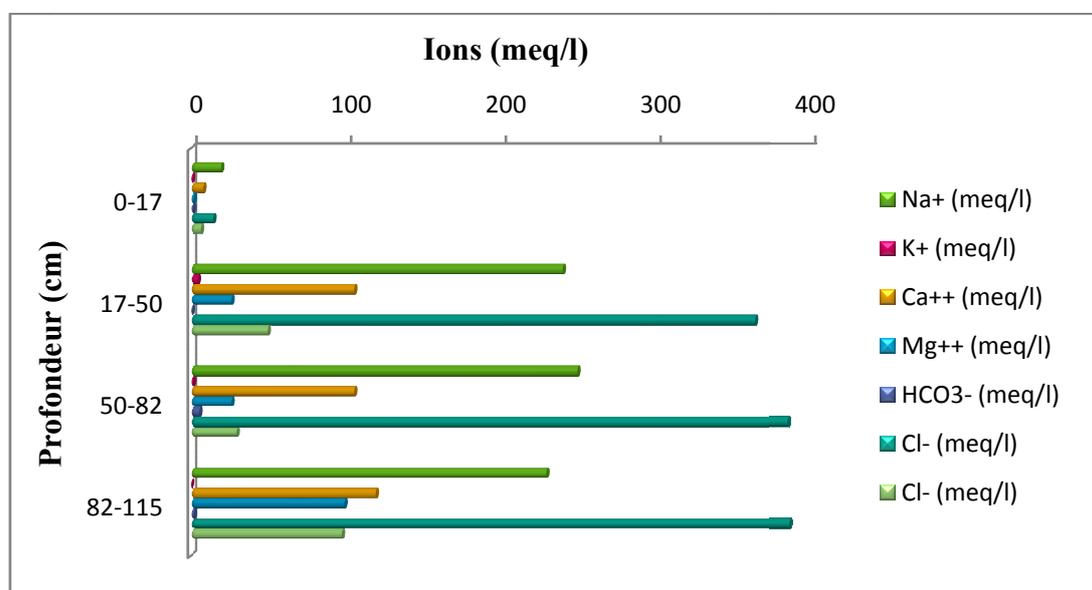


Figure 18. Histogramme des cations et des anions de la solution du sol du profil 3.

Chapitre III. Résultats et discussion

4. 3. 5. Le S.A.R (Sodium adsorption ratio)

Les valeurs du SAR varient entre 8,90 et 30,67. Donc le risque d'alcalinisation est important pour l'ensemble des horizons. Seul, l'horizon de surface présente un risque d'alcalinisation relativement faible (SAR=8,9).

5. Le faciès chimique

Le diagramme de Piper (figure 19) a révélé l'existence de deux faciès chimiques prédominant. Le faciès de type chloruré sodique représente la majorité des horizons (P4H3, P4H4, P4H2, P4H1, P3H3, P3H2 et P3H4) soit 44% de l'ensemble des horizons. Le faciès de type chloruré calcique représente 25% des horizons étudiés (P2H2, P2H3, P2H4 et P3H4). Pour les autres horizons le faciès est de type chloruré sans dominance particulière de l'un des cations.

En revanche, le faciès de type chloruré sodique correspond aux plus fortes valeurs de salinité. Ces sols évoluent selon la voie saline neutre à dominante chlorurée (Vallès et al., 1997).

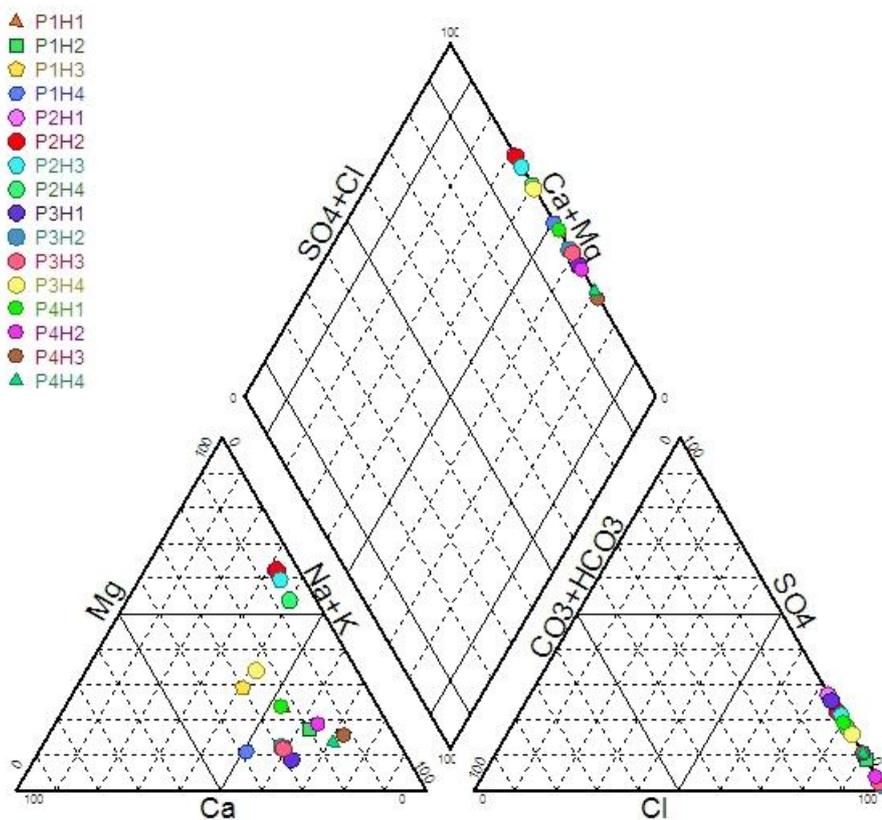


Figure 19. Diagramme de Piper.

Chapitre III. Résultats et discussion

6. Statistique descriptive multidimensionnelle du complexe adsorbant et la salinité

Nous avons utilisé l'analyse en composante principale (ACP), afin de connaître la relation entre la salinité et l'enrichissement du complexe adsorbant par le sodium échangeable.

La figure 20 de l'ACP, montre que l'essentiel de l'information contenue dans les résultats sont représentés par l'axe F1 et F2. L'axe F1 extrait 43.82 % de l'inertie du nuage de points. Sur l'axe F2, l'inertie résiduelle qu'il extrait est de 30.49 %.

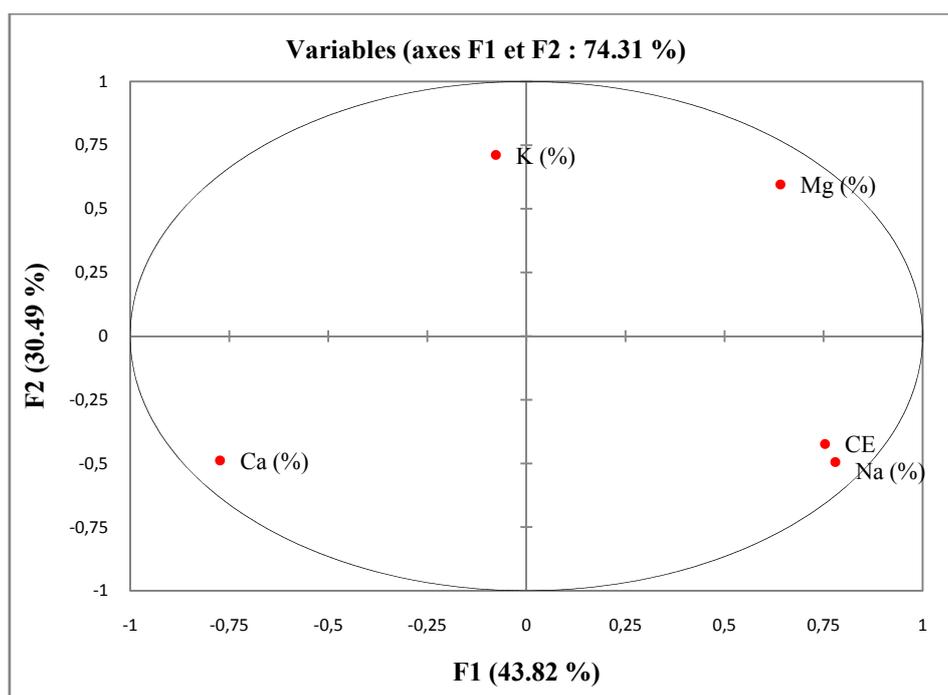


Figure 20. L'analyse en composante principale.

Le premier axe est formé de la contribution des variables : Na^+ (27,74%), CE (25,92%), Ca^{++} (27,3%) et le Mg^{++} (18,76%) (tableau XIX). Cependant, l'axe F2 est formé de la contribution des variables Na^+ (16%), CE (11,77%), Ca^{++} (15,67%), K^+ (33,21%) et le Mg^{++} (18,76%). De ce fait, l'ACP révèle que la CE et le Na^+ sont proches et se dirigent dans le sens positif de l'axe F1 (figure 20). Nous pouvons dire que l'augmentation de la salinité s'accompagne d'un enrichissement du complexe adsorbant par le Na^+ . De plus, ces deux paramètres sont proches du cercle des corrélations, donc il existe une relation proportionnelle entre le Na^+ et la salinité. Par ailleurs, le Ca^{++} contribue fortement dans la formation de l'axe F1 au même titre que le Na^+ , mais dans le sens négatif de l'axe F1 (figure 20). Nous pouvons dire que l'enrichissement du complexe adsorbant par le Na^+ se fait au détriment du Ca^{++} .

Chapitre III. Résultats et discussion

D'une manière générale, le cercle des corrélations (figure 20) montre que l'enrichissement du complexe adsorbant par les cations échangeables Ca^{++} , K^+ et le Mg^{++} ne semblent pas avoir été affectés par la salinité.

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

	F1	F2	F3	F4	F5
Na (%)	27.741	16.058	2.815	17.414	35.972
Ca (%)	27.304	15.672	2.621	27.790	26.613
Mg (%)	18.760	23.280	15.110	26.260	16.590
K (%)	0.273	33.218	63.075	0.160	3.275
CE	25.923	11.772	16.380	28.376	17.550

7. Relation entre la salinité et les cations échangeables du complexe adsorbant

Il s'agit d'étudier l'existence d'une relation statistique entre la salinité et la garniture cationique du complexe adsorbant (Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} et K^+), avec un seuil de probabilité de 5%.

7. 1. Relation entre la CE et le Na^+ échangeable du complexe adsorbant

La relation entre la CE et le sodium échangeable du complexe adsorbant est significative ($r = 0.54$; $p > 0.05$) (figure 21). Ce résultat statistique signifie que l'évolution de la CE entraîne un enrichissement du complexe adsorbant par le sodium échangeable. L'équation de régression entre ces deux paramètres est de type : $\text{CE} = 6.57 \text{ Na} + 7.948$.

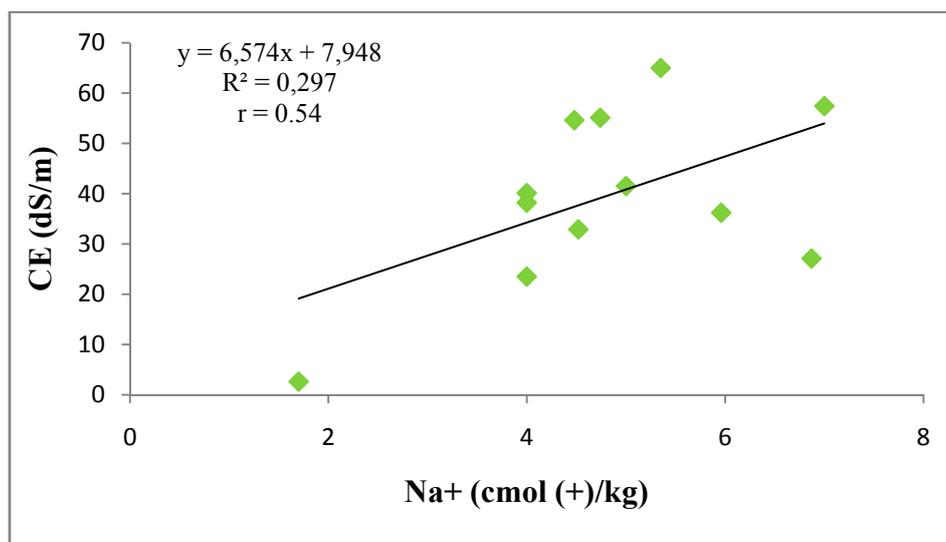


Figure 21. Relation entre la conductivité électrique et le Na^+ .

Chapitre III. Résultats et discussion

7. 2. Corrélation entre la CE et le Ca⁺⁺ échangeable du complexe adsorbant

La relation entre la CE et le calcium échangeable du complexe adsorbant est significative et négative ($r = -0.58$; $p > 0.05$) (figure 22). Ce résultat statistique signifie que l'évolution de la CE provoque une diminution du calcium échangeable au niveau du complexe adsorbant. L'équation mathématique est de type : $CE = -12.26 Ca + 142.4$

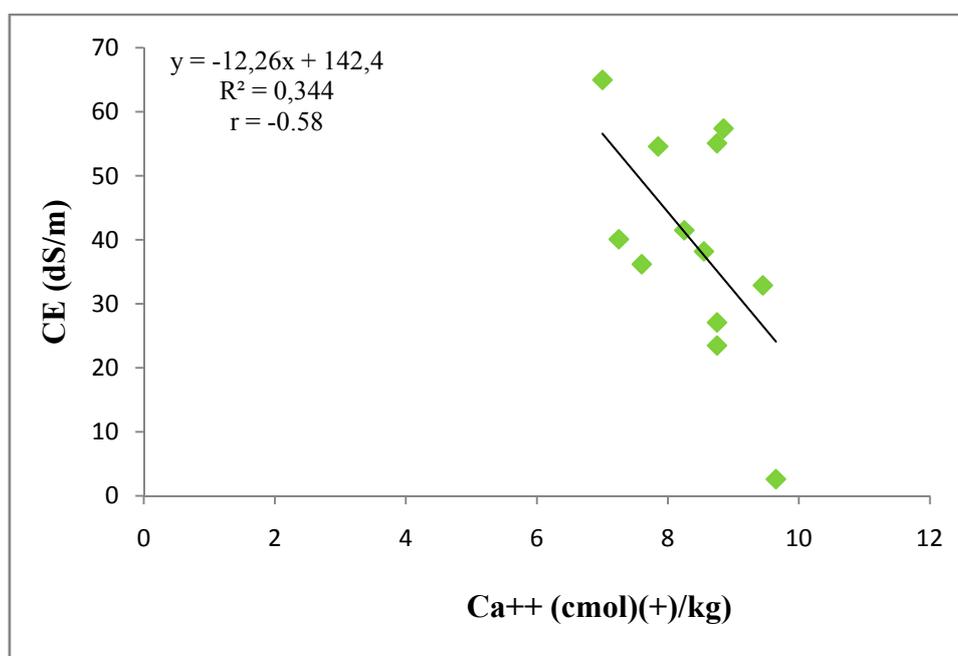


Figure 22. Relation entre la conductivité électrique et le Ca⁺⁺.

7. 3. Relation entre la CE et le magnésium échangeable du complexe adsorbant

La relation entre la CE et le Mg⁺⁺ échangeable du complexe adsorbant est significative et négatif ($r = -0.56$; $p > 0.05$) (figure 23). Ceci révèle que la relation entre la CE et le Mg est inversement proportionnelle. L'équation de régression entre le magnésium échangeable et la conductivité électrique est de type : $CE = -6.318 Mg + 66.54$.

Chapitre III. Résultats et discussion

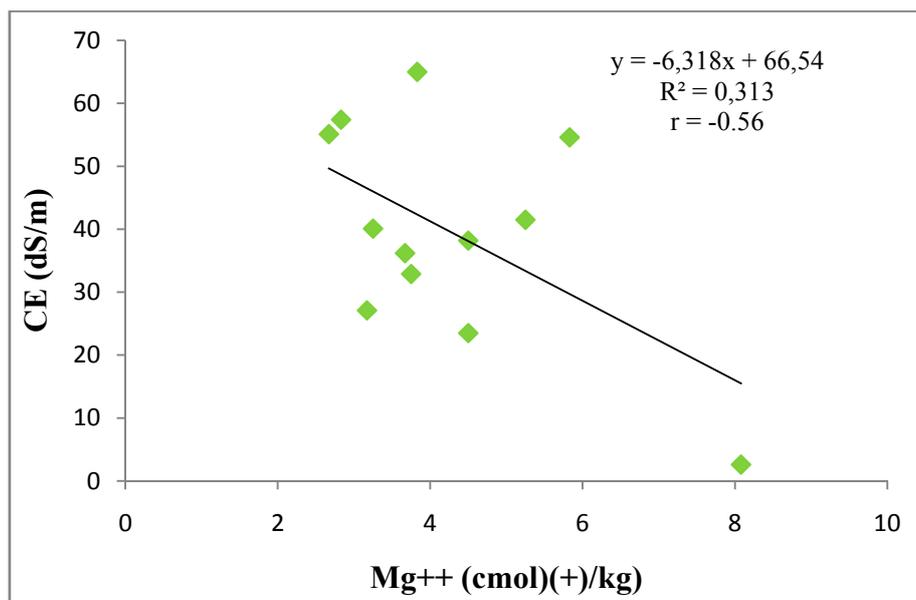


Figure 23. Relation entre la conductivité électrique et le Mg⁺⁺.

Enfin, La relation entre le CE et le K⁺ échangeable du complexe adsorbant est non significative ($r = 0.04$; $p > 0.05$).

8. Discussion générale

L'analyse des données montrent que la zone d'étude est caractérisée par une texture à prédominance limono-argileuse. De même, ces sols sont caractérisés par l'absence de gypse, pauvre en matière organique et modérément calcaire. D'une manière générale, le gypse est faiblement représenté dans la plaine (Douaoui, 2005).

Les sols étudiés se caractérisent également par la présence un maximum de salinité au niveau des horizons de profondeur. De ce fait, les profils salins sont descendants, ceci est dû à une lixiviation des sels par les dernières pluies. L'intensité de la lixiviation dépendrait des propriétés d'infiltration des sols contrôlée par une texture relativement fine et par une structure affectée par la sodicité. Ceci provoque une diminution de la salinité au niveau des horizons de surface.

Cependant, l'analyse de la solution du sol des trois profils étudiés montre que le cation majoritaire dans la solution c'est le sodium avec des teneurs relativement élevés, suivie par le calcium et le magnésium, ceci explique la prédominance du facies chimique chloruré sodique (44%) et le chloruré calcique (25%). De même, les chlorures présentent l'anion prédominant de la solution du sol pour les trois sols et suivie par les sulfates. Ces sols évoluent selon la voie saline neutre à dominante chlorurée.

Chapitre III. Résultats et discussion

L'analyse en composante principale (ACP) des éléments chimiques du complexe adsorbant à montré que l'augmentation de la salinité s'accompagne d'un enrichissement du complexe adsorbant par le Na^+ . Ce dernier ce fait au détriment du calcium et du magnésium, d'ailleurs la corrélation est négative et significative entre les couples Ca^{++} - CE ($r = -0.58$; $p > 0.05$) et Mg^{++} -CE ($r = -0.56$; $p > 0.05$). Cependant, la corrélation est positive est significative entre la salinité et le taux du sodium échangeable sur le complexe adsorbant ($r = 0.54$; $p > 0.05$). Les fortes concentrations du sodium de la solution (concentration du $\text{Na}^+ > 220$ meq/l) ont provoqués un déplacement du calcium et du magnésium à partir du complexe adsorbant vers la solution du sol. Donc, le Ca^{++} et Mg^{++} ont été remplacé par le sodium.

L'analyse des résultats analytiques suggère que la salinisation dans le Bas-Cheliff s'accompagne d'une sodisation, surtout lorsque la salinité est très importante. Ce résultat va dans le même sens que ceux de Djili (2000) et Touaf (2002), pour les sols salés du nord d'Algérie.

Enfin, la relation entre le salinité et le K^+ échangeable et non significative ($r = 0.04$; $p > 0.05$), le potassium ne semblent pas jouer de rôle significatif dans la variation de la CE.

CHAPITRE I.

Synthèse Bibliographique

CHAPITRE II.

Matériels et Méthodes

CHAPITRE III

Résultats et discussions.

Introduction générale

Conclusion générale

*Références
bibliographiques*

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de cette investigation est d'étudier la relation entre la salinité et la sodicité des sols. A cet effet, nous avons étudié trois profils de Solonchaks localisés dans la région du Bas-Chéliff.

Les résultats obtenus montrent que la zone d'étude est caractérisée par une texture à prédominance argileuse à argilo-limoneuse. Les sols étudiés sont généralement alcalins, calcaires (18%) et faiblement gypseux (gypse < 3%).

Les analyses des résultats de la solution des sols révèlent que les chlorures et le Na^+ constituent une prédominance dans la composition chimique de la solution des sols étudiés. Le faciès chimique dominant est de type chloruré sodique pour les trois profils. Par ailleurs, ces sols sont affectés par une salinité très élevée ($2.65 < \text{CE (dS/m)} < 65$), les horizons de profondeurs sont marqués par un maximum de salinité, se qui fait les profils salins sont de type descendants.

Cependant, l'analyse du complexe adsorbant à montré que le calcium et le sodium occupent des teneurs appréciable sur le complexe suivie du magnésium, le potassium échangeable occupe une faible proportion sur le complexe adsorbant. De ce fait, les profils étudiés sont sodique ($\text{ESP} > 15\%$).

En revanche, l'analyse statistique à révélé que la corrélation est négative et significative entre le Ca^{++} et la CE ($r = 0.58$). De même, la corrélation est négative et significative entre le Mg^{++} et la CE ($r = -0.56$). Cependant, la corrélation est positive et significative entre la salinité et le taux du sodium échangeable sur le complexe adsorbant ($r = 0.54$). Ceci démontre que l'évolution de la salinité engendre un accroissement du sodium échangeable sur le complexe adsorbant. Ainsi, l'enrichissent du complexe adsorbant par le sodium se fait au détriment du Ca^{++} et du Mg^{++} .

Enfin, cette étude doit être complétée par une analyse morphologique et minéralogique afin de mieux comprendre le comportement salin des Solonchaks étudiés.

Les résultats de ce travail contribueront, certainement à une meilleure connaissance des conséquences de la salinité sur l'agriculture et l'environnement dans la région d'étude.

Référence bibliographique

Référence bibliographique

ABBOTT C. L., EL QUOSY D. E. D., 1996. Soil Salinity Processes under Drain Water Reuse in the Nile Delta, Egypt. HR Wallingford, England, 93p.

ANONYME ., 2006. Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation. Conférence électronique sur la salinisation : Organisée et coordonnée par: IPTRID du 6 février au 6 Mars 2006, 20 p.

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

AUBERT G., 1988. Les sols salés et leur mise en valeur. Séminaire National, sur la fertilisation, Chélif Algérie.

BELDJOUDI Z., ET DAOUD Y., 2002. Conséquence de la salinité sur l'antagonisme Na⁺/K⁺ chez six cultivars de blé dur. IIIème Journées scientifiques sur le blé. 11 -12-1 Février G.B.B.V.-D.S.N.V.- I.T.G.C., Univ. Mentouri, Constantine: 98-99.

BEN AISSA I., BOUKSILA F., BAHRI A., BOUARFA S., CHAUMONT C., HICHRI W., 2004. Gestion de l'eau et des sels au sein d'une oasis du sud tunisien. Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée, Rabat, 12p.

BEN HASSINE H., BEN SALEM M. et BONIN G. 2005. Réserve utile des sols du NordOuest de Tunisie, évolution sous culture. Etude et gestion des sols, vol. 10, 1, pp. 19-33.

BENZELLAT BENMAHAMMED., 2012. Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés. Thèse Magister en Sciences Agronomiques, université de Tlemcen, 170p.

BOIVIN P., BRUNET D., JOB J.O., 1988. Conductivité électromagnétique et cartographie automatique des sols salés. Une méthode rapide et faible. Cah. ORSTOM, sér. pédol., vol. XXIV, n°1, pp. 39-48.

BOT A et al., 2000. Land resource potential and constraints at regional and country levels. World Soil Resources Report N° 90. Rome: FAO of UN.

BOTTORAUD J.C., BORNAND M. et SERVAT E., 1984. Mesures de résistivité appliquée à la cartographie en pédologie. Science du sol, 4, pp 276-294.

Référence bibliographique

BOUAOUINA S., ZID E., HAJJI M., 2000. Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.) CIHEAM – Options Méditerranéennes. pp.-2.

BOUCHOUKH I., 2010. Comportement écophysiological de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin .p 16- 29- 6 -35.

BRADY N.C., et WEIL R., 2002. The nature and properties of soils. Prentice Hall, Uppersaddleriver, NJ, USA.

CHERBY B, 1991. Les sols salés et leur réhabilitation. Etude bibliographique, C.E.M.A.G.R.E.F 124 P.

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.

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

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.

DUCHAUFOR P, 1977. Pédogenèse et classification. Tome 1, Ed. Masson, Paris, 477p.

DURAND J, H., 1956. Quelque aspects de la station d'étude des sols salins des HAMADENA et de ses activités, SESSH, Alger, 31 p.

DURAND J.H., 1958. Les sols irrigables. Etude pédologique. Alger. 190 pages.

ESSINGTON M.E., 2004. Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press, USA.

FAO., 1972. La salinité – Séminaire de Bagdad 272p.

FAO., 1984. Prognosis of salinity and alkanity. FAO soils Bulletin 31, 268 p.

Référence bibliographique

FAO, 2005. Utilisation des engrais par culture en Algérie. Doc. FAO Rome, 61 p.

FAOSTAT., 2008. Editeur technique : DANILO MEJIA FAOSTAT.

GALLILI TH., 1980. Transfert sels - matière organique en zones arides méditerranéennes. Univ. Nancy INPL.

HADJ MILOUD S., 2010. Morphologie et propriétés des Solonchaks références de la Mina. Mémoire de Magister, ENSA, EL Harrach (Alger), 112 p.

HALITIM A., 1985. Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes Plaines Steppiques d'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Rennes, 383 p.

HALITIM A., 1988. Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger, 384 p.

HAMMIA IMANE., 2012. Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies d'Oued Righ. Thèse Ing, université Ouargla, 79p.

HAOUALA F., FERJANI H., BEN EL HADJ S., 2004. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 11 (3) ,235 - 244.

IMALET R., 1979. Influence de différentes concentrations de sels (NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4) des eaux d'irrigation de l'agriculture sur le rendement du haricot. Thèse Ing, INA, EL Harrach ,43p.

INSID., 2005. Problématique de la salinité dans le périmètre irrigué du Bas Cheliff : Besoins en formation, en recherche-développement et en transferts de technologies. 25 p.

IPTRID. (Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage) 2006. Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation Du 6 Février au 6 Mars 2006.

JABNOUNE M., 2008. Adaptation des plantes au stress Salin : caractérisation du transporteur de sodium et potassium de la famille HKT chez le riz .Thèse doctorat, univ Montpellier II.

Référence bibliographique

JENDOUBI S., 1997. Contribution à la caractérisation physiologique et biochimique de parois racinaires.

JOB J.O., LOYER J.Y., AILOUL M., 1987. Utilisation de la conductivité électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., v.23, n°2, pp.123-131.

KEREN R., 2000. Salinité. Sumner M.E. Ed. Livre de science du sol. Pp 3-25.

KHALES A et BAAZIZ M., 2006. Etude des peroxydases d'écotypes d'*Opuntia Ficus indica* L en relation avec le développement dans les conditions de stress Salin. Congrès international de Biochimie, Agadir: pp. 133-136.

LEVITT., 1980 in HAOUA et al., 2007. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur : <http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>

LEVY G.J., 2000. Sodicity. Sumner M.E. Ed. Handbook of Soil Science. pp 27-62.

MAHROUZ FATIMA., 2013. Effet du stress salin sur la croissance et la composition chimique de l'*Atriplex canescens*. Thèse Ing, Ouargla, 46p.

MAILLARD J., 2001. Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.

MAJDOUB R., HACHICHA M., EL AMRI A., MELKI M., 2012. Etude de la dynamique de l'Eau et du Transfert des Sels dans un Sol Sablo-Limoneux du Sahel Tunisien. European Journal of Scientific Research, Vol.80, n°4, pp. 499-507.

MATHIEU C., et PIELTAIN F., 2003. Analyse chimique des sols, méthodes choisies. Ed. Tec et DOC, Lavoisier, Paris. 387p.

MERMOUD A ., 2006. Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de lausanne, 23 p.

MOKHTARI, D., 2009. Apport de la télédétection dans l'évaluation de la dégradation des états de surface en milieu salin (Le Bas-Chélif). Thèse de Magister, L'U.S.T.H.B d'Alger, Janvier, 2009. 122p

Référence bibliographique

MONTOROI J.P., 1997. Conductivité électrique de la solution du sol et de l'extrait aqueux de sol, application à un sol sulfaté acide salé de Basse-Casamance (Sénégal). *Étude et Gestion des sols*, Vol. n°4, pp. 279-298.

MUNNS R et RAWSON H.M., 1999. Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* pp459-464.

NAVARRO-PEDRENO J., JORDAN M. M., MELENDEZ-PASTOR I., GOMEZ I., JUAN P, and MATEU J., 2007. Estimation of soil salinity in semi-arid land using a geostatistical model. *Land Degradation & Development*, 18: 339–353.

OUSTANI M., 2006. Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions Sahariennes (Cas de Ouargla) .Thèse Magister. Université .Ouargla. 187p.

RICHARDS L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agri. and book- 60.

SAIDI D., LE BISSONNAIS Y., DUVAL O., DAOUD Y., HALITIM A., 2004. Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie). *Étude et Gestion des Sols*, Vol. 11, pp 81 -92.

SALIM M., TESSIER D., 1998. Evolution des propriétés physiques et physico-chimiques de sols salés de la basse vallée de l'Euphrate (syrie). *Etudes et gestion des sols*, n°3, pp. 277-288.

SCHULZE E.D et al., 2005. *Plant ecology*. Edition Springer Berlin, Heidelberg, p692.

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

SERVANT J. M., 1976. Sur quelques aspects de la pédogénèse en milieu halomorphe : l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne française. *Annales de l'Institut National Agronomique*, Vol. 6, n°1, pp. 225-245.

Référence bibliographique

SIGALA et al., 1988. Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural (Options Méditerranéennes).

SLAMA F., 2004. La salinité et la production végétale. Ed. Centre de publication universitaire. Tunis : 163p.

TOUAF L., 2002. Evaluation du niveau de salinité des sols du Nord de l'Algérie. Mémoire de magister, INA, Alger, 71 p.

U.S. SALINITY LABORATORIE Staffe, 1954. Diagnostic and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Hardbook, n° 60, 160 p.