

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTER DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAD DAHLAB BLIDA

FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

Projet de fin d'études vue de l'obtention du diplôme de Master 2 Académique

En science de la nature et de la vie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Relation entre la conductivité électrique de l'extrait de pate saturée et la conductivité électrique des différents extraits dilués (1/1, 1/2,5, 1/5, 1/10) des sols du BAS-CHELLIF « stations de H'MADNA ».

Présenté par : TAMAZOUZT Radia

jury :

President de jury: Mr. REZIG A.

Promoteur : Mr. DJILI K.

Examineur : Mr.HAMMOUCHE B.

Promotion : 2012-2013

REMERCIEMENT

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu tout-puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

Je tiens aussi à remercier mon encadreur Mr. DJILIK, ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury Mr.REZIGUE et Mr.HAMOUCHE pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes recherches en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je tiens à remercier tout le personnel du département de sciences Agrovétérinaires de l'université de Blida, en particulier Mr.SNOUSSI, Mr.HARONE, Mr.DJAZOULI ET Madame BERRIMA. Mes remerciements les plus vifs vont également à Mr.SEMMAR, Mr.DAOUD ET Mr.OULD FERROUKHE ainsi à l'ensemble du corps des enseignants et du personnel du département des sciences du sol de l'ENSA.

Je remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce travail aux personnes les plus importantes dans ma vie :

La mémoire de mes grands pères

Mes très chers : ma mère et mon père qui m'ont fait apprendre le sens de la patience, de l'honnêteté et qui ne cessent pas à me donner et redonner de la volonté pour arriver à ce jour, merci infiniment, que dieu vous gardes.

Mon petit frère Abd Elrrahmane, mes très chères sœurs : la sage

HANANE, la charmante IMANE et l'adorable SANAA.

A la personne qui me donne et me redonne toujours du courage pour continuer mon parcours CHAKIB

A mes amis, Fatiha, Med Amine, Meriem, Wassila, Narimane, Yacine, Nabila, Ismahane.

A mes collègues : Fatouma, Hssiba, Redoine , Ahmed.

A toute la promotion pédologie ENSA 2013.

A toutes personnes que j'aime et qui m'aiment

Liste d'abréviations

CE 1/1 : la conductivité électrolytique de l'extrait dilué 1/1

CE 1/2,5 : la conductivité électrolytique de l'extrait dilué 1/2,5

CE 1/5 : la conductivité électrolytique de l'extrait dilué 1/5

CE 1/10 : la conductivité électrolytique de l'extrait dilué 1/10

CEps : la conductivité électrolytique de l'extrait de la pâte saturée

CEps totale : la conductivité électrolytique de l'extrait de la pâte saturée des valeurs faible et des valeurs fortes

CEps faible : la conductivité électrolytique de l'extrait de la pâte saturée des faibles valeurs

CEps forte : la conductivité électrolytique de l'extrait de la pâte saturée des fortes valeurs

MOY : moyenne

MAX : maximum

MIN : minimum

Med : médiane

r : coefficient de corrélation

p : seuil de signification statistique

R : rapport CE X /CE Y

Liste des figures

Figure 1 : Dispositif expérimental de mesure de la résistivité électrique de type Wenner (Corwin et Lesch, 2005).....	11
Figure 2 : Carte de situation de la zone d'étude.....	15
Figure 3 : La carte de situation des profils.....	15
Figure 4. Relations entre les CE des extraits dilués prises deux à deux.....	18
Figure 5 : Relations entre la CEps et la CE1/1.....	22
Figure 6 : Relation CEps et CE1/2,5.....	24
Figure 7 : Relation CEps et CE1/5.....	26
Figure 8 : Relation CEps et CE1/10.....	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Solubilités des principaux sels solubles.....	4
Tableau 2. Caractéristiques des sols salins et alcalin	6
Tableau 3. Classes de tolérance des cultures à la salinité.....	8
Tableau 4. Les effets de la salinité sur la croissance des plantes.....	9
Tableau 5. Paramètres statistiques de la CE des différentes dilutions	16
Tableau 6 : Rapports entre les CE des différentes dilutions.....	17
Tableau 7. Paramètres statistiques des six couples de dilution.....	17
Tableau 8. Caractéristiques statistiques des différentes CEps.. ..	19
Tableau 9. Paramètres statistiques entre la CEps et la CE1/1.....	20
Tableau 10. Paramètres statistiques entre la CEps et la CE1/2,5.....	23
Tableau 11. Paramètres statistiques entre la CEps et la CE1/5.....	25
Tableau 12. Paramètres statistiques entre la CEps et la CE1/10.....	27
Tableau 13. Paramètres statistiques entre la CEps et CE (1/1, 1/2,5, 1/5, 1/10)...	30
Tableau 14. Rapports moyens entre la CEps et CE (1/1, 1/2,5, 1/5, 1/10)	30
Tableau 15. Rapports moyens entre les CEps (totale, forte et faible) et CE (1/1, 1/2,5, 1/5, 1/10).....	31
Tableau 16. Les classes de la salinité des sols du Bas-Chellif sur la base de la CE des extraits dilués.....	31

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
--------------------	---

CHAPITRE I : LA SALINITE ET LA SALINISATION DES SOLS

1. Définitions.....	3
2. Les origines des sels solubles	3
2.1. La salinisation primaire.....	4
2.2. La salinisation secondaire.....	4
3. Le processus de salinisation des sols.....	5
4. Les caractéristiques et les propriétés des sols salés.....	5
4.1. Définition d'un sol salé	5
4.2. Les caractéristiques des sols salés	6
4.3. Les propriétés des sols salés.....	7
5. Influence de la salinité sur le comportement des végétaux	7
6. Répartition géographique des sols salés.....	10
7. Les méthodes de mesures de la salinité.....	10
7.1. Les observations visuelles des récoltes.....	11
7.2. La mesure de la conductivité électrique au laboratoire.....	11
7.3. La méthode électrique.....	11
7.4. La mesure par réflectométrie (TDR)	12
7.5. La méthode électromagnétique.....	12
Conclusion.....	12

CHAPITRE II MATERIEL ET METHODES

Méthodes d'études.....	13
------------------------	----

CHAPITRE III RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. CE des différentes dilutions	16
1.1. Description statistique des CE des extraits dilués.....	16
1.2. Relations entre la CE des différentes dilutions.....	17
2. CE de l'extrait de la pate saturée (CEps)	19
2.1. Description statistiques de la CEps	19

2.2.	Relations entre la CEps et les CE des extraits dilués.....	20
2.2.1.	Relations entre la CEps et la CE1/1.....	20
2.2.2.	Relations entre la CEps et la CE1/2,5.....	23
2.2.3.	Relations entre la CEps et la CE1/5.....	25
2.2.4.	Relations entre la CEps et la CE1/10.....	27
3.	Synthèse et discussion.....	29
3.1.	CE des extraits dilués	29
3.2.	CE des extraits de pate saturée	29

CONCLUSION

Conclusion.....	32
-----------------	----

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques.....	33
----------------------------------	----

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La salinité constitue l'un des problèmes majeurs des sols agricoles d'une façon générale et des sols irrigués en particulier (U.S.S.L, 1954). Actuellement, on estime que la surface des sols salés occupe 6,5 % des terres du globe, soit 9 millions de km² ; ces sols salés présentent des propriétés défavorables à la croissance des végétaux cultivés (Maillard, 2001).

Selon Servant (1975), la salinité affecte davantage les sols des zones arides et semi-arides. Dans ces régions, la salinité porte sur 39% des terres dans les zones arides. La salinité occupe également de grandes étendues dans les diverses zones climatiques du globe (Cheverry et Robert, 1998).

Dans ce sens, Bot et al ., (2000) estiment à près de 400 millions d'hectares les terres qui sont affectées par la salinisation. Ce phénomène constitue une réelle cause de dégradation des sols et une menace pour la production agricole (Szalbocks, 1989).

La salinité des sols exprime la richesse d'un sol en sels plus solubles que le sulfate de calcium. Elle est mesurée par conductivimétrie électrique sur l'extrait de pâte saturée du sol, et elle est exprimée en dS/m à 25°C. Les sols dont la solution de l'extrait de pâte saturée présente une conductivité électrique (CE) supérieure à 4 dS/m sont considérés comme étant des sols salés (U.S.S.L, 1954). De nombreux travaux ont montré qu'au-delà de ce seuil, les sels solubles et le sodium échangeable qu'ils engendrent dégradent les propriétés des sols et limitent la croissance des végétaux (Daoud, 1993 ; Hamdy, 1995).

La salinisation est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salé.

Le développement de l'agriculture en irriguée entraîne souvent une extension des terres salées liée à la dégradation chimique et physique des sols suite à une mauvaise conduite de l'irrigation (Robert, 1992 ; Cheverry et Robert, 1996).

La variation temporelle de la salinité des sols est souvent rapide, elle peut être saisonnière ou annuelle. Son suivi et son control nécessitent donc des mesures périodiques (Cheverry, 1995).

La méthode référence pour mesurer la salinité des sols est celle de l'extrait de pâte saturée (U.S.S.L 1954). Cette méthode de mesure de la conductivité électrique des sols salés est une analyse très lourde qui nécessite beaucoup de temps et d'énergie. Dès lors que les superficies deviennent grandes, cette méthode devient très contraignante et lourde à supporter par les laboratoires. Pour contourner cette contrainte, les chercheurs ont développé des méthodes d'analyse de la salinité qui leur permettent de mesurer un grand nombre d'échantillons de sol dans des délais très

réduits. C'est ainsi qu'ils se sont orientés vers des extraits dilués selon différents rapports eau/sol (Hamdy, 1995). De nombreux auteurs ont utilisé les rapports terres/eau 1/1, 1/2,5, 1/5, 1/10 qui sont plus faciles d'emploi mais qui restent sujets à caution et doivent être étalonnés par l'extrait saturé (Servant, 1975).

En Algérie, les sols des plaines du Cheliff sont diversement affectés par une salinisation secondaire suite à l'utilisation des eaux d'irrigation de mauvaise qualité et à une déficience du réseau de drainage (Daoud, 1993). L'évaluation et le suivi régulier de la salinité de ces sols est une condition nécessaire à leur mise en valeur et réhabilitation (Douaoui, 2005).

L'objectif de ce travail est de mettre en œuvre une approche méthodologique pour évaluer l'état de salinité des sols de la plaine du Bas-Cheliff. Il s'agit de rechercher la meilleure corrélation entre la conductivité électrique de l'extrait dilué et celle de l'extrait de pate saturée qui est la mesure de référence. A cet effet, nous avons testé par rapport à la méthode de référence 4 rapports de dilution terre/eau (1/1, 1/2.5, 1/5, 1/10) parmi les plus cités par la bibliographie (Daoud, 1993).

Le présent document est structuré en 3 chapitres :

- Le premier chapitre porte sur l'état de l'art relatif à l'objet de ce travail.
- Le second chapitre sera consacré à la présentation de la zone d'étude, et à la présentation de la démarche adoptée et des méthodes utilisées.
- Le troisième chapitre présentera les résultats obtenus.

Les principaux résultats seront synthétisés dans une discussion générale.

Dans la conclusion générale, les résultats les plus pertinents seront rappelés et des recommandations seront formulées pour l'évaluation de la salinité des sols du Bas-Chelif.

CHAPITRE I
LA SALINITE ET LA
SALINISATION DES
SOLS

CHAPITRE I

LA SALINITE ET LA SALINISATION DES SOLS

1. Définitions

Les sels solubles sont les sels dont la solubilité à l'eau est supérieure à celle du gypse (U.S.S.L, 1954). La solubilité du gypse dans l'eau pure à 25°C est de l'ordre de 2 g/l.

La salinité désigne un état qui dépend de la concentration de la solution du sol en sels solubles. La salinité est évaluée par la conductivité électrique de la solution du sol obtenue à partir d'un extrait de pâte saturée (CE, dS/m à 25°C (U.S.S.L, 1954).

La salinisation des sols est le processus pédogénétique qui engendre une accumulation des sels solubles dans le sol à un niveau tel que les propriétés du sol en soient affectées (Aubert, 1976).

Les conséquences pédologiques, agronomiques, et environnementales de la salinité sont néfastes, et elles sont comparables à celles de la sécheresse.

2. Les origines des sels solubles

Les sels solubles qui sont généralement dans les sols salés sont présentés dans le tableau 1 (Durant, 1983). En général, les chlorures sont plus solubles et plus mobiles dans les sols que les sulfates.

Les sels solubles (sodiques, potassiques, magnésiens, ou calciques) ont des origines très variées, ils sont libérés progressivement surtout par les matériaux sédimentaires lors de la circulation des eaux. Ils s'accumulent aussi au cours de la sédimentation marine (Gaucher et Burdin ,1974).

Il est actuellement reconnu, selon l'origine des sels solubles, deux types de salinisation, la salinisation primaire et la salinisation secondaire.

Tableau 1. Solubilités des principaux sels solubles (Durant, 1983)

<i>sels</i>	<i>formule</i>	<i>Solubilité en g/100 g de solution</i>
Chlorure de sodium	NaCl	35,5
Carbonate de sodium	Na ₂ CO ₃	13,0
Bicarbonate de sodium	NaHCO ₃	8,0
Sulfate de sodium	Na ₂ SO ₄	13,0
Chlorure de calcium	CaCl ₂	400,0
Chlorure de magnésium	MgCl ₂ .6H ₂ O	130,0
Sulfate de magnésium	MgSO ₄ .2H ₂ O	41,5
Carbonate de potassium	K ₂ CO ₃ .2H ₂ O	112,0
Chlorure de potassium	KCl	32,0
Sulfate de potassium	K ₂ SO ₄	10,0

2.1. La salinisation primaire

Elle se produit lors de la pédogénèse, il s'agit donc d'un caractère pédogénétique. Elle résulte de l'altération de la roche mère qui est susceptible de libérer des sels solubles. Ces sels ont plusieurs origines (Aubert, 1976):

- L'altération des roches contenant des minéraux sodiques donne des sels souvent solubles.
- L'origine océanique par l'intermédiaire de l'atmosphère qui peut véhiculer des sels dissous dans l'eau de pluies.
- Les manifestations volcaniques ou interviennent des composés de chlorure et de soufre.

2.2. La salinisation secondaire

La salinisation secondaire se produit sous l'influence des apports d'eau salée par irrigation ou par remontée des nappes. Elle résulte d'une mauvaise gestion d'un bilan d'eau et des sels à l'échelle de la parcelle (Cheverry et Robert, 1998).

3. Le processus de salinisation des sols

La qualité de la solution d'un sol dépend de sa concentration et de sa composition en éléments solubles.

Dans les zones arides et semi-arides, le phénomène de lixiviation des sels solubles par les précipitations est limité, ce qui favorise une remonté capillaire et une concentration de la solution du sol sous l'effet de l'évaporation. Cette concentration de la solution du sol provoque la salinisation. Les remontées capillaires sont conditionnées par la texture et la structure du sol.

Le déplacement des sels dans le sol est conditionné par la présence de l'eau, les sels les plus mobiles sont les sels les plus solubles. Leur mouvement se fait verticalement et parfois obliquement. Selon (Durant ; 1983) les sels sont mobilisés par trois processus :

-*Lixiviation* : L'eau s'infiltré dans le sol, elle dissout les sels selon leur ordre de solubilité et les entraîne en profondeur ; pendant son mouvement, la solution se concentre sous l'influence de l'évaporation et de l'absorption de l'eau par les végétaux.

-*Capillarité* : La remonté capillaire des sels solubles à longtemp a été évoquée pour expliquer la salure de certains sols.

-*Thermodialyse* : Il a été constaté que les sels ont tendance à migrer vers la partie du sol la plus chaude dans le cas des sols salés.

4. Les caractéristiques et les propriétés des halomorphes

4.1. Définition d'un sol salé

Les sols salés ou sols halomorphes sont caractérisés par leurs teneur élevée en sels solubles exprimée par la conductivité électrique, la conductivité électrique doit être supérieure à 4 dS/m, dans une partie du profil, ou par la dégradation de la structure par l'ion sodium (Aubert,1976).

Par ailleurs, la salinité d'un sol s'apprécié plus par le comportement des plantes, de sorte que cette limite peut être très différente selon la sensibilité des espèces végétales (Calvet, 2003).

4.2. Les caractéristiques des sols salés

D'après Daoud (1993), les sols salés posent encore des problèmes de classification, la majorité des systèmes de classification recommandent une subdivision des sols salés en trois catégories (U.S.S.L, 1954):

- Sols salins (saline soil, Solontchak)
- Sols salins et alcalins (saline -alkalin soils, Solonchak-Solentez).
- Sols à alcalins (non saline-alkali soils, Solonetz).

Les principales caractéristiques des sols salés sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques des sols salins et alcalins (Maillard, 2001)

<i>caractéristiques</i>	<i>Sols salins</i>	<i>Sols alcalins</i>
chimiques	<ul style="list-style-type: none"> -Dominé par des sels solubles neutres chlorure et sulfates de sodium, calcium et magnésium. -pH inférieur à 8,2. - supérieure de 4 dS /m à 25°C. -Pas de relation bien définie entre le pH et l'ESP. -Présence de gypse. 	<ul style="list-style-type: none"> -Peu de sels solubles neutres mais généralement des quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline telle que les carbonates de sodium (Na₂CO₃) - pH supérieur à 8,2. -Le pourcentage de sodium échangeable de 15% est la limite admise au -delà de laquelle le sol est qualifié d'alcalin. - CE inférieure à 4 dS /m mais peut être plus importante en cas ou des quantités de Na₂CO₃ seraient présentes. -Bonne relation entre le pH du sol et l'ESP. -Absence de gypse.
Physiques	<ul style="list-style-type: none"> -Présence excessives de sels solubles neutres, la fraction argileuse est floculée et le sol est stable -La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols « normaux ». 	<ul style="list-style-type: none"> -Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol -la perméabilité à l'eau et à l'air est restreinte. -Les propriétés physiques de ces sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du sodium échangeable.
Effet sur la croissance des plantes	<ul style="list-style-type: none"> -La croissance des plantes est affectée par l'action des sels solubles sur la pression osmotique de la solution du sol résultant on une diminution de disponibilité en eau. -Toxicité des ions tel que les ions Na, Cl 	<ul style="list-style-type: none"> -La croissance des plantes est affectée par l'action de dispersion du sodium échangeable dégradant les propriétés physiques du sol -A travers le pH élevé du sol causant des déséquilibres nutritionnels incluant notamment une déficience en calcium -A travers la toxicité d'ions tels que les ions Na, CO₃,
Amélioration du sol	<ul style="list-style-type: none"> Se fait par lessivage de sels solubles dans la zone racinaire du sol, l'application d'amendements n'est généralement pas nécessaire. 	<ul style="list-style-type: none"> L'amélioration des sols alcalins se fait essentiellement par remplacement du sodium sur le complexe échangeable du sol par le calcium à travers des amendements, le lessivage et le drainage des sels après réactions avec l'amendement et le sodium échangeable.
Distribution géographique	<ul style="list-style-type: none"> Les sols salins dominent dans les régions arides à semi-arides. 	<ul style="list-style-type: none"> Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi-arides et sub -humides.

4.3. Les propriétés des sols salés

La structure des sols salés est généralement faiblement à moyennement développée. Selon Aubert (1976), la structure de l'horizon superficiel des sols très salés à alcalin est finement poudreuse en saison sèche et devenant fluide en saison de pluies. La structure diffuse des sols alcalins est due à l'enrichissement de leur complexe argilo-humique en sodium et, parfois, en magnésium.

L'instabilité structurale des sols sodiques est fortement liée à la présence de sodium échangeable qui provoque, à partir d'un certain taux, une dégradation de la structure. Le seuil de l'instabilité structurel du sol est atteint pour une sodicité supérieure à 25% en sol calcaire et de 8% en sol non calcaire.

Les sols sodiques se caractérisent par la fermeture des pores de la surface, L'augmentation du taux de sodium échangeable (ESP) provoque une fragmentation des agrégats par éclatement suivis de la dispersion physico-chimique des particules argileuses, le colmatage des pores par les fines entraîne par conséquent une faible perméabilité (Saidi, 2010).

La réserve en eau des horizons des sols salés est faible, et la concentration en sels de la solution est tellement forte que les plantes ne peuvent certainement pas bénéficier de cette eau puisqu'elle a un potentiel osmotique très élevé (Salim et Tessier, 1998).

Sur le plan chimique, la teneur du sol en azote assimilable diminue avec la concentration de la solution du sol en Na et Cl. Cette diminution serait provoquée par des pertes d'azote sous forme gazeuse et par des besoins importantes des plantes en milieu salin. L'apport d'engrais azoté sous forme ammoniacale, nitrique ou organique dans les sols salés entraîne une dénitrification biologique importante, et les apports phosphatés sont susceptible d'augmenter le rendement dans la plupart des cas (Ghampagnol, 1979).

5. Influence de la salinité sur le comportement des végétaux

La présence des sels solubles en quantités importantes dans la solution du sol rend difficile l'utilisation des sols salés pour la production agricole. La concentration des sels dissous diminue la capacité des racines à absorber à la fois l'eau et les éléments nutritifs. En effet, les sels solubles, par le biais du potentiel osmotique, provoque une sécheresse physiologique, le végétal dépérit. L'eau s'échappe à travers les membranes semis-perméables des cellules végétales pour diluer l'eau salée du milieu. Par ailleurs, par l'intermédiaire du phénomène d'osmose, les ions salins pénètrent dans les cellules où ils perturbent le fonctionnement des protéines et des membranes et provoquent des effets toxiques sur le fonctionnement physiologique du végétal.

La tolérance des plantes à la salinité s'exprime par leur capacité d'absorber une grande quantité d'ions et d'éviter l'assimilation des ions toxiques (Chhipa et *al.*, 1992). Il est donc important de connaître les limites critiques concernant la tolérance des plantes à la salinité (FAO, 1988). Cette tolérance est très variable selon les espèces végétales (tableau 3). En général la salinité retarde et même réduit la germination. Cette réduction est due à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol ; par conséquent, le taux d'absorption de l'eau diminue et la graine se dessèche (Gupta, 1979).

Tableau 3. Classes de tolérance des cultures à la salinité (FAO, 1988)

<i>Classes de tolérance relative à la salinité</i>	<i>Salinité limite du sol (CE sans perte de rendement)</i>
Sensible	<1,3 dS/m
Moyennement sensible	1,3 – 3 dS/m
Moyennement tolérante	3,0 -6,0 dS/m
Tolérante	6,0- 10 dS/m
inapte à la plus part des cultures (sauf si on accepte une baisse de rendement)	>10 dS /m

L'effet de la salinité sur la croissance des plantes dépend du degré de la salinité des sols (tableau 4).

Tableau 4. Les effets de la salinité sur la croissance des plantes (Hamdy et al ;1995)

<i>Classes de salinité</i>	<i>CE du sol (dS/m)</i>	<i>Effet sur la croissance des plantes</i>
Non salin	0-2	Effet de la salinité négligeable
Légèrement salin	2-4	La production de certaines plantes sensibles peut être affectée (tomate, haricot).
Modérément salins	4-8	La production de la plupart des plantes est restreinte.
Fortement salins	8-16	Seules les plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante (asperge).
Très fortement salins	>16	Seul un très petit nombre de plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante.

Lorsque le niveau du sel dans le sol dépasse la limite critique pour les plantes, les rendements diminuent (Hamdy et al. 1995). Le stade germination est particulièrement sensible à la salinité.

La première difficulté d'une plante en milieu salin est donc d'assurer son apport en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique du sol. Ce phénomène, nommé l'épictèse permet donc à la plante d'assurer une hypertonie constante. La pression osmotique interne de la plante doit être supérieure à celle de la solution du sol pour qu'il ait passage de l'eau du milieu le moins concentré vers le plus concentré.

Les plantes halophytes présentent ainsi un haut pouvoir d'épictèse, renforcé par l'absorption de sel et sa conduite vers les feuilles. Les ions sodium et chlore sont stockés dans la vacuole, et permettent ainsi l'établissement d'une pression osmotique interne importante. Cependant, les halophytes sont contraints de stocker ce sel dans leurs vacuole pour éviter toute intoxication. En retour, l'augmentation de la pression osmotique vacuolaire risque d'entraîner une succion importante sur le cytosol, dont la déshydratation nuit au fonctionnement du métabolisme en désorganisant la structure tertiaire des protéines, leur faisant ainsi perdre leur activité. Les halophytes (mais aussi occasionnellement des glycophytes) sont capables de lutter contre ce phénomène en produisant des composés dits osmoprotecteurs (ou solutés compatibles). Ces composés, par leur concentration, assurent l'ajustement osmotique entre le cytosol et la vacuole (Zouaoui,2013)

6. Répartition géographique des sols salés

Les sols affectés par la salinité se rencontrent dans le monde entier (Durand, 1983) ; on estime à 6,5 % les terres du globe affectées par la salinité, soit 9 millions de km². La salinité nuit à la croissance des plantes en diminua leur potentiel productif.

Le phénomène de la salinisation touche d'abord les zones arides, mais on peut l'observer dans tous les continents, et toutes les ceintures climatiques du globe (Cheverry et Robert 1998).

En Algérie, les sols salés sont très répandus, notamment dans la zone aride, ils représentent 25% environ de la surface cartographiée (Halitim, 1988). En effet, les travaux effectués par différents auteurs montrent que la majorité des sols agricoles en Algérie est affectée par les sels solubles, et que sur les 6.488.896 ha cartographiés Algérie 1.096.731 ha environ sont constitués par des sols salés.

Dans le périmètre du H'madna situé dans la plaine du Ba-cheliff, les sols sont réputés pour leur salinité, plus de 60% des terres sont affectées par la salinisation. Le processus de salinisation progresse en superficie et en taux de salinité et il a atteint des seuils critiques (Douaoui, 2005).

7. Les méthodes de mesures de la salinité

La conductivité électrique d'une solution de sol est un indice de sa teneur en sels solubles. Elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables. Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique en ohm Ω) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions porteurs de charges électriques augmentent (Mathieu et Pieltain, 2003). En science du sol, la CE est exprimée en mmhos/cm ou en dS / m à une température de 25°C, la mesure de la CE se fait généralement sur l'extrait de pâte saturée.

La mesure de la conductivité électrique permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sels dissous. Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la teneur en sels solubles des sols. La salinité des sols peut être estimée par 5 méthodes différents (Corwin et Lesch, 2003 ; Corwin et Lesch, 2005) :

- Les observations visuelles des récoltes
- La mesure de la conductivité électrique sur extrait de pâte saturée ou extrait dilué
- La mesure in situ de la résistivité électrique en utilisant le dispositif de Wenner
- La mesure électromagnétique
- La mesure par la réflectométrie

7.1. Les observations visuelles des récoltes

Cette méthode est très rapide et surtout économique. Elle reste qualitative et la salinité n'est détectée qu'après une perte de la récolte.

7.2. La mesure de la conductivité électrique au laboratoire

L'extrait de pâte saturée ou l'extrait dilué est préparé au laboratoire, la salinité est mesurée par un conductivimètre électrique. L'estimation de la CE sur un extrait de pâte saturée est considérée comme une référence pour la caractérisation des sols salés. Elle est destructive et lourde à réaliser surtout quand il s'agit d'analyser une grande quantité d'échantillons (Mahdi, 2008)

7.3. La méthode électrique

Le principe des mesures électriques in situ consiste à envoyer un courant électrique dans le sol avec deux électrodes de surface et à mesurer au moyen de deux autres électrodes la différence de potentiel (figure 1). On obtient ainsi la résistance d'un certain volume de sol.

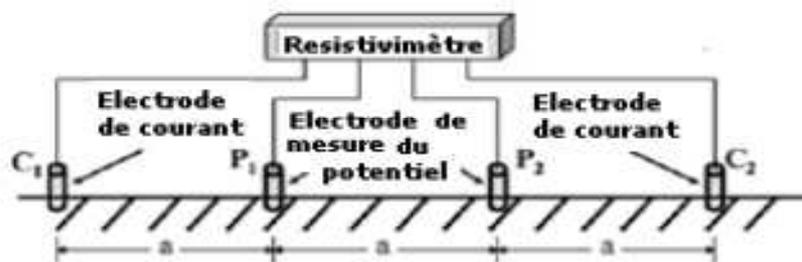


Figure 1 : Dispositif expérimental de mesure de la résistivité électrique de type Wenner (Corwin et Lesch, 2005)

Il s'agit d'une méthode dont on doit l'extension à l'équipe de chercheurs de l'université de Riverside (USA) sous la direction de Rhoades. En 1971, Rhoades et Ingvalson l'ont adaptée à l'étude des sols halomorphes en utilisant un dispositif miniaturisé de Wenner (El Oumri et Vieillefon, 1983).

7.4. La mesure par réflectométrie (TDR)

La réflectométrie est capable de détecter les petits changements de la salinité sous différentes conditions de sols de manière continue sans avoir recours à des calibrations. Elle est non destructive et il existe de faibles interférences avec les processus du sol (Mahdi, 2008)

7.5. La méthode électromagnétique

La conductivité électromagnétique mesure une conductivité apparente globale du sol Jusqu'à une profondeur voisine de 2 m. Elle se fait en soumettant le sol à un champ magnétique de haute fréquence. Ce champ induit des courants qui sont d'autant plus intenses que le sol est conducteur (Boivin et al, 1988). Cette méthode se base sur l'utilisation de conductivimètre électromagnétique.

Conclusion

Les sols salés présentent des propriétés défavorables pour la croissance des végétaux. Ils occupent de grandes étendues en Algérie. Les sols des plaines du Cheliff sont généralement affectés par la salinité.

La salinité des sols est un paramètre qui évolue rapidement dans le temps. Pour évaluer l'état de salinité des sols, il est donc nécessaire de procéder à des mesures périodiques.

CHAPITRE II
MATERIEL ET
METHODES

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

Les sols étudiés se situent dans la plaine du Bas Chélif, plus précisément dans la station de recherche de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de H'madna à Relizane (figure 2). Cette station est située à 3 km environ au nord du village de H'madna. Elle est délimitée par la latitude N : 35° 55'23'' et 35°56'44'' et par la longitude E : 0°44'06'' et 0°45'58''. Son altitude moyenne est de 44 m et sa superficie générale est de 252 ha.

Cette zone se caractérise par un climat méditerranéen très rude et très contrasté. Les précipitations annuelles moyennes sont assez faibles, elles sont de l'ordre de 250 mm/an. Les moyennes des températures de l'été sont très élevées (38°C) et celles de l'hiver sont plutôt basses (6,4°C) (Abdelhafid, 2010) .

Les sols du Bas Chélif, surtout ceux qui se situent dans les parties basses et dans les dépressions sont généralement affectés par les sels solubles, en particulier par les chlorures et le sodium (Douaoui, 2006). Ainsi, plus de 65 % des sols du Bas Chelif sont fortement salés et se sont dotés d'une conductivité électrique supérieure à 8 dS/m (Douaoui; 2005). Les sols de la station de l'INRA, objet de cette étude, sont dominés par divers Solonchaks caractérisés par une forte salinité dans l'ensemble du profil (CE \approx 73,5 dS/m) et par une texture très argileuse (Argile \approx 33 %) du solum supérieur (Hadj Miloud, 2010).

Dans cette région, l'irrigation est assurée par les eaux du barrage Gargar. L'insuffisance des eaux a contraint les agriculteurs à utiliser les eaux des nappes superficielles et profondes qui sont généralement de mauvaise qualité.

Au niveau de la station de l'INRA, le drainage est assuré par des drains à ciel ouvert installés à l'époque colonial et par des drains souterrains installés en 2001 (Bellague, 2001). Cependant, du fait que les drains seraient mal ou insuffisamment entretenus, l'ensemble du réseau de drainage serait actuellement défectueux.

Méthode d'étude

Cette étude a comme principal objectif la recherche de la meilleure corrélation possible entre la CE de l'extrait de pate saturée qui est la méthode de référence et la CE de différentes dilutions eau/sol couramment utilisées (1/1, 1/2.5, 1/5 ,1/10).

Pour ce faire, nous avons réalisé un échantillonnage systématique des sols de la station de l'INRA pour pouvoir tenir compte de toutes les gammes de salinité des sols

étudiés. Cette démarche nous a permis de localiser 34 sites répartis d'une façon homogène dans la station (figure 3).

Au niveau de chaque site, nous avons prélevé à la tarière cinq échantillons dans différentes couches du sols correspondant aux profondeurs suivantes 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm, 90-120 cm et 120-150 cm soit chaque 30 cm jusqu'à une profondeur de 150 cm. Au total, nous avons collecté 170 échantillons pour les besoins de cette étude.

Les échantillons ont été séchés à l'air libre, ensuite broyés et tamisés à 2 mm. Par la suite, nous avons déterminé le pH et la CE sur l'extrait de pate saturée et sur les extraits dilués (1/1,1/2.5 ,1/5,1/10) de tous les échantillons à l'aide du pH mètre de type 3310 JENWAY et du conductivimètre de type DDSJ-308A.

Les résultats des analyses ont subi un traitement statistique par le logiciel ORIGIN et le tableau Excel. Les principaux traitements statistiques ont consisté à déterminer les paramètres des tendances centrales et de dispersion, ainsi que la détermination des coefficients de corrélations linéaire ente les coefficients couples de données.

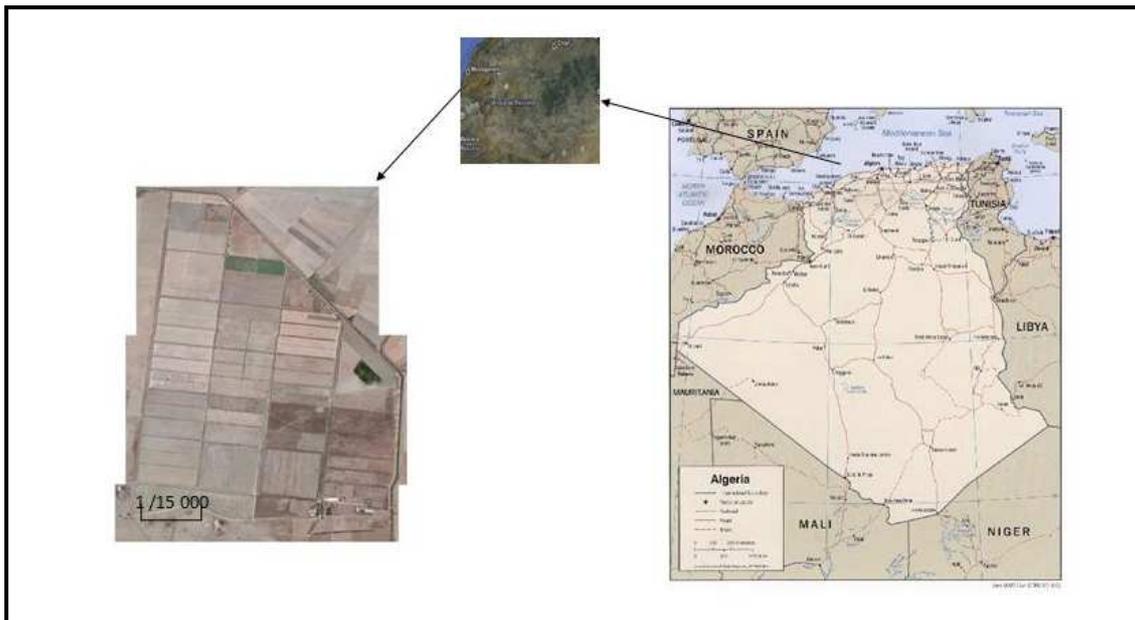


Figure 2 : Carte de situation de la zone d'étude



Figure 3 : La carte de situation des profils

CHAPITRE III
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

Chapitre III

Résultats et discussions

Dans cette partie du travail, nous envisageons de présenter d'abord les résultats de la CE des différentes dilutions, ensuite ceux de la CE de l'extrait de pate saturée et nous terminons par une discussion générale des résultats.

1. CE des différentes dilutions

Nous rappelons que nous avons mesuré la CE de quatre extraits dilués (rapports sol/eau 1/1, 1/2,5, 1/5 et 1/10) de 170 échantillons de sol provenant de la station expérimentale de l'INRA située à Hmadna (Relizane). Dans ce qui suit, nous présentons d'abord la description statistique des résultats de la CE et, ensuite, les différentes relations entre les CE des différents extraits dilués.

1.1. Description statistique des CE des extraits dilués

Les résultats des statistiques descriptives de la CE des différentes dilutions sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5. Paramètres statistiques de la CE des différentes dilutions

données CE dS/m	Nombre	MIN	MOY	MAX	MED	ECART TYPE	CV %
CE 1/1	170	0,37	8,23	22,1	6,82	5,13	62
CE 1/2,5	170	0,17	3,42	10,82	3,10	2,18	63
CE 1/5	170	0,14	2,12	8,44	1,91	1,38	65
CE 1/10	170	0,10	1,28	8,04	1,1	0,93	72

Le tableau 5 révèle que, quelle que soit la dilution considérée, le coefficient de variation (CV) est toujours très fort ($CV > 60\%$). Ce résultat signifie que la salinité des sols varie fortement dans l'espace et dans le profil dans un contexte pédologique homogène relativement réduit. Ce résultat est bien traduit par les forts écarts entre les CE minimales ($0,1 \text{ dS/m} < CE < 0,3 \text{ dS/m}$) et les CE maximales ($8,04 \text{ dS/m} < CE < 22,1 \text{ dS/m}$).

Le tableau 5 montre aussi que les valeurs de la CE sont fortement liées aux dilutions considérées, la plus faible CE représentant la plus forte dilution. Ce résultat est valable aussi bien pour les CE minimales que pour les CE moyennes et Maximales. Ceci est en somme logique du fait que la CE dépend de la concentration des électrolytes de la solution du sol.

Cependant, calculés pour les CE moyennes, les rapports R entre les différentes dilutions (tableau 6) révèlent trois faits notables :

- Quel que soit le rapport de dilution considérée, R n'est jamais égal au rapport de dilution. Par exemple, pour des rapports de dilutions de 5 et de 10, R est égale respectivement à 3,9 et à 6,4.
- R peut être différent pour un même rapport de dilution. Par exemple, pour une dilution par deux (CE1/2,5 sur CE1/5 et CE1/5 sur CE1/10), R est st égale à 1,6 et à 1,7.
- Plus le rapport de dilution est grand, plus R est grand mais sans en être proportionnel.

Tableau 6 : Rapports entre les CE des différentes dilutions

CE dS/m	CE1/1 / CE1/2,5	CE1/1 / CE1/5	CE1/1 / CE1/10	CE1/2,5 / CE1/5	CE1/2,5 / CE1/10	CE1/5 / CE1/10
R* des Moyennes	2,4	3,9	6,4	1,6	2,7	1,7

R est obtenu en divisant la CE d'une dilution X par la CE d'une dilution Y.*

Pour mieux valoriser ces résultats, nous établirons dans ce qui suit les différentes relations entre les CE issues des différentes dilutions.

1.2. Relations entre la CE des différentes dilutions

Pour ce faire, nous avons déterminé pour chaque couple de dilution l'équation de sa régression linéaire et son coefficient de corrélation r avec son seuil de signification statistique p (tableau 7). Les graphes des six couples de données sont représentés par la figure 4.

Tableau 7. Paramètres statistiques des six couples de dilution

Couples	Equation de la droite de régression linéaire (dS/m)	r	p	signification
CE1/1XCE 1/2 ,5	$CE1/2,5 = 0,44 + 0,36 CE1/1$	0,85	< 0,001	***
CE1/1 X CE 1/5	$CE 1/5 = 0,32 + 0,21 CE1/1$	0,80	< 0,001	***
CE1/1 X CE1/10	$CE 1/10 = 0,21 + 0,12 CE1/1$	0,71	< 0,001	***
CE1/2,5 X CE1/5	$CE1/5 = 0,04 + 0,60 CE 1/2,5$	0,95	< 0,001	***
CE1/2,5 X CE1/10	$CE 1/10 = - 0,02 + 0,38 CE1/2,5$	0,89	< 0,001	***
CE1/5 X CE1/10	$CE 1/10 = - 0,09 + 0,64 CE 1/5$	0,96	< 0,001	***

*** : Relation très hautement significative.

Les statistiques présentées dans le tableau 7 montrent que les relations entre les couples de CE sont toutes positives et très fortes ($0,71 \leq r \leq 0,96$) et statistiquement très hautement significatives ($p < 0,001$). Ce résultat signifie que la relation entre les CE des différentes dilutions est intense, et que l'augmentation de la CE d'une dilution s'accompagne par l'augmentation de la CE de l'autre. Seulement, l'intensité de la relation varie d'un couple de données à un autre. Ce résultat est bien exprimé par les graphes de la figure 4.



En effet, les nuages de points de la figure 4 mettent clairement en évidence ce phénomène et révèlent que le meilleur ajustement concerne le couple des solutions les plus diluées (CE 1/5 x CE 1/10). Ceci est bien traduit par la figure 4 (e) qui montre que le nuage de points est bien effiloché et serré autour de la droite de la régression linéaire. A l’opposé, l’ajustement le moins intense concerne les couples des plus faibles dilutions (CE 1/1 X CE 1/2,5) comme le montre la figure 4 (a). A ce niveau, le nuage de points est particulièrement lâche, surtout au niveau des valeurs les plus fortes.

Au total, la figure 4 révèle un passage progressif de l’intensité de la relation entre les couples de CE quand on passe des faibles dilutions vers les fortes dilutions de la solution du sol.

Ce résultat suggère que l’ajustement linéaire entre la CE de l’extrait de pate saturée et la CE des extraits les moins dilués serait relativement plus lâche que celui réalisé avec les faibles dilutions. Ce point constitue l’objet du sous chapitre suivant.

2. CE de l’extrait de la pate saturée (CEps)

Sur la base des valeurs de la CE 1/1, nous avons sélectionné 30 échantillons, 15 échantillons représentent les plus fortes salinités et 15 échantillons représentent les plus faibles salinités. Dans un premier temps, nous avons réalisé séparément une analyse statistique sur la totalité des 30 échantillons (CEps totale), sur les 15 échantillons les plus salés (CEps forte) et sur les 15 échantillons les moins salés (CEps faible). Par la suite, nous avons recherché les relations entre la CEps et les CE1/1, CE1/2,5, CE1/5 et CE1/10 de chacun de ces trois groupes d’échantillons du sol. L’objectif visé ici est de détecter les éventuelles différences de prédiction de la CEps à partir de la CE de différentes dilutions quand les calculs sont effectués sur des échantillons hétérogènes (les 30 échantillons), sur des échantillons très salés (15 échantillons) ou sur des échantillons les moins salés (15 échantillons).

2.1. Description statistiques de la CEps

Les paramètres de la description statistiques de la CEps totales, faibles et fortes sont représentés par le tableau 8.

Tableau 8. Caractéristiques statistiques des différentes CEps.

données CE dS/m	Nombre	MIN	MOY	MAX	MED	ECART TYPE	CV %
CE ps totale	30	0,93	20,75	63,5	11,43	20,55	99
CE ps faible	15	0,93	2,85	4,36	2,97	0,95	33
CE ps forte	15	18,5	38,65	63,5	34,4	13,71	35

L'analyse du tableau 8 montre que les valeurs des CEps sont extrêmement variables. Elles varient de 0,93 dS/m à 63,5 dS/m. Ce résultat est bien confirmé par le CV qui se rapproche de 100 %. Ce résultat signifie que la salinité des sols de la station INRA varie fortement dans l'espace et dans les profils avec une salinité moyenne très élevée (20 dS/m).

Les valeurs de la 'CEps faible' sont assez basses, elles se situent autour de 2,8 dS/m mais restent néanmoins moyennement variables (CV = 33 %). En revanche, les valeurs de la 'CEps forte' se situent entre 18 dS/m et 63 dS/m et sont donc très fortes. Leur variabilité spatiale est également moyenne (CV = 35 %).

Cette structure des données constitue donc une bonne base pour la suite de cette expérimentation.

2.2. Relations entre la CEps et les CE des extraits dilués

Dans ce qui suit, nous présentons successivement les relations entre les CE des quatre dilutions et les CEps des trois groupes d'échantillons (CEps totale, CEps forte et CEps faible). A ce niveau, nous avons réalisé deux ajustement linéaire, un ajustement linéaire de type $y = ax + b$ représentant la meilleure régression linéaire et un ajustement de type $y = ax$ qui force la droite de la régression linéaire à passer par l'origine des axes.

2.2.1. Relations entre la CEps et la CE1/1

Les équations de la régression linéaire, les coefficients de corrélation r avec leurs seuils de signification statistique p sont illustrés par le tableau 9.

Tableau 9. Paramètres statistiques entre la CEps et la CE1/1

Couples	Equation de la droite de régression linéaire (dS/m)	r	p	Signification
CEps totale x CE1/1	CE ps= - 0,01 + 2,17 CE 1/1	0,92	< 0,001	***
	CE ps = 2,177 CE1/1	0,92	< 0,001	***
CEps forte X CE1/1	CE ps= - 78,25+6,47CE 1/1	0,79	< 0,001	***
	CE ps = 2,17 CE1/1	0,59	< 0,001	***
CEps faible X CE1/1	CE ps= 0,36+2,47CE 1/1	0,78	< 0,001	***
	CE ps = 2,81 CE1/1	0,76	< 0,001	***

r : coef. de corrélation linéaire

p : seuil de signification

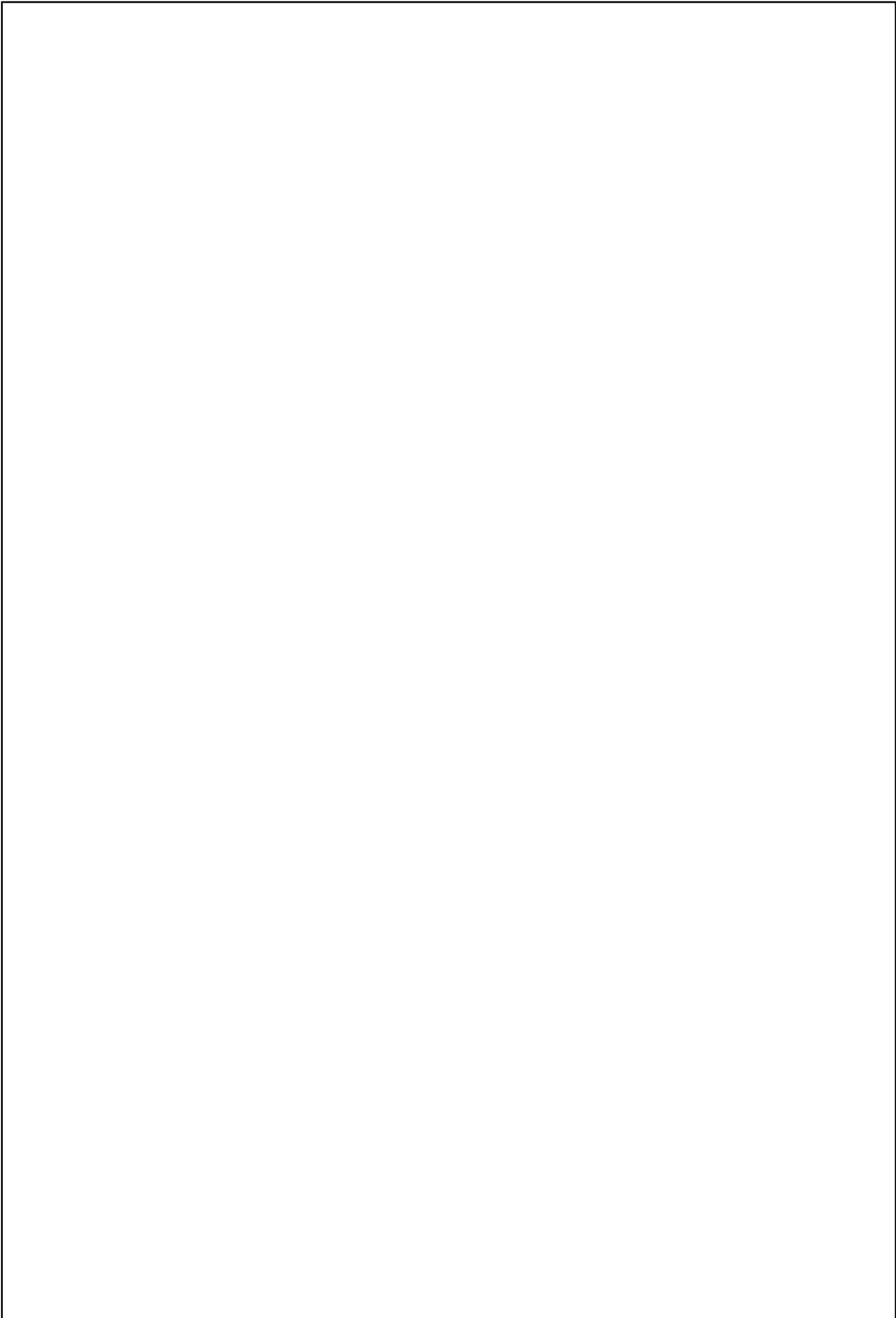
*** : relation statistiquement très hautement significative

L'analyse du tableau 9 montre que toutes les corrélations sont statistiquement très hautement significatives avec des coefficients de corrélation forts ($r > 0,59$; $p < 0,001$). Ce résultat signifie que la prédiction de la CEps à partir de la CE1/1 est acceptable quelle que soit la qualité des échantillons analysés (échantillons de salinité faible, échantillons de salinité forte ou échantillons de salinité hétérogène).

Par ailleurs, le tableau 9 révèle que les équations de régression $y = ax + b$ et $y = ax$ sont, à quelques détails près, analogues pour la CE ps totale et pour la CE ps faible (r et pente des deux équations sont proches les uns des autres). En revanche, des différences sont observées entre les deux types de droite pour la CEps forte (r relativement différents ; pentes très différentes). Ce résultat suggère que la prédiction de la CE ps à partir de la CE 1/1 est relativement moins précise quand les échantillons du sol sont très salés.

Ces résultats sont bien illustrés par les figures 5. En effet, cette figure montre trois faits importants :

- Les nuages de points des échantillons les plus salés sont ceux qui sont les plus dispersés (lâches). Ceci confirme le résultat obtenu précédemment.
- Les deux droites des régressions linéaires $y = ax + b$ et $y = ax$ se chevauchent ou se superposent pour la CEps totale et pour la CEps faible. Ce résultat suppose que la prédiction de la CEps par la CE1/1 est bonne quand les échantillons sont peu salés ou lorsqu'ils sont dotés d'une salinité hétérogène.
- Les deux droites des régressions linéaires $y = ax + b$ et $y = ax$ se recoupent et sont de pentes très différentes. Ce résultat signifie que la prédiction de la CEps par la CE1/1 n'est pas robuste même si elle reste statistiquement très hautement significative.



2.2.2. Relations entre la CEps et la CE1/2,5

Les équations de la régression linéaire, les coefficients de corrélation r avec leurs seuils de signification statistique p sont illustrés par le tableau 10.

Tableau 10. Paramètres statistiques entre la CEps et la CE1/2,5.

Couples	Equation de la droite de régression linéaire (dS/m)	r	p	Signification
CEps totale x CE1/2,5	CE ps= 5,73 CE 1/2,5 +0,7	0,92	< 0,001	***
	CE ps = 5,84 CE 1/2,5	0,92	< 0,001	***
CEps forte X CE1/2,5	CE ps= 4,54 CE 1/2,5+9,12	0,63	< 0,05	*
	CE ps = 5,84CE 1/2,5	0,60	< 0,05	*
CEps faible X CE1/2,5	CE ps= 3,19 CE 1/2,5 +1,26	0,67	< 0,01	**
	CE ps = 5,39 CE 1/2,5	0,45	< 0,05	*

r : coef. de corrélation linéaire

p : seuil de signification

*** : relation très hautement significative ; ** : hautement significative ; * : significative

Le tableau 10 indique que la relation entre la CEps totale et la CE1/2,5 est très forte ($r = 0,92$) et très hautement significative. Par ailleurs, les deux droites de régression linéaire $y = ax + b$ et $y = ax$ sont pratiquement analogues et prédisent le même résultat. Par ailleurs, la prédiction de la CEps par la CE1/2,5 pour les échantillons faiblement salés ou fortement salés est moins bonne même si les statistiques indiquent que la corrélation est significative à hautement significative. Il est à noter pour ces deux derniers cas (salinité faible et salinité forte) que la prédiction des valeurs de la CEps obtenue par l'équation $y = ax$ est légèrement moins précise que celle obtenue par l'équation $y = ax + b$.

Ce résultat est bien traduit par la figure 6. La figure 6 (a) montre que les deux droites de la régression linéaire se superposent parfaitement et passent par l'origine des axes. De ce fait, nous pouvons considérer que cet ajustement permet de bien prédire la CEps à partir de la CE1/2,5.

En revanche, les droites de régressions linéaires $y = ax + b$ et $y = ax$ des figures 6 (b) et 6 (c) s'entrecroisent et laissent supposer que les prédictions sont assez différentes même si les deux droites ont la même tendance.

03

TALE)

TALE)

.125

:

3x

2

ORTE)

ORTE)

1,265

1

x

7

CE ps)

CE ps)

2.2.3. Relations entre la CEps et la CE1/5

Les équations de la régression linéaire, les coefficients de corrélation r avec leurs seuils de signification statistique p sont illustrés par le tableau 11.

Tableau 11. Paramètres statistiques entre la CEps et la CE1/5

Couples	Equation de la droite de régression linéaire (dS/m)	r	p	Signification
CEps totale x CE1/5	CE ps= 1,31 + 9,24 CE 1/5	0,89	< 0,001	***
	CE ps = 9,58 CE 1/5	0,89	< 0,001	***
CEps forte X CE1/5	CE ps= 5,40 CE1/5+ 17,62	0,46	> 0,05	ns
	CE ps = 9,58 CE 1/5	0,27	> 0,05	ns
CEps faible X CE1/5	CE ps= 5,54 CE 1/5+1,10	0,65	< 0,01	**
	CE ps = 8,68 CE 1/5	0,52	< 0,05	*

r : coef. de corrélation linéaire

p : seuil de signification

*** : relation très hautement significative ; ** : hautement significative ; * : significative ; ns : non significative

Le tableau 11 révèle que la relation entre la CEps et la CE1/5 est très forte et très hautement significatives quand la salinité des échantillons est hétérogène (CEps totale). Ce résultat suggère que la prédiction de la CEps à partir de la CE1/5 est précise dans le cas d'une population de salinité hétérogène. La figure 7 (a) traduit bien ce résultat et révèle que les deux droites se superposent.

En revanche, le tableau 11 indique que la relation entre la CEps et la CE1/5 est statistiquement non significative pour les fortes salinités et ce quel que soit l'ajustement linéaire utilisé ($y = ax + b$ et $y = ax$) même si les deux équations ont la même tendance. La figure 7 (b) conforte ce résultat et montre que les deux droites se recoupent en formant des angles assez forts. A ce niveau, la prédiction de la CEps par la CE1/5 reste donc approximative.

En ce qui concerne les faibles valeurs de la salinité, le tableau 11 indique que la relation entre la CEps et la CE1/5 est significative à hautement significative. La figure 7 (c) montre que, même si les deux droite se recoupent, elles ont la même tendance linéaire et la prédiction de la CEps varie très peu entre elles. De ce fait, la prédiction de la CEps par la CE1/5 pour les échantillons faiblement salins est acceptable mais reste moins précise que celle d'une population hétérogène.

,318
2

0x
00

DTALE)
DTALE)

52

FORTE)
FORTE)

1,107
15

'x
'2

:(CE ps)
:(CE ps)

2.2.4. Relations entre la CEps et la CE1/10

Les équations de la régression linéaire, les coefficients de corrélation r avec leurs seuils de signification statistique p sont illustrés par le tableau 12.

Tableau 12. Paramètres statistiques entre la CEps et la CE1/10

Couples	Equation de la droite de régression linéaire (dS/m)	r	p	Signification
CEps totale x CE1/10	CE ps= 0,76 + 15,98 CE 1/10	0,89	< 0,001	***
	CE ps = 16,31 CE 1/10	0,89	< 0,001	***
CEps forte X CE1/10	CE ps= 17,08 + 9,45CE 1/10	0,47	> 0,05	ns
	CE ps = 16,35 CE 1/10	0,30	> 0,05	ns
CEps faible X CE1/10	CE ps= 1,17+7,66CE 1/10	0,58	< 0,05	*
	CE ps = 12,51 CE 1/10	0,43	< 0,05	*

r : coef. de corrélation linéaire

p : seuil de signification

*** : relation statistiquement très hautement significative ; * : significative ; ns : non significative

Le tableau 12 révèle que la relation entre la CEps totale et la CE1/10 est forte et très hautement significative ($r = 0,89$; $p < 0,001$) et ceux pour les deux droites de la régression ($y = ax + b$; $y = ax$). Ce résultat est bien illustré par la figure 8 (a) qui montre bien que les deux droites se superposent parfaitement bien. Ce résultat signifie que la prédiction de la CEps des sols de salinité hétérogène par la CE1/10 est précise.

Cependant, quand les sols sont dans leur majorité très salés (population homogène), la relation entre la CEps et la CE1/10 est statistiquement non significative quel que soit l'ajustement utilisé ($0,30 < r < 0,47$; $p > 0,05$). Ce résultat suggère que la prédiction de la CEps par la CE1/10 est peu précise. La figure 8 (b) traduit bien ce résultat montre que les deux droites se recoupent en formant de grands angles à leur intersection. Ceci signifie que les prédictions de la CEps pour la même valeur de la CE1/10 sont assez différentes selon qu'on utilise l'une ou l'autre équation.

En ce qui concerne les échantillons représentant les faibles valeurs de salinité, la relation entre la CEps et la CE1/5 est statistiquement significative mais peu intense ($0,43 < r < 0,58$; $p < 0,05$). Ce résultat signifie que la prédiction de la CEps par la CE1/10 pour une population homogène de faible salinité est peu précise mais acceptable. La figure 8 (c) indique que l'angle d'intersection des deux droites est très faible et confirme donc ce qui précède.

(LE)
(LE)

9
RTE)
RTE)

1
E ps)
E ps)

A ce niveau, nous discuterons d'abord les résultats relatifs à la CE des extraits dilués des 170 échantillons et, ensuite, nous aborderons ceux des 30 échantillons de la CE de l'extrait de la pate saturée.

3.1. CE des extraits dilués

Les résultats ont montré que quelle que soit la dilution considérée, la salinité des échantillons étudiés est très variables ($CV > 72 \%$). Par ailleurs, certains échantillons sont très faiblement salés ($0,1 \text{ dS/m} < CE < 0,3 \text{ dS/m}$) alors que d'autres le sont très fortement ($8,04 \text{ dS/m} < CE < 22,1 \text{ dS/m}$). Ces valeurs sont fonctions de la dilution considérée. Cependant, les valeurs minimales, maximales et les moyennes de la CE sont fortement liées à la dilution considérée mais ne sont pas proportionnelle aux rapports de dilution.

Les résultats ont montré aussi que toutes les relations entre les différentes dilutions sont très fortes ($r > 0,7$) et très hautement significatives ($p < 0,001$). Ce résultat signifie que la prédiction de la valeur de la CE d'une dilution donnée à partir de la valeur de la CE d'une autre dilution est précise. Seulement, cette précision devient de plus en plus grande au fur et à mesure que l'écart du rapport de dilution des couples étudiés devient plus faible. Par exemple, le r^2 de la figure 4 (c) (dilution x 10) est égal à 0,50 tandis que le r^2 de la figure 4 (e) (dilution x 2) est égale à 0,92. De ce fait, ce résultat signifie que la meilleure prédiction est effectuée entre les échantillons dont les dilutions ne sont pas très éloignées l'une de l'autre.

3.2. CE des extraits de pate saturée

Il est intéressant de noter que la relation entre la CEps et la CE de n'importe quel extrait dilué est très forte et très hautement significative ($0,89 < r < 0,92$; $p < 0,001$) pour une population ayant une salinité hétérogène. A ce niveau les droites de régression ($y = ax + b$ et $y = ax$) se superposent et sont pratiquement dotées de la même pente.

En revanche, pour les populations homogènes (faibles salinités ou fortes salinités), la relation perd de son intensité au fur et mesure que la dilution est plus forte. Ainsi, la relation entre CEps et CE1/1 est très forte et statistiquement très hautement significative. Cette relation devient moins intense entre CEps et CE1/2,5 et relativement faible avec les autres dilutions, surtout en ce qui concerne les salinités fortes.

A partir de ces résultats, il serait donc plus judicieux pour les sols de la station expérimentale de H'madna de prédire la CEps à partir des équations de la régression linéaires relatives aux échantillons pourvus d'une salinité hétérogène. Ces équations sont présentées dans le tableau 13.

Tableau 13. paramètres statistiques entre la CEps et CE (1/1 , 1/2,5 , 1/5, 1/10)

Couples	Equation de la droite de régression linéaire (dS/m)	r	p	Signification
CEps totale x CE1/1	CE ps= - 0,01 + 2,17 CE 1/1	0,92	< 0,001	***
	CE ps = 2,177 CE1/1	0,92	< 0,001	***
CEps totale x CE1/2,5	CE ps= 5,73 CE 1/2,5 +0,7	0,92	< 0,001	***
	CE ps = 5,84 CE 1/2,5	0,92	< 0,001	***
CEps totale x CE1/5	CE ps= 1,31 + 9,24 CE 1/5	0,89	< 0,001	***
	CE ps = 9,58 CE 1/5	0,89	< 0,001	***
CEps totale x CE1/10	CE ps= 0,76 + 15,98 CE 1/10	0,89	< 0,001	***
	CE ps = 16,31 CE 1/10	0,89	< 0,001	***

Ce tableau suggère que la CEps est 2,17 fois plus forte que la CE1/1, 5,8 fois plus forte que celle de la CE1/2,5, 9,5 fois plus forte que celle de la CE1/5 et 16 fois plus forte que celle de la CE1/10.

Pour confirmer ou infirmer ce résultat, nous avons calculé le rapport moyen entre la CEps et la CE des quatre dilutions comme indiqué dans le tableau 14.

Tableau 14. Rapports moyens entre la CEps et CE (1/1 , 1/2,5 , 1/5, 1/10)

CEps x	CE totale
CE1/1	20,75/9,5 = 2,2
CE 1/2,5	20,75/3,4=6,1
CE 1/5	20,75/2,1=9,9
CE 1/10	20,75/1,2=17,3

Il est fort intéressant de remarquer que les facteurs multiplicatifs obtenus par le rapport moyen entre la CEps et les CE diluées pour prédire la CEps se rapprochent de ceux obtenus par les régressions linéaires. Ce résultat nous conforte dans notre démarche et suggère que la CEps est environ deux fois, six fois, neuf fois et dix sept fois plus forte respectivement que la CE1, la CE1/2,5, la CE1/5 et la CE1/10.

Calculé pour les deux autres populations (salinités fortes et faibles), les résultats obtenus (tableau 15) sont sensiblement analogues, à quelques détails près, à ceux de la population hétérogène.

Tableau 15. Rapports moyens entre les CEps (totale, forte et faible) et CE (1/1 , 1/2,5 , 1/5, 1/10)

CEps x	CE totale	CE faible	CE forte
CE1/1	2,2	2,9	2,1
CE 1/2,5	6,1	5,7	5,9
CE 1/5	9,9	9,2	10,2
CE 1/10	17,3	13,0	17,6

En considérant les classes de salinité des sols établies sur la base de la CE de l'extrait de pate saturée (USSL, 1954), nous pouvons donc établir des classes de salinité des sols du bas Chellif sur la base de la CE des extraits dilués. Ces classes sont présentées dans le tableau 16.

Tableau 16. Les classes de la salinité des sols du Bas-Chellif sur la base de la CE des extraits dilués

Classe	CE ps dS/m	CE1/1 dS/m	CE1/2,5 dS/m	CE1/5 dS/m	CE1/10 dS/m
Non ou peu salé	< 4	1,8	0,7	0,4	0,2
Moyennement salé	4 - 8	1,8 - 3,6	0,7 - 1,4	0,4 - 0,8	0,2 - 0,4
Très Salé	8 - 16	3,6 - 7,2	1,4 - 2,8	0,8 - 1,6	0,4 - 0,8
Excessivement salé	> 16	> 7,2	> 2,8	> 1,6	> 0,8

CONCLUSION

CONCLUSION

Le présent travail a porté sur la détermination des relations entre la conductivité électrique de l'extrait de pate saturée et celle de quatre dilutions selon les rapports sol/eau 1/1, 1/2,5, 1/5 et 1/10. Les 170 échantillons étudiés proviennent de 34 profils représentatifs des sols de la station de recherche de l'INRA située à H'madna dans les plaines du Bas Cheliff.

Les principaux résultats peuvent être résumés comme suit :

- La salinité des extraits dilués des échantillons étudiés est très variable dans l'espace ($CV > 72\%$), elle se situe entre 0,1 dS/m et 0,3 dS/m pour les échantillons les moins salés et entre 8,04 et 22,1 dS/m pour les plus salés.

- Les résultats ont montré aussi que toutes les relations entre les différentes dilutions sont très fortes ($r > 0,7$) et très hautement significatives ($p < 0,001$). Ainsi, l'estimation d'une CE d'un extrait dilué à partir de la CE d'un autre extrait dilué est précise. La précision de cette estimation est meilleure entre les couples de dilution peu différentes.

- La relation entre la CEps et la CE de n'importe quel extrait dilué est très forte et très hautement significative ($0,89 < r < 0,92$; $p < 0,001$) surtout pour les échantillons qui ont une salinité hétérogène. De ce fait, l'estimation de la CEps à partir de la CE de n'importe quel extrait dilué est très précise. Cette estimation est cependant légèrement moins précise quand les calculs sont effectués sur des échantillons homogènes des points de vue salinité.

- La CEps estimée est 2,1 à 2,2 fois plus forte que la CE1/1, 5,8 à 6,1 fois plus forte que celle de la CE1/2,5, 9,5 à 9,9 fois plus forte que celle de la CE1/5 et 16 à 17,1 fois plus forte que celle de la CE1/10.

- Cette recherche a permis d'établir des classes de salinité pour chaque extrait dilué des sols du Bas Cheliff. En considérant le rapport de dilution 1/5 par exemple, les sols du Bas Cheliff sont considérés non ou peu salins si la CE est inférieure à 0,4 dS/m, moyennement salins si la CE est comprise entre 0,4 et 0,8, très salins si la CE est comprise entre 0,8 et 1,6 dS/m et excessivement salins quand la CE dépasse 1,6 dS/m.

Cette expérimentation qui a été menée dans un espace relativement restreint mérite d'être testée dans un espace plus vaste et dans des contextes pédologiques différents. L'intégration d'autres paramètres du sol comme la texture mérite d'être prise en considération.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ABDELHAFID Y., 2010.** Cartographie de la salinité des sols par induction électromagnétique. mem .mag.agro.,ensa .,124p.
- AUBERT G., 1976.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annale de l'INA El Harrach. Alger, vol.4, (1) ,pp. 185-195.
- BOIVIN P., BRUNET D., JOB J.O., 1988.** Conductivité électromagnétique et cartographie automatique des sols salés, Une méthode rapide et fiable. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIV, n° 1, pp. 39-48.
- BOT A., NACHTERGAELE F., YOUNG A., 2000.** Land resource potential and constraints at regional and country levels. World Soil Resources Report N° 90. Rome: FAO ,Rome.
- CALVET R., 2003 .**Le sol : propriétés et fonctions. Paris, France agricole,455p.
- CHEVERRY C., 1995.** Extension diversité des phénomènes mettant en jeu les sels soluble .C.R.Acad.Agric., vol. 81 n°2, pp.42-46.
- CHEVERRY C., et ROBERT M., 1996.**les ressources mondiales en eau et en sols : une limitation pour l'avenir.Cah.Agric. n°5, pp.243-248.
- CHEVERRY C., ROBERT M., 1998.** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays du sud de la Méditerranée. Etude et Gestion des Sols, vol.5, n°4, pp. 217-225.
- CHHIPA B.R. and LAL P., 1992 .**Effects of soil salinity on the pattern of nutrient uptake by susceptible and tolerant varieties of wheat. Agrochimica, Vol 36 n°6, pp. 418-426.
- CORWIN D.L., LESCH S.M., 2003.** Application of Soil Electrical Conductivity to precision agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. Agronomy Journal, vol.95, n.3, p.455-471.
- CORWIN D.L., LESCH S.M., 2005.** Apparent soil electrical conductivity measurements

- DAOUD Y., 1993.** contribution à l'étude des sols des plaines du Chelif : Le phénomène de salinisation, conséquences, sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse de doctorat, el Harache, Institut National Agronomique, 27p.
- DAOUD Y., CHEVERRY C., ROBERT M., 1993.** Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols des plaines du Chélif (Algérie). Science du Sol, vol.31, n°4, pp. 281-293.
- DOUAOUI A., 2005.** Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct. D'Etat, INA Alger, pp 230-255 .
- El Oumri M., Vieillefon J., 1983.** Etude expérimentale de la conductivité électrique électrique globale des sols. Application à l'estimation de leur salinité. in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, vol.46, pp.11-43.
- FAO, 1988.** la qualité de l'eau en agriculture .Bulletin FAO d'irrigation et de drainage .29 Rév.1.France, 339p.
- GAUCHER G.BURDIN S.,1974**-Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés :contribution aux techniques d'amélioration des terrains salés.CILF,Paris.230 p.
- GHAMPAGNOL F., 1979.** Relationships between phosphors nutrition of plans and salt toxicity. Phosphore et Agri., n° 76, pp.35-43.
- GUPTA R.K , ABROLI .P.,1990.** Salt-affected soils :their reclamation and management for crop production .advances in soil science, n°5, pp.224-288.
- HADJ-MILOUD S., 2010 .** Morphologie et propriétés des solonchaks références de la Mina.Thèse de magistère,ensa, 110p.
- HALITIM A., 1988 -** Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p.
- HAMDY A., LASSAM M., LACIREGNOLA C., 1995** -salinity problems in the Mediterranean region: major issues.comptes rendus de l'academie d'agriculture de France.vol.81,n°:1,pp.47-60.
- MAHDI H. ,2008.** Cartographie de la salinité d'un sol sableux par conductivité électromagnétique, mém.ing .agro., ensa.,109p.

- MAILLARD J., 2001.**le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone saharienne, Rapport international sur le risque de salinisation, Somalie. 35p.
- MATHIEU C., PIELTAIN F., 2003.** Analyse chimique des sols : méthodes choisies. Paris, Lavoisier Tec et Doc, 388p.
- El Oumri M., Vieillefon J., 1983.** Etude expérimentale de la conductivité électrique Globale des sols : application à l'estimation de leur salinité. Cahier ORSTOM, série Pédologie, vol. 20, n.2, p 91-108.
- ROBERT M., 1996.** Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson, Paris, p.241.
- ROBERT M., 1992.**le sol, ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement.Cah.Agric.,n°1, pp. 20-34.
- SAIDI DJ. ; 2010-**Evolution de la porosité des sols argileux du Bas cheliff sous contraintes salines. Faculté des sciences agronomiques et des sciences biologiques, univ.Cheliff, Algérie.revue, Nature et technologie,n°02, pp.51-58.
- SALIM, TESSIER, 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.
- SERVANT (J.), 1975 -** Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. L'exemple des sols –salés du sud et du sud-ouest de la France. Tome 1. ENSA Montpellier.194p.
- 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.
- SIGALA F. ; FIES J.C. et GUENNELON R. ;1998-**Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol au niveau textural et structural. I N R A. Sciences du sol,Avignon,France.Ciheam-option méditerranéennes.pp.159-168.
- Szabolcs I., 1989.** Salt-affected soils. CRC Press, Boca Raton, Florida, 274 p.
- U S S L, 1954.** Diagnostics and improvisent of Saline and alkali soils. Washington, Richards L.A., Handbook n°60, 160p.
- Weast R.C., Astle M.J., Beyer W.H., 1988 .** Handbook of chemistry and phy-sics, 69th edition. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Résumé

La mesure de la conductivité électrique de la solution du sol est effectuée au laboratoire sur les extraits de pate saturée (CEPs) qui est la méthode de référence. Cette méthode est généralement contraignante surtout quand il s'agit de mesurer périodiquement la salinité d'un grand nombre d'échantillons du sol. Aussi, l'objectif de ce travail est la recherche des relations entre la CEPs et la CE de quatre extraits dilués des sols du Bas Cheliff (Hmadna) selon les rapports 1/1, 1/2,5, 1/5 et 1/10. Les résultats ont montré que toutes relations entre les couples des CE des extraits dilués sont très fortes et très hautement significatives ($r > 0,7$; $p < 0,001$). A ce niveau, la meilleure prédiction d'une CE à partir d'une autre est obtenue entre les échantillons dont les dilutions ne sont pas très éloignées l'une de l'autre. Les résultats ont montré aussi que la relation entre la CEPs et la CE de n'importe quel extrait dilué est très forte et très hautement significative ($0,89 < r < 0,92$; $p < 0,001$) surtout quand les échantillons sont de salinité hétérogène. Cette recherche a révélé aussi que la CEPs est 2,1 à 2,2 fois plus forte que la CE1/1, 5,8 à 6,1 fois plus forte que celle de la CE1/2,5, 9,5 à 9,9 fois plus forte que celle de la CE1/5 et 16 à 17,1 fois plus forte que celle de la CE1/10.

Mots-clés : conductivité – Bas Cheliff – extrait de pate saturée – extrait dilué – salinité.

Summary

Measuring the electrical conductivity of the soil solution is performed in the laboratory on the saturated paste extract (CEPS), which is the reference method. This method is generally binding, especially when it comes to periodically measure the salinity of a large number of soil samples. Thus, the objective of this work is the search for relationships between the vines and the EC of four extracts diluted soil Lower Cheliff (Hmadna) according to reports 1/1, 1/2, 5, 1/5 and 1 / 10. The results showed that all relationships between couples EC dilute extracts are very strong and highly significant ($r > 0.7$, $p < 0.001$). At this level, the best prediction of an EC from another is obtained between samples with dilutions are not very far from each other. The results also showed that the relationship between the vines and the EC any diluted extract is very strong and highly significant ($0.89 < r < 0.92$, $p < 0.001$), especially when samples are salinity heterogeous. This research also revealed that CEPS is 2.1 to 2.2 times greater than the CE1 / 1, 5.8 to 6.1 times higher than the CE1 / 2.5, 9.5 to 9 , 9 times greater than that of CE1 / 5 and 16 to 17.1 times greater than that of the CE1/10.

Keywords: Conductivity - Low Chelif - saturated paste extract - diluted extract - salinity.

ملخص

قياس الموصلية الكهربائية للمحلول التربة تتم في المختبر على مستخلص عجينة المشبعة ، والذي هو الطريقة المرجعية. هذا الأسلوب هو ملزم عموماً، وخصوصاً عندما يتعلق الأمر بقياس دوري لملوحة عدد كبير من عينات التربة. وبالتالي، فإن الهدف من هذا العمل هو البحث عن العلاقات بين الموصلية الكهربائية للمحلول التربة تتم في المختبر على مستخلص عجينة المشبعة و مستوى محاليل اخرى (1/1 ، 2/1 ، 5، و 5/1 و 10 / 1) في منطقة الحمادنة الشلف السفلى

وأظهرت النتائج أن جميع العلاقات بين الأزواج EC هي قوية جدا وهامة للغاية ($r < 0,7$ ، $P > 0,001$). على هذا المستوى، يتم الحصول على أفضل تنبؤ من EC من آخر بين العينات حيث التحاليل ليست متباعدة عن بعضها البعض. وأظهرت النتائج أيضا أن العلاقة لأي مستخلص محلول هي قوية و هامة

(0.89 > ص > 0.92) خاصة عندما يتعلق الامر بالعينات الغير متجانسة

الهدف من هذه الدراسة هو وجود علاقة بين الموصلية الكهربائية لمحلول التربة على مستوى العجينة و الموصلية الكهربائية لمحاليل اخرى حيث (1، 2، 2-2، 1) مرات أكبر من CE1 / 1، وارتفاع 5، 8، 1-6 مرات من CE1 2.5 / ، 9، 5-9، 9، 9 مرات أكبر من CE1 / 5 و 16 حتي 17، 1 أضعاف ذلك من CE1/10.

كلمات البحث: التوصيل - Chelif منخفض - المشبعة استخراج معجون - استخراج المخفف - الملوحة.