

Université Abdelhamid  
Ibn Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**GAHAM Hassiba**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN AGRONOMIE**

**Spécialité: Gestion Durable de l'Environnement**

**THÈME**

*Contribution à la détermination d'indicateurs pertinents  
de diagnostic de la dégradation physique de sols de la  
plaine du Bas Cheliff soumis à la salinité et la sodicité*

Soutenue publiquement : le 10/11/2016

DEVANT LE JURY

Président	Larid Mohamed	Pr	Université de Mostaganem
Encadreur	Benkhelifa Mohammed	Pr	Université de Mostaganem
Examineur	Nemiche Saïd	MCA	Université de Mostaganem
Invité	Gorine Mohamed	CR	INRAA El H'Madena

في التربة المالحة التي تقع في المناطق الجافة والشبه الجافة، التسبير الراشد للزراعة والماء عنصر أساسي في حماية النظام البيئي في ظل تدهور نوعية مياه الري. في هذا السياق، استخدام التربة يتطلب اهتماما خاصا لما له من تأثير على جميع العمليات الكيميائية والبيولوجية والفيزيائية التي تتحكم في وظيفتها.

العمل الحالي هو عملية نهج الكيميائية الفيزيائية لصحة الأرض الخاضعة لاستخدامات متعددة. تم العمل والتعديل على مستوى أربع قطع أرضية مملحة عن طريق الجبس ٧٥٠٠٠، ١٥٠٠٠، و ٣٠٠٠٠٠ سيتم النظر فيها. إضافة إلى ٣ آخرين تم الإبقاء عليها خاما.

و قد بينت نتائج هذه الدراسة أن نسبة الملوحة تؤثر على طبقات أكثر عمقا من الطبقة السطحية للتربة مؤشرات الحالة المادية للأرض التي تنظم وفقها التربة حسب أهميتها و تكيفها في الموقع المدروس : استقرار الهيكل، الطاقة الكهربائية نسبة الصوديوم القابلة للمبادلة، نسبة امتصاص الصوديوم.

كلمات البحث: الملوحة، المؤشرات ذات صلة بصحة الأرض، الاستقرار الهيكلي، سهل شلف .

## Abstract

In salsodic soils which are located in arid and semi-arid areas, the agricultural management of water is a key element to the protection of the agricultural system in light of the state of degradation and quality of water irrigation. In this case, land use requires a special interest because of its impact on all the physico- chemical and biological processes that govern their operation.

The present work is a physico-chemical approach to health parcels of land that is subject to different uses. Four salted plots has been worked and amended on through gypsum 0,7500, 15000 and 30000kg.ha-1 are being considered. In addition to three others that are kept unworked.

The results of this study show that salinity affects deeper layers, from the surface layer of the studied soil. Undistributed ground seems to resist to the phenomenon of salinisation\ sodisation worked from the ground because of human act.

The indicators of the physical state of the land which are ordered according to their importance and adapted in the studied site are: the stability of the structure, l'ESP, the ceeps, the SAR and the ionic checking.

Keywords: salinity, sodicity, pertinent indicators of land's health, structural stability, plain of has cheliff.

## Résumé

Dans les sols salsodiques situés en zones arides et semi-arides, la gestion hydro-agricole est la clé de la protection de l'agrosystème compte tenu de l'état de dégradation des sols et de la qualité de l'eau d'irrigation. Dans ce cas, l'usage des sols requiert une importance toute particulière du fait de ses impacts sur l'ensemble des processus physico-chimiques et biologiques qui régissent leur fonctionnement.

Le présent travail est une approche de caractérisation physico-chimique de l'état de santé des sols de parcelles soumises à des usages différents. Quatre parcelles salées travaillées et amendées en gypse à 0, 7500, 15000 et 30000 kg.ha<sup>-1</sup> sont considérées en plus de trois autres non travaillées maintenues en état de jachère.

Les résultats de cette étude montrent que la salinité affecte les horizons profonds par rapport à la couche de surface des sols étudiés. Les sols non travaillés, semblent résister au phénomène de salinisation/sodisation par rapport au sol travaillé du fait de l'action anthropique.

Les indicateurs de l'état physique du sol les plus pertinents par ordre d'importance et adaptés au site étudié sont : la stabilité structure (Le Bissonnais), l'ESP, la CEeps, le SAR et le bilan ionique.

**Mots clés :** salinité, sodicité, indicateurs pertinents de santé des sols, stabilité structurale, plaine du Bas-Cheliff.

# Table des matières

ملخص

Abstract

Résumé

Table des matières.....2

Remerciements.....3

Listes des figures.....5

Liste des tableaux.....6

Introduction 7

**PREMIERE PARTIE – SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ..... 9**

**CHAPITRE I – LES SOLSSALSODIQUES ..... 10**

I.1. Répartition géographique des sols salsodiques .....11

I.1.1. Dans le monde..... 11

I.1.2. En Algérie..... 12

I.2. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation .....13

I.2.1. Climat 14

I.2.2. Source de sels ..... 15

I.2.3. Drainage..... 15

I.2.4. Intrusion d'eau de mer..... 16

I.3. Origine des sols salsodiques .....16

I.3.1. Salinisation primaire..... 17

I.3.1.1. Salinisation géologique .....	17
I.3.1.2. Salinisation marine et lagunaire .....	17
3.2. Salinisation secondaire.....	17
<b>I.4. Effets de la salinité sur les propriétés des sols .....</b>	<b>18</b>
I.4.1. Effets de la salinité sur les propriétés physiques et hydriques du sol .....	18
I.4.1.1. Effets des sels sur les propriétés physiques du sol.....	18
I.4.1.2. Effets des sels sur la stabilité structurale.....	19
I.4.1.3. Effets des sels sur la perméabilité .....	20
I.4.1.4. Effets des sels sur la rétention en l'eau .....	21
I.4.2. Effets de la salinité sur les caractéristiques chimiques du sol .....	21
I.4.2.1. Conductivité électrique.....	22
I.4.2.2. pH	22
I.4.2.3. Taux de sodium échangeable (ESP).....	23
I.4.2.4. SAR « Sodium Adsorption Ration » .....	24
I.4.2.5. Composition ionique de la solution du sol.....	24
I.4.3. Dégradation physique et chimique des sols salés .....	25
I.4.4. Dégradation biologique des sols salés .....	26
<b>I.5. Effets de la salinité sur les plantes .....</b>	<b>27</b>
I.5.1. Conséquences du stress salin .....	29
I.5.2. Sur l'eau et l'oxygène dans la plante.....	30
I.5.3. Sur la germination .....	30
I.5.4. Sur la croissance et le développement de la plante.....	31
<b>I.6. Classification des sols salés.....</b>	<b>33</b>
I.6.1. Sols salés à structure non dégradée.....	33
I.6.2. Sols salés à structure dégradée .....	33
I.6.2. Sols alcalins .....	34
<b>I.7. Ecologie des sols salés .....</b>	<b>37</b>

I.8. Mise en valeur des sols salés .....	38
<b>CHAPITRE II – PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....</b>	<b>40</b>
II.1. Situation géographique de la zone d’étude .....	41
II.2. Géologie	42
II.3. Historique de la plaine du Cheliff.....	42
II.4. Topographie des sols du Bas Cheliff.....	44
II.5. Caractéristiques des sols du Bas Cheliff .....	44
II.5.1. Classe des sols du Bas Cheliff.....	44
II.5.1.1. Classe 1 - Sols peu évolués .....	44
II.5.1.2. Classe 2 - Les Vertisols .....	46
II.5.1.3. Classe 3 - Sols Calcimagnésiques.....	46
II.5.1.4. Classe 4 - Sols isohumiques .....	47
II.5.1.5. Classe 5 - sols hydromorphes.....	47
II.5.1.6. Classe 6 - Sols Halomorphes.....	48
II.5.1.7. Classe 7 - Sols minéraux bruts .....	50
II.6. Caractéristiques chimiques.....	50
II.6.1. Potentiel hydrogène ou pH eau.....	50
II.6.2. Carbonate de calcium .....	50
II.6.3. Fertilité des sols.....	51
II.6.4. Le gypse .....	51
II.6.5. Conductivité hydraulique.....	52
II.6.6. Densité apparente.....	53
II.6.7. Synthèse sur l’état des sols dans le Bas Cheliff .....	53
<b>DEUXIEME PARTIE – ETUDE EXPERIMENTALE.....</b>	<b>55</b>

**CHAPITRE III – MATERIELS ET METHODES..... 56**

III.1. Site expérimental .....47

III.2. Matériel d'étude .....48

III.2.1. Tarière 48

III.2.2. Broyeur ..... 48

III.3. Méthodes d'étude.....49

III.3.1. Echantillonnage ..... 49

III.3.2 Méthodes d'analyses ..... 49

III.3.2.1. Analyses chimiques du sol ..... 49

III.3.2.1.1. Préparation de l'extrait de pate saturé..... 49

III.3.2.1.2. Préparation de l'extrait aqueux dilué 1/5..... 50

III.3.2.1.3. Conductivité électrique CE ..... 50

III.3.2.1.4. pH 50

III.3.2.1.5. Dosage du sodium et du potassium..... 50

III.3.2.1.6. Dosage des carbonates et bicarbonates..... 51

III.3.2.1.7. Dosage des chlorures..... 51

III.3.2.1.8. Dosage des sulfates ..... 51

III.3.2.1.9. Dosage du calcium et magnésium ..... 51

III.3.2.1.10. Capacité d'échange cationique C.E.C..... 51

III.3.2.1.11. SAR « Sodium Adsorption Ration» ..... 52

III.3.2.1.12. Taux de sodium échangeable (ESP) ..... 52

III.3.2.2. Analyses physiques du sol..... 52

III.3.2.2.1. Stabilité structurale(méthode Le Bissonnais)..... 52

III.3.2.2.2. Conductivité Hydraulique saturée ..... 52

**CHAPITRE IV – RESULTATS ET DISCUSSIONS ..... 3**

IV.1. Analyses chimiques du sol.....4

IV.1.1. Conductivité électrique (CE).....	4
IV.1.2. pH .....	5
IV.1.3. CEC .....	5
IV.1.4. SAR .....	6
IV.1.5. Bilans ioniques .....	7
IV.1.5.1. Cations.....	7
IV.1.5.2. Anions.....	8
<b>IV.2. Analyses physiques du sol .....</b>	<b>8</b>
IV.2.1. Stabilité structurale.....	8
IV.2.2. Infiltration (conductivité hydraulique saturée) .....	9
<b>Conclusion</b>	<b>10</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>12</b>

## Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah le tout puissant qui m'a donné la vie, la force et la chance de suivre mes études et pouvoir réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes vifs et sincères remerciements à Monsieur Benkhelifa Mohammed, professeur au département d'Agronomie à l'université de Mostaganem et directeur de mémoire, qui m'a fait profiter de son savoir et son expérience. Pour sa disponibilité tout au long de ce travail, sa gentillesse, sa responsabilité et ses précieux conseils, je tiens à lui exprimer ma reconnaissance avec un profond sentiment de respect.

Mes vifs remerciements s'adressent également à Monsieur Larid Mohamed, professeur au département d'Agronomie à l'université de Mostaganem, pour m'avoir fait l'honneur de bien vouloir présider le jury de soutenance.

J'exprime aussi mes chaleureux remerciements à Monsieur Nemiche Saïd, Maître de conférences A au département de Biologie à l'université de Mostaganem, qui a bien accepté d'examiner ce travail.

Je voudrais remercier particulièrement Monsieur Gorine Mohamed, Directeur de l'INRAA d'El Hmadena pour sa précieuse aide tout au long de mon stage. Je ne peux oublier toutes les autres personnes qui travaillent à l'INRAA, Messieurs Bellague ingénieur au laboratoire, Kheïr-Eddine et Medemoiselles Fatima et Maimouna pour leur aide et leur patience.

Je voudrais profiter de cette occasion pour exprimer mes sincères remerciements aux enseignants qui ont contribué à l'élaboration de ce projet.

Enfin, je remercie vivement toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont aidé à réaliser ce modeste travail.



## Dédicace

Je dédie ce modeste travail, fruit de mon parcours d'étude  
à deux êtres les plus chères à mon Cœur : mes chères parents qui  
ont toujours illuminés ma vie et m'ont orientés sur la bonne voie,  
qui m'ont soutenus tout au long de mon parcours, qui m'ont toujours  
compris et acceptés mes décisions.

Que dieu me les garde.

Je dédie aussi ce travail à mes chers frères : Anita, Lina, Imghi et  
toute la famille qui m'a toujours servie d'inspiration et je n'oublierai  
jamais mes étoiles ; qui ne sont pas toujours visible mais toujours  
présentes là pour moi ; mes amis : Lilia, Selma, Zohra, Amel, Bochra, Houda, Fatima,  
fayçal, Abd el ouahab.

À tous mes amis et collègues de la promotion de Master 2

Gestion Durable de l'Environnement.

Enfin à toute personne chère et à tous ceux qui  
m'aime et que je n'ai pas cité.

*Cassiba*



## Listes des figures

<b>Figure 01</b> : la carte mondiale des terres arides ( Anonyme, 2006) .....	11
<b>Figure 02</b> : Répartition des sols salins du nord de l'Algérie (source INSID, 2008) .....	11
<b>Figure 03</b> : Situation géographique du Bas Cheliff (Source : INSID en 2008) .....	33
<b>Figure 04</b> : Carte d'isovaleurs de la salinité des sols de la plaine du Bas Cheliff (INSID, 2008) ....	43
<b>Figure 05</b> : Plan de localisation du site d'étude .....	47
<b>Figure 06</b> : Prélèvement d'un échantillon de sol par la tarière .....	48
<b>Figure 07</b> : Broyeur électrique .....	48
<b>Figure 08</b> : préparation de la pâte saturée .....	49
<b>Figure 09</b> : Infiltromètre à double anneaux de Müntz.....	51
<b>Figure 10</b> : Variations de la CE en fonction de l'usage du sol et des horizons $Z_1$ , $Z_2$ et $Z_3$ .....	53
<b>Figure 11</b> : Variations de pH en fonction de l'usage du sol et des horizons $Z_1$ , $Z_2$ et $Z_3$ .....	53
<b>Figure 12</b> : Variations de la CEC en fonction de l'usage du sol et des horizons $Z_1$ , $Z_2$ et $Z_3$ .....	54
<b>Figure 13</b> : Variations de SAR en fonction de l'usage du sol et des horizons $Z_1$ , $Z_2$ et $Z_3$ .....	55
<b>Figure 14</b> : Bilan cationique en fonction de la dose de gypse en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ et de l'usage du sol pour les trois horizons, supérieur $Z_1$ , intermédiaire $Z_2$ et inférieur $Z_3$ .....	55
<b>Figure 15</b> : Bilan anionique en fonction de la dose de gypse en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ et de l'usage du sol pour les trois horizons, supérieur $Z_1$ , intermédiaire $Z_2$ et inférieur $Z_3$ .....	56
<b>Figure 16</b> : Variations de la stabilité structurale en fonction de l'usage du sol et des horizons $Z_1$ et $Z_2$ .....	56
<b>Figure 17</b> : Infiltration cumulée en fonction du temps, (a) : sol travaillé occupé par l'orge et amendé en gypse, (b) : sol non travaillé occupé par l'orge .....	57

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : sodium échangeable en fonction des valeurs du pH des pâtes de sol saturé(Boulaine, 1978).....	18
<b>Tableau 02</b> : Nature de la salinisation selon $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ .....	20
<b>Tableau 03</b> : Caractéristiques principales des sols salins et sodiques(Maillard, 2001) .....	28

## Introduction

Le phénomène de salinisation est considéré comme le processus majeur de la dégradation des sols en zones arides et semi-arides. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables chaque minute dont 3 hectares sous l'effet de la salinisation. En Algérie, 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) sont atteints par le phénomène de salinisation (Mermoud, 2006 et Robert, 1992).

Les sols salés ont une grande extension en Algérie, aux bords de certains chotts, dans les basses plaines et vallées d'Oranie, vallée de la Mina et près de Relizane. La plaine du Bas Cheliff est un exemple de salinisation des sols qui ne cesse de s'étendre durant ces dernières décennies. Beaucoup de travaux menés dans cette région montrent que les sels entraînent de fortes dégradations sur les propriétés physiques des sols et qui concerne principalement la perméabilité et la stabilité structurale.

En fonction de leurs caractéristiques morphologiques, chimiques et biologiques, les sols salés sont très diversifiés. C'est pourquoi, leur mise en valeur doit être accouplée à des études approfondies à plusieurs échelles : le laboratoire, la parcelle expérimentale et le plein champ.

Le présent travail est une contribution au diagnostic de l'état des sols de la station de l'INRAA d'El Hmadena soumis au phénomène de salinisation et suite à des aménagements préconisés dans le cadre d'un projet de leur mise en valeur Algéro-chinois. Il est recherché, en outre, les indicateurs les plus pertinents du degré de contamination salsodique des sols. Ceci, dans le but de pouvoir surveiller et par conséquent préserver la santé des sols moyennant des indicateurs optimisés sur les plans qualitatif, quantitatif et au moindre prix.

Le présent mémoire est présenté sous deux parties :

La première partie qui aborde une bibliographie en rapport avec le sujet et qui comprend deux chapitres : le phénomène de salinisation des sols et la présentation de la zone d'étude (Bas Cheliff).

La seconde partie est consacrée à la méthodologie adoptée dans l'approche expérimentale, les résultats obtenus, leurs discussions et les conclusions.

# **Première partie - Synthèse bibliographique**

# **Chapitre I – Les sols salsodiques**

La salinité est un phénomène mondial qui affecte 1 milliard d'hectares, soit 7 % de la surface terrestre (Nix Ha, 1995). La salinisation est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale. C'est l'un des processus de dégradation des sols les plus répandus sur la Terre. L'accumulation de sels dans les horizons sols peut engendrer une dégradation des caractéristiques physiques des sols (Durand, 1983). Cette dégradation affecte ainsi leur fertilité d'où leur réserve en matières organiques et minérales appauvries (Rahmoune et al, 2004).

La salinisation est un processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol, il s'en suit une diminution de rendement et à terme, une stérilisation du sol (Mermoud, 2006).

La salinisation enregistrée dans les écosystèmes arides et semi arides résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (MUNNS et al, 2006) et d'une insuffisante et irrégulière pluviométrie (Mezni et al, 2002). Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (Ben Naceur et al, 2001).

## **I.1. Répartition géographique des sols salsodiques**

### **I.1.1. Dans le monde**

Globalement les sols salés occupent une superficie de 950 millions d'hectares dans le monde (Zid et Grignon, 1991 ; Hasan, 1995). En Afrique du nord et au Moyen-Orient, elle couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation (Ben Ahmed et al, 1996 ; Le Houerou, 1986). En Algérie, les sols salés sont estimés à 10 à 15 % de la SAU irriguée (Cheverry et Robert, 1998). En Tunisie, les sols salés couvrent environ 10% de la superficie globale du pays, soit à peu près 25% de la surface totale des sols cultivables (Ben Ahmed et al., 2008). En Egypte, 35% des aires cultivées sont salinisées, 90% d'entre elles souffrent d'engorgement (Mainguet, 2003).

Les terrains salés sont fréquents dans les régions arides et semi arides, sur la totalité de la superficie des terres mondiales, la zone hyperaride couvre 4,2 %, la zone aride 14,6 % et la zone

semi-aride 12,2 %. Ainsi, près d'un tiers des terres du monde est constituée de sols arides, ceux-ci occupent plus de 600 000 km<sup>2</sup> dont 34 % en Algérie, 31 % en Libye, 19% au Maroc, 11 % en Tunisie et 5 % en Egypte (Maalem et Rahmoune, 2009).

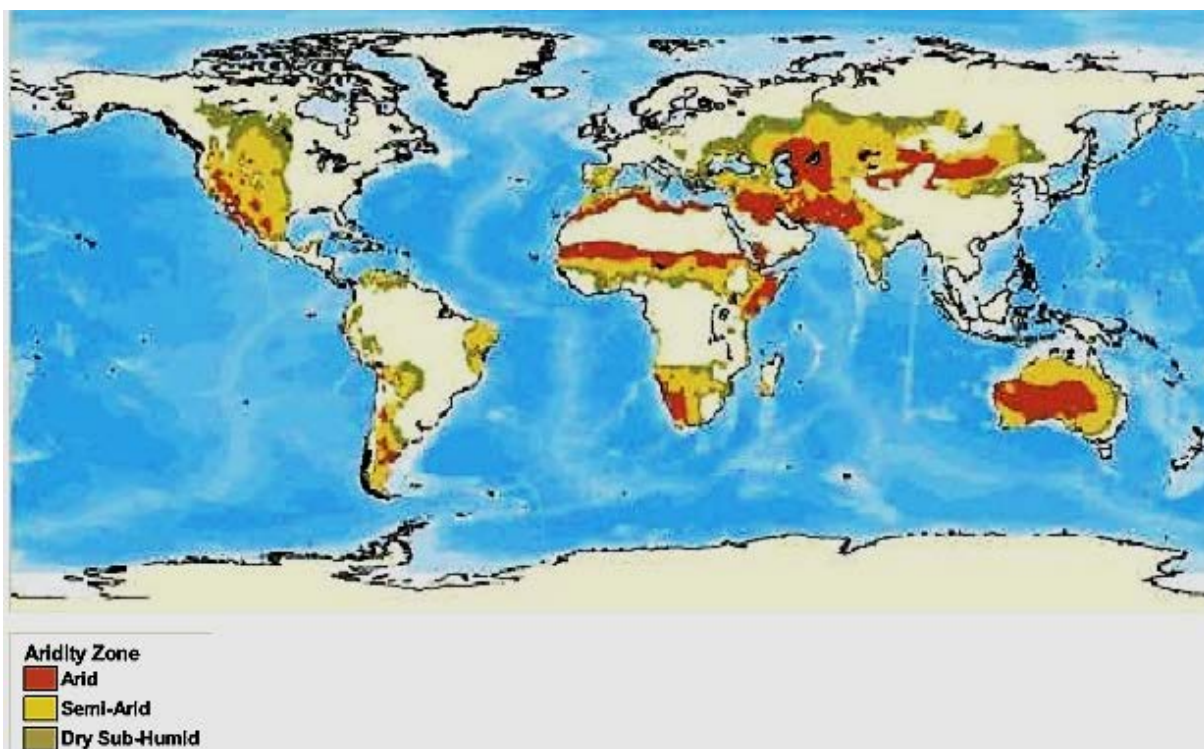


Figure 1 - Carte mondiale des terres arides (Anonyme, 2006)

### I.1.2. En Algérie

Les sols salés sont très répandus en Algérie essentiellement dans les zones arides et semi-arides (Durand, 1958 ; Haltim, 1985). D'après Szablocs (1989), 3,2 million d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisé dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient (Fig. 2).

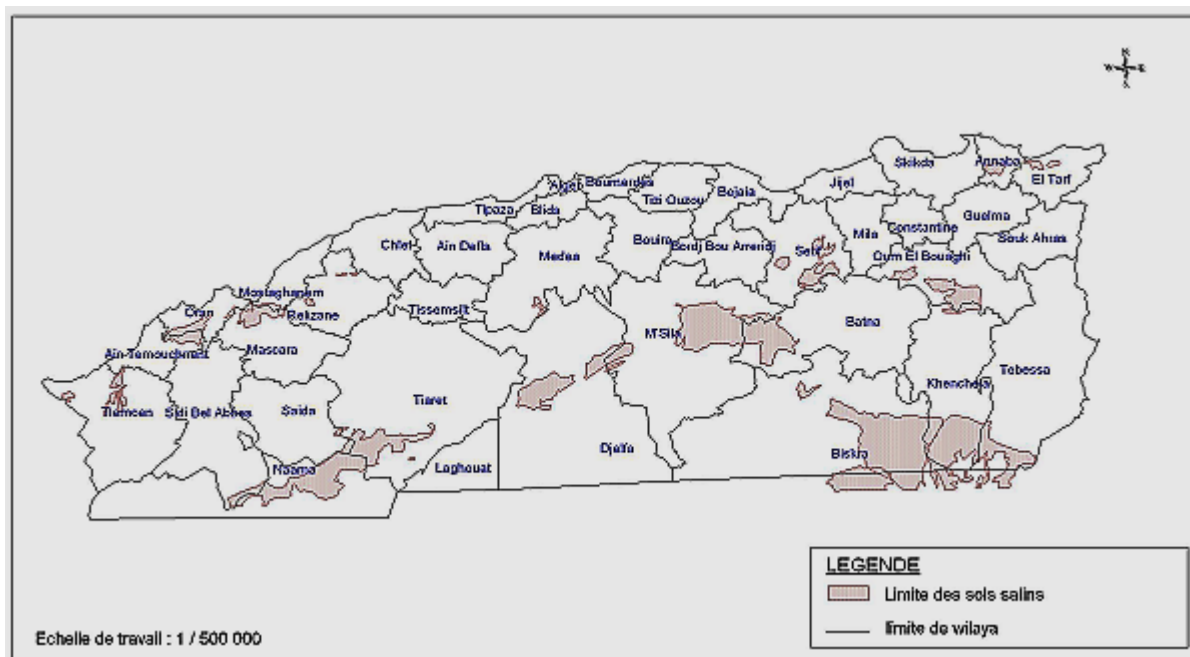


Figure 2 - Répartition des sols salés du nord de l'Algérie (source INSID, 2008)

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 BouArreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sebkhass (Chott Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhass d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui) et dans le grand sud (dans les Oasis, le long des oueds).

## I.2. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na, Ca et Mg sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présents en concentrations anormalement élevées (ASLOUM., 1990). Un sol salé indique la prédominance de NaCl. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g/l (ROBERT., 1996).

Selon CALVET (2003), un sol est dit salé quand la conductivité électrique de l'extrait de sa pâte saturée est supérieure ou égale à 4 dS.m<sup>-1</sup>. Les sols salés d'Algérie sont caractérisés en général par

une conductivité électrique supérieure à  $7 \text{ dS.m}^{-1}$  et un pourcentage de sodium échangeable (ESP) qui varie de 5 à 60 % de la capacité d'échange cationique (CEC) (Aubert, 1975).

Selon Wyn Jones et Gouston (1991), la salinité des sols peut être due à :

- La lixiviation des sels solubles et /ou à l'évaporation, qui déposent leurs sels dans les sols
- En régime non saturé, la remonté capillaire entraîne le transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après l'évaporation de l'eau (Raju et al, 1993).

### **I.2.1. Climat**

Dans les régions à climat humide, les sols salins sont pratiquement inexistant. La profonde percolation des eaux de pluie permet le lessivage des sels solubles. Dans les régions arides et semi-arides, le lessivage et le transport des sels solubles sont faibles. L'évapotranspiration entraîne une concentration des sels dans la zone racinaire et dans la couche superficielle. Dans ce cas, la masse totale des sels reste constante dans le profil du sol et le volume d'eau diminue ce qui implique une augmentation de la concentration des sels. Un paramètre qui rend compte de l'intensité de l'évapo-concentration est la dose de lessivage ou la fraction lessivée (FL) rapportée par Lahlou et al., ()

$$FL = \frac{\text{Volume de l'eau de drainage}}{\text{Volume de l'eau d'irrigation}} = \frac{CE \text{ de l'eau d'irrigation}}{CE \text{ de l'eau de drainage}}$$

La concentration des sels dans le sol favorisée par la faible percolation, avantage la concentration en sel dans son profil (Bennacer et Morsli, 1989). L'explication proposée par Kovda et Samoilova (1969), réside dans la solubilité différentielle des ions  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Na}^+$  lorsque la concentration augmente. Autrement dit, en saison sèche, les ions les moins solubles précipitent,  $\text{Ca}^{++}$  d'abord, puis  $\text{Mg}^{++}$ . Dans ces conditions, le complexe absorbe préférentiellement les ions qui restent solubles le plus longtemps,  $\text{Na}^+$  en premier et secondairement  $\text{Mg}^{++}$ . Les alternances saisonnières jouent dans ces conditions un rôle important, la dynamique des ions étant très différente en saison humide et en saison sèche.

En saison humide, l'altération des minéraux primaires et la libération des ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Ca}^{++}$ , entraîne leur mouvement vers le bas mais ne peuvent être complètement éliminés du fait de l'insuffisance ou de l'absence de drainage. En saison sèche, la remontée par capillarité des solutions du sol sous l'influence de l'évaporation est à l'origine de la concentration des solutions. Dans ce cas, la précipitation des sels intervient et entraîne la saturation par le sodium d'une fraction de l'humus et des argiles, qui pourront être entraînés à la période humide suivante (Duchauffour, 1983).

### **I.2.2. Source de sels**

Le sel provient des minéraux de la croûte terrestre. Les agents atmosphériques décomposent les minéraux et libèrent le sel sous une forme soluble. L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, donne des sels souvent solubles, en particulier carbonates et bicarbonates, parfois silicates, de ces métaux. En région aride ceux-ci se concentrent sur place ou dans les dépressions et zones basses du paysage. Parfois en zone endoréique, ils peuvent être apportés par les rivières qui viennent s'y jeter.

Les régions humides ont généralement une pluviosité suffisamment forte pour lessiver le sel à travers le sol et dans la nappe phréatique qui l'entraîne vers les cours d'eau. Ces derniers le transportent dans les Océans. L'irrigation apporte au sol de grandes quantités de sels et il est fréquent d'entendre les agricultures refuser l'eau qui leur est proposée sous le prétexte qu'ils ne veulent pas du sel qu'elle apporte. L'utilisation d'eau contenant 1g de sels solubles au litre apporté, en culture maraîchère, utilisant 8000 m<sup>3</sup>/ha tonnes de sels a l'hectare (Durand, 1983).

### **I.2.3. Drainage**

La nécessité du drainage des sols irrigués apparaît dans les conséquences de l'engorgement par l'eau des sols lourds pour lesquels l'équilibre hydrique naturel est rompu par l'apport des irrigations. Le drainage est l'unique solution durable pour maintenir la production agricole .on le

pratique pour lessiver les sels en excès et pour abaisser le niveau de la nappe, pour limiter l'effet du sel sur les plantes (ECHEVARRIA. G).

Seuls les sols bien drainés, à texture plus grossière, sont non salins. bien que les eaux fluviales utilisées pour l'irrigation n'aient que des teneurs assez faibles en sels, on considère que c'est le manque de drainage qu'a provoqué la salure des sols, dans l'antiquité comme de nos jours.

#### **I.2.4. Intrusion d'eau de mer**

Intrusion de l'eau de mer dans la nappe près des côtes est due à une inversion du gradient hydraulique à cause de la surexploitation des nappes souterraines.

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

### **I.3. Origine des sols salsodiques**

Normalement, les sols salins existent dans les zones qui reçoivent des sels à partir d'autres lieux ; proximité de la mer ; lieu de dépôts salins ou actuels ou géologiques (Antipolis, 2003). Cette salinité peut être naturelle ou induite par les activités agricoles comme irrigation (avec de l'eau de mauvaise qualité), ou l'utilisation de certains types d'engrais (Bartelset Nelson, 1994 ; Rubioet *al*, 1995).

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

### **I.3.1. Salinisation primaire**

La salinisation primaire d'origine géologique, marine ou lagunaire correspondant à unosalinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

#### **I.3.1.1. Salinisation géologique**

Les sels solubles peuvent provenir :

- Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques. En région arides et semi-arides, ces sols se concentrent sur place dans les dépressions fermées.
- Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires.
- Soit de l'altération des roches volcaniques (Servant, 1975).

#### **I.3.1.2. Salinisation marine et lagunaire**

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines (Gaucher et Burdin, 1974).

### **3.2. Salinisation secondaire**

Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (Munns et al., 2006) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (Mezni et al., 2002). Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (Ben naceur et al., 2001). La pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire. Actuellement, on dénombre environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde (Szablocs, 1994). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir.

En effet, Hamdy et al (1995) ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Cette menace selon Cheverry (1995) occasionne chaque année des pertes de 10 à 12 millions d'hectares de terres variables selon les auteurs.

## **I.4. Effets de la salinité sur les propriétés des sols**

Les fortes concentrations en sel altèrent la structure des sols, comme la diminution de la porosité, l'aération et la conductivité hydrique des sols peuvent être affectées ; des concentrations salines élevées génèrent de bas potentiel hydrique du sol, une forme de sécheresse physiologique créant une acquisition d'eau et de nutriments par les plantes, très difficile (Singh et Chatrath, 2001 ; Hopkins, 2003).

### **I.4.1. Effets de la salinité sur les propriétés physiques et hydriques du sol**

Les sols salés sont les plus fragiles et souvent sujet de dégradation qui réduit leur stabilité structurale, décroît fortement lorsque le taux de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  échangeable atteint 12 à 15 % de saturation de la CEC (Duthil, 1971).

Une forte salinité réduit le gonflement et la dégradation des agrégats ainsi que la dispersion des particules du sol. Par contre une forte sodicité provoque un gonflement et une dispersion des particules colloïdales (Gupta et al, 1993). Il a été montré également que le gonflement de l'argile est lié à la taille et au nombre des pores, alors que la conductivité hydraulique uniquement à la taille des rayons des constituants (Halitim, 1985).

Tessier en 1984, considère que la contrainte physique et les conditions physico-chimiques influencent par des mécanismes différents sur la rétention en eau et la conductivité hydraulique.

#### **I.4.1.1. 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.
- l'état physique de certains éléments - en solution - pseudo - solution ou dispersion

et par conséquent les possibilités de leurs migration.

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

#### **I.4.1.2. Effets des sels sur la stabilité structurale**

La dégradation de la structure du sol par la salinisation modifie la circulation de l'eau de pluie ou d'irrigation ou de ses solutions.

La stabilité d'un sol dépend des cations mis en jeu pour la saturation du complexe et le taux d'agrégats stables est décroissant suivant les cations fixés sur le complexe absorbant  $Ca^{++} < Mg^{++} < K^+ < Na^+$ . La stabilité structurale décroît dans les sols dès que, le taux de sodium échangeable atteint 12 à 15% (Duthil, 1973). Le rapport  $Na^+/Ca^{++}$  influe sur la dispersion des colloïdes.

Cette dispersion apparait dès que la quantité de sodium échangeable dépasse celle du calcium échangeable : c'est-à-dire lorsque le rapport  $Na^+/Ca^{++}$  dépasse la valeur de 1. (Derdour, 1981). Le  $Na^+$  par son pouvoir gonflant et dispersant d'argiles réduit la macro porosité.

Henin et al. (1969) ont constaté que l'ion  $Na^+$  conféré à un sol enrichi en solution une plus grande capacité que sur un sol environnant et l'enrichissement en ion  $K^+$  modifié relativement par la structure. Le taux d'agrégats stables est lié ainsi à la garniture ionique et au type d'argile dont la stabilité est liée au potentiel électrique.

En outre, Marih (1990), interprète cette liaison de la façon suivante :

- si le potentiel électrique est élevé, les particules se repoussent en se dispersant et le taux d'agrégats stable est très faible (complexe à faible teneur en  $\text{Na}^+$ ) ;
- si le potentiel électrique demeure bas, les particules s'attirent, s'agglomèrent en formant des flocons, c'est le phénomène de floculation qui donne naissance à des agglomérats stables (complexe saturé avec le  $\text{Ca}^{++}$ ). Une eau pure n'est bonne pour irriguer que si le sol est dépourvu de sels ou est à la rigueur salin. S'il est sodique et argileux, qu'il peut s'imperméabiliser.

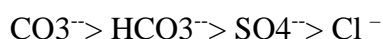
Dans ce cas, une eau fortement minéralisée, par exemple l'eau de mer, peut être utilisée pour éliminer l'essentiel du sodium de la CEC. Après quoi, sur le long terme, on passe l'irrigation avec une eau qui idéalement, est légèrement saline et riche en calcium. Il vaut mieux éliminer le sodium de la capacité d'échange en plusieurs fois, c'est plus efficace et il faut moins d'eau car, entre deux irrigations lessivant, l'équilibre avec la solution du sol se rétablit, ce qui veut dire désorption du sodium. Alors cet ion en solution peut être éliminé plus facilement par l'apport d'eau suivant (Legros, 2007).

#### **I.4.1.3. Effets des sels sur la perméabilité**

La conductivité hydraulique est l'une des propriétés physiques indispensable en agriculture irriguée, cette propriété dépend des conditions chimiques de la solution du sol.

La perméabilité dépend essentiellement de la texture, la structure, le type de cations absorbés et le taux de matière organique, la diminution de la perméabilité des sols salés à alcalins est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par l'ion  $\text{Na}^+$  (Derdour, 1981). Cette perméabilité commence à augmenter avec la salinité du fait de la formation des agrégats par l'action flocculant des sels, puis elle se maintient constante (Demelon, 1966).

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



SERVANT en 1971, signalait que le sodium réduit la percolation alors que le  $\text{K}^+$  l'augmente. Par contre les sols saturés par le  $\text{Ca}^{++}$  ont une meilleure perméabilité que ceux saturés par le  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ .

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 dans le système ;
- La dispersion des argiles provoque ainsi l'obstruction des pores et des canaux dans le sol.

#### **I.4.1.4. Effets des sels sur la rétention en l'eau**

Possédant des éléments hygroscopiques, les sols salés peuvent rester humides même en saison sèche, mais selon Halitim (1973), en raison du potentiel osmotique de la solution du sol, cette réserve hydrique n'est pas toujours disponible.

#### **I.4.2. Effets de la salinité sur les caractéristiques chimiques du sol**

Un sol salé contient des sels sous forme soluble tel que les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ) et les carbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). Par ailleurs, il contient aussi des cations tels que le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ) et en teneur moins abondante du potassique ( $\text{K}^+$ ) (Doummergues et Mangenot, 1970).

### I.4.2.1. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution est la conductance de cette solution mesurée entre deux électrodes de 1 cm<sup>2</sup> de surface. Elle permet de déterminer la salinité globale de l'extrait de pâte saturée. Elle est exprimée en dS.m<sup>-1</sup>(Baize, 1988).

La CE exprime la quantité totale de sels présents dans la solution du sol, d'après Calvet (2003), plus la concentration des sels dissous est importante, plus la CE de la pâte saturée est élevée. Il est admis qu'un sol ayant une conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée supérieure ou égale à 4 ds.m<sup>-1</sup> est considéré comme salé (Boulaine, 1978).

L'échelle agronomique mise au point par l'U.S. Salinity Laboratory (U.S.S.L) est graduée selon les valeurs de la CE, de 0 à 16 dS.m<sup>-1</sup>.

### I.4.2.2. pH

Le pH d'une solution est la quantité d'ions H<sup>+</sup> libres qu'elle contient (Soltner, 1982). Le pH = 1/log (H<sup>+</sup>).Le pH se mesure sur une suspension de terre fine. (Aubert, 1978).

L'accumulation des sels solubles dans le profil d'un sol, réduit son pH mais dans le cas d'un sol alcalin, le pH augmente avec la salinité à cause de la présence des bicarbonates et des carbonates de sodium (GUPTAL et al, 1990). C'est pourquoi existe une relation entre la sodicité du sol et le pH de l'extrait de pâte saturée rapportée par Boulaine en 1978, en en terme de Na<sup>+</sup> échangeable en fonction du pH.

Tableau 01 : sodium échangeable en fonction des valeurs du pH des pâtes de sol saturé (Boulaine, 1978).

<b>pH</b>	<b>ESP en %.</b>	<b>Observation</b>
pH > 8,5	> 15 toujours	Présente de carbonate d'alcalino-terreux.
7,5 < pH < 8,5	> 15 pas toujours	Présence ou non présence de carbonate d'alcalino-terreux.
7 < pH < 7,5	< 15	Pratiquement pas de carbonate d'alcalino-terreux.
pH < 7	Très faible	Quantité significative de Na <sup>+</sup> échangeable

D'après Khatir (2000), les sols salés ont un pH généralement supérieur à 7, il peut atteindre des valeurs nettement supérieures à 8,5 quand il y a une forte abondance et une diversité en espèce chimique de sels. En fonction de la valeur du pH d'un sol, on peut classer les sols selon l'échelle d'alcalinité suivante :

- $\text{pH} < 4,5$  : sols très acide.
- $4,5 < \text{pH} < 6$  : sols faiblement acide.
- $6 < \text{pH} < 7$  : neutre, sols équilibrés permettant une bonne alimentation.
- $\text{pH} > 7$  : sols calcaires (alcalins, basiques).

#### **I.4.2.3. Taux de sodium échangeable (ESP)**

Le pourcentage de sodium échangeable (EPS), représente la concentration en sodium  $\text{Na}^+$  échangeable (exprimée en  $\text{m\acute{e}q.100\text{g}^{-1}}$ ) par rapport à la capacité d'échange cationique (CEC) du sol qui est la quantité totale de cation (ions<sup>+</sup>) que ce dernier peut adsorber sur son complexe d'échange avec la solution du sol.

$$\text{ESP} = (\text{Na}^+ / \text{CEC}) 100.$$

À partir de l'échelle de contamination du sol par le sodium échangeable, on peut classer un sol en fonction de son état de dégradation par la valeur de son EPS comme suit (F.A.O, 1984) :

- $\text{EPS} < 5\%$  : légère alcalinité.
- $\text{EPS}$  de 5 à 20% : alcalinité modérée.
- $\text{EPS}$  de 20 à 45% : alcalinité grave.
- $\text{EPS} > 45\%$  : alcalinité très grave.

#### I.4.2.4. SAR « Sodium Adsorption Ration »

Dans l'étude des mécanismes de sodisation, l'Ecole de Riverside, à l'USDA (1969) utilise un paramètre précis pour définir la composition des solutions du sol ou des nappes salées. Ils'agit du SAR « Sodium Adsorption Ration » (Mathieu et Pieltain, 2003).Le SAR est calculé selon l'expression suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{2}}}$$

Où  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ , représentent les concentrations en milliéquivalents par litre dans la solution du sol ou dans l'eau d'irrigation).Le SAR donne des indications sur le risque d'alcalisation du milieu. Les risques sont faibles si le  $SAR < 10$ , moyen si SAR est compris entre 10 et 18, élevés si  $SAR > 18$  et très élevés si  $SAR > 26$ .

**Remarque :** il existe plusieurs relations empiriques entre le SAR et l'ESP. La relation la plus classique et la plus utilisée est celle proposée en 1954 par L'U.S.S.L sur la base des mesures réalisées sur 59 types de sols différents.

$$ESP (\%) = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \times SAR)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \times SAR)}$$

#### I.4.2.5. Composition ionique de la solution du sol

Afin de connaître la concentration en anions solubles ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{--}$  et  $HCO_3^-$ ) et en cations solubles ( $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$ ), une analyse chimique est effectuée sur l'extrait de pâte saturée ou sur extrait aqueux dilué. elle sert à classer le type de salinisation selon le diagramme de PIPER ou autre classification. C'est ainsi qu'on peut utiliser le rapport  $Cl^-/SO_4^{--}$  pour classer les solutions du sol (Servant, 1966 /71). Elle sert aussi à calculer le SAR (Sodium Adsorption Ration) qui exprime le pouvoir de sodisation de la solution du sol.

Tableau 2- Nature de la salinisation selon  $Cl^- / SO_4^{2-}$ .

$Cl^- / SO_4^{2-}$		Salinisation Chlorurée
	1 - 5	Salinisation Chlorurée-sulfatée
	0,2 - 1	Salinisation Sulfato-chlorurée
	< 0,2	Salinisation Sulfatée

### I.4.3. Dégradation physique et chimique des sols salés

Les ions sodium, en solution dans l'eau, sont en équilibre avec d'autres qui sont fixés sur les argiles lesquelles sont l'un des constituants majeurs de la terre (au sens de matériaux).

L'ensemble a de bonnes propriétés physiques car le sodium qui est d'un côté concentré dans l'eau et de l'autre fixé sur l'argile, sert de flocculant. Les argiles sont maintenues sous forme de gros amas appelés agrégats. Entre les mottes, entre les agrégats donc, les racines passent, trouvent de l'eau à boire et de l'air à respirer. En dépit du sel, certains végétaux peuvent survivre.

Lorsque le sodium domine dans l'eau, on parle de « salinité » et lorsqu'il domine accroché à l'argile on parle de « sodicité ».

Mais dans certains sols, quand la concentration en sodium diminue dans l'eau d'imbibation, en relation avec une irrigation à l'eau pure, les ions sodium du milieu extérieur disparaissent. Ceux qui sont accrochés à l'argile y restent et s'hydratent ; ils s'entourent d'une fine couche d'eau à l'échelle moléculaire. Cela sert de lubrifiant. Chaque particule se met à flotter dans ce manteau hydrique, indépendamment de ses voisines tant et si bien qu'on obtient une sorte de purée qui devient béton quand l'eau s'en va. Voici un de ces béton salés, certes fissuré tous les 20 cm par la sécheresse, mais impropre à la croissance des plantes.

En effet, les racines des plantes ne peuvent pénétrer le sol quand il sèche. Alors, l'eau d'irrigation et de dessalement ne peut plus passer. si ce phénomène se produit, il est à peu près irréversible. Le sol est perdu pour des décennies voire des siècles. Autrement dit, en voulant

dessaler, on peut détruire le sol. Le remède consiste à irriguer avec une eau chargée artificiellement en gypse (sulfate de calcium) de telle manière que le sodium qui s'en va de l'argile, y est immédiatement remplacé par du calcium. Alors, la floculation demeure.

La dégradation des sols salés est souvent chimique. On a vu que les roches contenaient des ions sodium (Na) libérés par l'altération. On a vu aussi, sans trop insister que ce sodium ( $\text{Na}^+$  en solution) était équilibré par les ions  $\text{CO}_3^{2-}$  provenant du gaz carbonique de l'air. La sécheresse concentre les eaux et donc ces ions. Or, le carbonate de sodium,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , le bicarbonate comme on dit en pharmacie, est un sel d'acide faible et de base forte. Il détermine une réaction basique. On s'en sert contre les aigreurs d'estomac. Autrement dit, le pH monte dans les sols salés, parfois jusqu'à 10 et même plus, ce qui fait périr les plantes. On parle alors de sol alcalin. Un pH très élevé du sol est souvent signe de salinité.

En fait c'est très compliqué et en même temps intéressant. Les différents anions et cations présents dans le milieu ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , etc.) co-précipitent. Le pH du sol va être déterminé par les plus réfractaires à la précipitation. Ce sont ceux qui sont spécialement abondants et, en plus, spécialement solubles. Suivant les cas, on obtient toutes sortes de sels différents : chlorures, sulfates, carbonates, nitrates parfois et un pH incroyablement variable entre 3 et 10.

#### **I.4.4. Dégradation biologique des sols salés**

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 micro-organismes.

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). Les sols constituent pour de nombreux micro-

organismes un milieu défavorable à cause des sels solubles qui engendrent une augmentation de la pression osmotique, le pH basique, une structure dégradée et asphyxiante du sol.

A titre d'exemple : les micro-organismes fixateurs d'azote tels que les bactéries ne se multiplient pas ou meurent quand la teneur en sel varie de 2 à 5%. Les teneurs en sels supérieures à 0.5% nuisent à la fixation d'azote par les azotobacters et clostridium.

Selon Dellal (1994), la densité des micro-organismes est plus élevée dans les sols non salés, par contre dans les sols excessivement salés ( $22 \text{ dS.m}^{-1}$ ) il note une chute brutale de la population microbienne, ainsi que le nombre de germes nitrifiants et ammonifiants diminue fortement. Dans ce type de sols excessivement salés atteignant ce seuil de salinité, il en résulte l'inhibition de certains processus microbien particulièrement, la nitrification. Une forte salinité exerce une action d'inhibition de l'activité des micros- organismes dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la maturation de la matière organique (Benzahi, 1990).

Par ailleurs, d'autres chercheurs ont constaté que les nématodes phytoparasites sont généralement euryhalins, c'est à dire que la concentration en sels des sols n'a aucun effet sur la mortalité mais au contraire stimule la reproduction pour certaines espèces.

## **I.5. Effets de la salinité sur les plantes**

Les sels dissous dans la solution du sol ont des effets indirects sur les végétaux par leur action sur la structure du sol et la circulation des fluides et de l'oxygène en particulier. Elles ont des effets indirects sur la croissance et le développement des plantes, certaines sont adaptées à ces concentrations par différents mécanismes physiologiques, ce sont les plantes halophytes, mais les plantes cultivées ne le sont pas. (Calvet, 2003).

La salinité présente des effets bénéfiques sur la germination et la croissance de quelques espèces à des niveaux de concentrations très faibles de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , de  $\text{NaCl}$ , de  $\text{MgSO}_4$  et de  $\text{NaCO}_3$ .

Au-delà de ce niveau faible de concentration, elle est considérée comme le processus majeur de la dégradation des sols et un facteur limitant de la croissance des plantes cultivées.

La salinité des sols constitue l'un des principaux stress abiotiques limitant la croissance des plantes cultivées (Epstienet al, 1980 ; Boyer et al, 1982 ; Tanjiet al, 1990 ; Abdellyet *al*, 2008 ; Munns et Tester, 2008). La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (Levigneronet *al*, 1995).

L'effet défavorable d'une très forte quantité de sel sur les plantes est de deux ordres :le sel empêche les plantes de recevoir suffisamment d'eau, même lorsque le sol est bien arrosé. Les plantes sont alors rabougries et ont fréquemment une couleur caractéristique bleu-verdâtre. Si le sel est réparti également dans le champ, toutes les plantes seront rabougries. La baisse des rendements peut atteindre jusqu'à 25%. Le se la aussi un effet toxique direct sur les plantes. La plupart des arbres fruitiers sont sujet aux dégâts lorsque la quantité de sel est élevée. Il en résulte des brûlures caractéristiques des feuilles qui ensuite tombent. Les arbres peuvent mourir lorsqu'une accumulation importante en sels nocifs de sodium ou de chlorure se manifeste (Agency for international développement, 1962).

Le terme de « **stress** » a été inventé par Hans Selye en 1935. Ce dernier a défini le stress comme une « réponse non spécifique de l'organisme à toute sollicitation » d'origine anglais, le mot « **stress** » était employé en mécanique et en physique qui voulait dire « force, poids, tension, charge ou effort » ce n'est qu'en 1963 Hans Selye utilise ce mot en médecine et le définit comme étant « des tensions faibles ou fortes, éprouvées depuis toujours et déclenchées par des événements futur désagréables ou agréables ».

La transposition au monde biologique proposée par Levetttest assez intéressante (Gravot, 2008).Il définit le stress comme étant le facteur environnemental susceptible de déclencher chez les plantes des modifications chimiques ou physiques dommageables. Ces modifications représentent la contrainte qui peut être plastique ou élastique (Gravot, 2007).

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend entre autres de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (Hopkins, 2003).

Le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  dans la rhizosphère et dans de l'eau (PARADIA et DAS, 2005), le stress salin déclenche à la fois un stress osmotique et un stress ionique (RAINS, 1972 ; FLOWERS et al, 1988 ; FLOWERS, 2004).

### **I.5.1. Conséquences du stress salin**

Hopkins et Tremblun et Leviner on précisent que les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- ❖ **stress hydrique** : une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol. Ce phénomène assure d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol et d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence.
- ❖ **stress ionique** : en dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sel dans les tissus perturbe l'activité métabolique.
- ❖ **stress nutritionnel** : des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale, en particulier vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le sodium entre en compétition avec le potassium, le calcium et le chlorure avec le nitrate, le phosphate et le sulfate.

## **I.5.2. Sur l'eau et l'oxygène dans la plante**

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (Romeroaranda *et al.*, 2001 in Parida et Das, 2005).

Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *S. salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (LU *et al.*, 2002 in Parida et Das, 2005). La plante ne pourra plus puiser l'eau qu'à partir d'une certaine concentration en sel où la pression de la plante est égale à la pression osmotique du milieu. Le sel diminue la transpiration des glycophytes et de nombreux halophytes en absence de toute diminution de turgescence.

Selon Yankovitch (1967, 1968), cité par Marih (1991), l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol se traduit inévitablement au niveau de la plante par la difficulté d'aborder cette solution. Même si le végétal a adapté la pression intérieure avec la pression extérieure, en absorbant suffisamment de sel, la transpiration est diminuée par le fait que l'eau s'évapore des feuilles plus difficilement ; la tension de vapeur d'une sève salée étant plus faible que celle d'une sève normale.

La présence des sels solubles peut causer une forte pression osmotique chez les plantes et l'inhibition de la germination des grains ainsi le développement de la plante entière en réduisant sa capacité à retenir l'eau entraînant des conséquences sur le niveau de croissance et leur activité métabolique (Munns, 2002 ; Belkhodja et Bidai, 2001).

## **I.5.3. Sur la germination**

Plusieurs études ont montré que le sel a un effet dépressif sur le taux de germination, sur la croissance biologique et sur la production des grains (M'Barek *et al.*, 2001). Ce pendant elle varie en fonction de l'intensité du stress et de la variété des plantes. La germination est le stade le plus sensible aux stress salin et hydrique (Boughalaghet *al.*, 2006), on peut considérer que la plupart des

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

Les semences des glycophytes et des halophytes dépendent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination (Ismail, 1990 in Lachiheb et al, 2004). Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence du sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Ungar, 1978 ; Kabar, 1986 in Debez et al, 2001).

À titre d'exemple, la luzerne qui voit sa germination affectée négativement par la présence du sel et peut être inhibée complètement à des concentrations supérieures à 15 g/l de Na Cl (Chaibi, 1995).

La germination des plantes qu'elles soient halophytes ou glycophytes, est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de la nature osmotique ou toxique :

- ❖ **les effets osmotiques** : se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation nécessaire au déclenchement de processus de germination.
- ❖ **les effets toxiques** : Ils sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoque des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (REJILI et al, 2006).

#### **I.5.4. Sur la croissance et le développement de la plante**

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (BOUAOUINA et al, 2000). Le stress entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte du milieu de la tolérance ou de sensibilité des plantes au sel (Belkhouche, 1992).

Selon Levigneron et al en 1995, une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50 mM/l de Na Cl de la solution du sol.

Parmi les manifestations morphologiques des plantes au stress salin, on distingue :

- une faible ramification, une diminution de la longueur, du diamètre, du poids sec des tiges et racines constatés sur les tomates.
- un raccourcissement des entre-nœuds et une diminution du nombre de nœuds.
- une réduction de nombre de feuilles (HAMZA, 1977) et de la surface foliaire chez l'haricot avec une diminution de 20 % à 40 % (LARHER et al, 1987).

Ainsi les Medicago, plantes fourragères telle la luzerne, ont une productivité mesurée en biomasse qui peut être réduite de 40 % en présence de concentration en sel de 12g/l (LEVIGNERON et al, 1995).

La salinité influence également sur la croissance, la qualité des fruits dont l'aspect (fruits plus petits et nécrosés) et les qualités organoleptique sont modifiées, et dont la valeur marchande devient médiocre (LEVIGNERON et al, 1995).

Le ralentissement de la croissance peut résulter de plusieurs facteurs à savoir :

- la perte de turgescence des cellules, due au stress osmotique, induit par les solutés externes (Serrano et Gaxiola, 1994).
- l'utilisation des composés carbonés et azotés à des fins de protection et d'osmorégulation aux dépens de leurs implications dans la production de la biomasse (ALARCON et al, 1994).
- l'accumulation excessive d'électrolytes dans les tissus de la plante, entraînant un effet de toxicité (Grouziset al, 1976).
- le déséquilibre nutritionnel causé par l'absorption réduite des ions essentiels comme  $K^+$ ,  $Ca^{++}$  ou  $NO_3^-$  en liaison avec cette accumulation excessive (GROUZIS et al, 1976 ; HAOUALA et al, 2007).

## **I.6. Classification des sols salés**

La classification des sols salés prend en considération les niveaux de salinité et de sodicité globaux ainsi que l'état de dégradation de la structure. En général, les sols salés sont classés en trois catégories (Aubert, 1983) :

### **I.6.1. Sols salés à structure non dégradée**

Deux grandes catégories de sols sont présentes dans la zone : les sols à caractère salé uniquement (Solontchak calcimagnésiques, Ca, Mg) et les sols salés et sodiques (Solontchak à complexesodique, Na, Mg). Les sols salins (Solontchaks) ont pour principales caractéristiques leur richesse en sels de Sodium neutres (Na Cl chlorure de Sodium,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  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.

D'après AUBERT (1978), les Solontchaks présentent une structure non dégradée, caractérisés par une richesse en sels solubles et qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées.

### **I.6.2. Sols salés à structure dégradée**

Ce sont des sols à alcalin qui ont le caractère salé et alcalin. On distingue deux types de sols en fonction de la salinité : (i) les sols peu à moyennement salés, avec une conductivité de l'extrait de pâte saturée inférieure à 10 à 15  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  et qui augmente en surface, (ii) les sols très salés, qui assurent la transition avec les sols à complexe sodique.

Les sols sodiques aussi appelés sols salés ou sols halomorphes sont caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles dans l'ensemble ou dans une partie du profil ou par la dégradation de la structure de l'un de leurs horizons ou de tout l'ensemble sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels, en particulier le sodium.

La sodisation est mesurée en pourcentage de la CEC occupée par le sodium (ESP). Lorsque la garniture cationique des argiles dépasse un seuil de teneur en sodium,  $ESP > 10\%$ , ces dernières ont tendance à défloculer (dispersion). Le sol perd alors sa structure et sa perméabilité et devient impropre à la production agricole. À un stade plus poussé, la sodisation s'accompagne d'une hausse du pH qui se traduit par une régression sévère des aptitudes agronomiques du sol, due en particulier à des carences (Marc, 2001).

### **I.6.2. Sols alcalins**

Les sols alcalins se manifestent par une élévation du pH du sol sous l'effet de l'accumulation des sels. Dans ce cas, il est important de rappeler que :

- en milieu aride et en cas de drainage limité ou nul, la forte évaporation conduit à concentrer les eaux de surface et le sol en sels solubles,
- lorsqu'une eau même faiblement minéralisée se concentre dans la solution du sol, elle est susceptible de d'accumuler les sels dans le profil du sol particulièrement sous une forte évaporation qui conduira fatalement à un état salé.
- toutes les espèces minérales ne se maintiennent pas en solution au cours de l'évaporation, lorsque le seuil de solubilité du minéral est atteint, il précipite et les ions correspondant cessent donc de se concentrer.
- le premier minéral qui précipite est la calcite  $\text{CaCO}_3$ . Cette précipitation intervient pour une valeur constante du produit des concentrations en calcium et en carbonate. Or, quand l'eau d'irrigation est relativement riche en carbonate par rapport au calcium, la précipitation laisse des carbonates résiduels en solution qui se concentrent avec le temps et un accroissement du pH de la solution. Dans ce cas, la teneur en calcium diminue et la teneur en sodium augmente, étant donné qu'aucune espèce minérale contenant du sodium ne précipite. Par conséquent, le SAR de l'eau augmente.

La formation des sols salés est en relation étroite avec la présence de l'ion sodium  $\text{Na}^+$  sous l'une ou l'autre de ses formes : saline ( $\text{Na Cl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ou échangeable, parfois les deux. Les sols salés sont riches en sels solubles (Sols salins) ou en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins).

Ces sols ont un profil peu stable, en raison de la grande facilité de dispersion des argiles, ils sont asphyxiants plutôt que physiologiquement secs, sont riches en sodium échangeable et en revanche pauvres en sels solubles (sels alcalins, carbonates et bicarbonates de sodium).

Principalement, les sols alcalins se trouvent plutôt dans les zones semi-aride et subhumide. La relative abondance de l'ion sodium dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes :

- Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins.
- Elle peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (Duchaufour, 1983).

Ces deux types de sols ont en fait des propriétés chimiques et physiques distinctes, d'où les effets sur les plantes. Des traitements pour leur remise en valeur, une distribution géographique et une qualité des aquifères adjacents différents (Maillard, 2001).

Les principales caractéristiques des sols salins et sodiques sont démontrées dans le tableau suivant :

Tableau 03 : Caractéristiques principales des sols salins et sodiques (Maillard, 2001).

caractéristiques	Sols salins	Sols sodiques (alcalins)
chimiques	<p>* Dominés par des sels solubles neutres : chlorures et sulfates de sodium, calcium et magnésium.</p> <p>*Le pH de l'extrait de sol saturé généralement de moins de 8,2 (8,7 dans d'autres ouvrages).</p> <p>* Conductivité électrique à 25°C ; CE &gt;4Ms/cm (ds/m).</p>	<p>* Peu de sels solubles neutres mais généralement des quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline tel que les carbonates de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).</p> <p>* Le pH de l'extrait de sol saturé de plus de 8,2 (ou 8,7) et atteignant souvent 9 ou 10.</p> <p>* Conductivité électrique à 25°C CE&lt;4Ms/cm</p>
physiques	<p>*En présence excessive de sels solubles neutres, la fraction argileuse est floculée et le sol est stable.</p> <p>*La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols « normaux ».</p>	<p>*Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol.</p> <p>*La perméabilité à l'eau et à l'air est restreinte.</p> <p>Les propriétés physiques de ces sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du sodium échangeable</p>
Distribution Géographique	<p>*Les sols salins dominant dans les régions arides à semi-arides.</p>	<p>*Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi-arides et subhumides.</p>

## I.7. Ecologie des sols salés

Le comportement physiologique des halophytes se caractérise par leur aptitude à fonctionner activement en présence de fortes concentrations salines grâce à un certain nombre de caractéristiques physiologiques, résumées dès 1922. Leur comparaison montre qu'il existe deux catégories d'halophytes : les halophytes facultatif et les halophytes obligatoires (Binet, 1970).

Les halophytes dits facultatifs peuvent se développer en milieu salin, mais le font encore mieux en milieu imprégné d'eau douce. Leur absence dans les milieux non salés pourrait s'expliquer par la concurrence avec les glycophytes, leur installation sur les sols fortement salés étant liée à une faculté plus grande que chez les glycophytes de leur protoplasme à résister aux fortes concentrations salines.

Les halophytes dits obligatoires ou halophytes sensu stricto (Adrianmi, 1945), dont la croissance est maximale en milieu salé, exigent une certaine teneur en sels dans le milieu pour assurer leur plein développement.

Boucaud (1972) a montré que ces deux catégories d'halophytes pouvaient coexister au sein d'une espèce polymorphe, *Suaeda maritima*, sous forme de variétés ou d'écotypes correspondant à des situations écologiques bien définies rencontrées sur le littoral de la Manche.

Certains micro-organismes peuvent tolérer des concentrations en sel dissous extrêmement élevées. En fait, ceux qui sont obligatoirement halophiles ont besoin de fortes concentrations pour assurer leur croissance optimale. Ils paraissent ainsi plus spécifiques dans leurs besoins en matières solubles que ceux qui sont facultativement halophiles. Par exemple : ils ont besoin de NaCl plutôt qu'un autre sel. Les micro-organismes adaptés à l'halophilie et à la pression osmotique ont tendance à tolérer des concentrations plus élevées en substances solubles, aux conditions de températures, de pH et de nutrition qui sont optimales pour leur croissance plutôt qu'à d'autres. L'étude des plantes indicatrices, en milieu salé a toujours tenté les chercheurs qui pensaient qu'elles pourraient livrer le

secret de l'halophilisme et des facteurs de la tolérance au sel. Ces espoirs n'ont pas été déçus, du moins en ce qui concerne les principes applicables aux halophytes.

Une classification des steppes fondée à la fois sur le bilan ionique (salure) et le bilan hydrique a été proposée, elle inclue des groupements hypo-halophiles méso-halophiles et hyper-halophiles combinés avec les critères hydriques : xérophiles, mésophiles et hygrophiles.

Selon Halitim (1988), en fonction d'un gradient de salinité croissante, on voit apparaître des espèces ou groupements végétaux azonaux tels qu'*Atriplexhalimus*, *Salsolatetendra*, *Suadafructosa*, *Salicornia arabica* et *Suada vermicula*.

## **I.8. Mise en valeur des sols salés**

Les sels solubles sont en mouvement grâce à l'eau qui circule dans le sol, ces mouvements peuvent être descendants (lixiviation) ou ascendants (remonté capillaire ou capillarité) ou avec un autre mécanisme de migration appelé thermos-dialyse.

On parle de lixiviation lorsque l'eau apportée au sol, soit par irrigation, par inondation ou par pluie, s'infiltre en dissolvant les sels présents dans leur ordre de solubilité croissante et en les entraînant en profondeur.

La capillarité ou la remontée capillaire est une migration ascendante des sels en solution dans un profil saturé à faible profondeur, cette migration est très intense dans les régions soumises à une forte évaporation (Duchaufour, 1977). La remontée capillaire des sels dépend beaucoup de la profondeur de la nappe superficielle, la perméabilité, la granulométrie et la structure du sol (Durand, 1983).

La thermodialyse est une migration des sels sous un gradient de température vers les parties chaudes. Cette migration dépend de la texture de la terre, de son humidité et de la nature des sels (Durand, 1983).

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- l'élimination de l'excès en sels (lixiviation) et suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée).

Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau de pluie ou d'irrigation est abondante et de bonne qualité.

- l'utilisation des plantes résistantes à la salinité.

- la reconstitution de la fertilité par les amendements qui enrichissent les argiles en calcium échangeable.

- des pratiques particulières, labour de défoncement et ratissage des sels en surface (Girard et *al*, 2005).

Leur mise en valeur dépend de nombreux facteurs :

- intensité et nature de la salure, type de profil salin, degré de dégradation de la structure et des autres propriétés physiques (perméabilité),

- caractères du sol: profil, texture, structure, richesse en ions Ca solubles (gypse – sa cristallinité),

- conditions topographiques et hydrologiques (nappe d'eau : profondeur et mouvement saisonniers, caractères chimiques),

- type de cultures : résistance à la salinité, à l'alcalinisation, au rapport entre le cycle de développement et le cycle climatique saisonnière, nature du système racinaire.

# **Chapitre II – Présentation de la zone d'étude**

## II.1. Situation géographique de la zone d'étude

La région d'étude est située au nord-ouest de l'Algérie, elle fait partie du grand bassin versant du Cheliff, elle se trouve à 35 km à vol d'oiseau du littoral de la Méditerranée et à 250 km d'Alger (Fig. 3). La zone d'étude choisie est située entre  $0^{\circ} 40'$  et  $1^{\circ} 6' 8''$  de longitude Est et  $34^{\circ} 3' 12'$  et  $36^{\circ} 5' 57''$  de Latitude Nord.

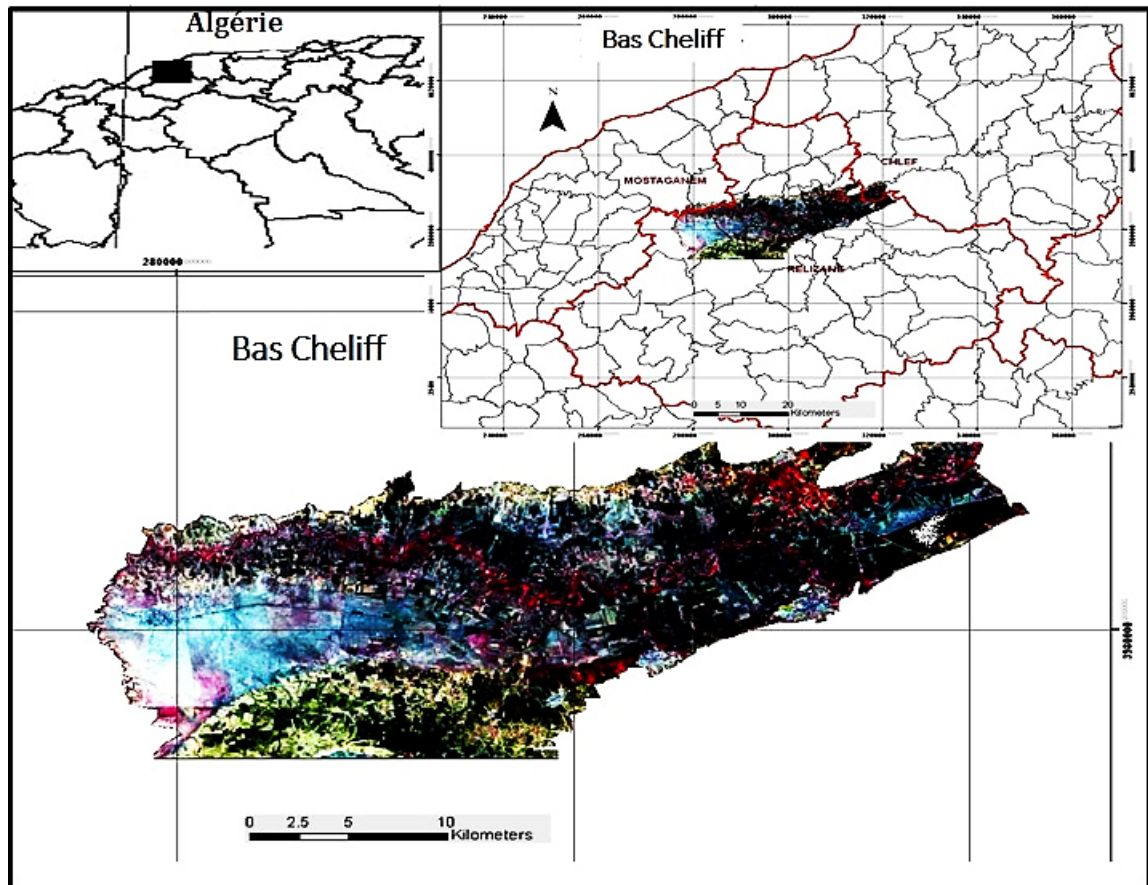


Figure3 - Situation géographique du Bas Cheliff (Source : INSID en 2008).

Les coordonnées géographiques du périmètre irrigué du Bas Cheliff sont : X= 305,000 et 355, 000 m et Y= 285,400 et 310,000 m. Ce périmètre s'étend sur une superficie de près de 40 000 hectares. Il est limité par le périmètre du moyen Cheliff à l'Est, le périmètre de la Mina à l'ouest, le massif du Dahra au nord et le massif de l'Ouarsenis au sud.

La zone d'étude comporte trois grands périmètres : le Bas Cheliff, l'extension de Guerouaou et l'extension de Sebkhia Benziane. La zone de la « Gâa » est comprise entre ces deux dernières.

La zone d'étude est traversée par la route nationale n° 4 et par la ligne du chemin de fer de l'ouest à l'est. Elle est limitée par la Merdja Sidi Abed à l'est et la ville de Sidi Khettab à l'ouest.

Les principales villes situées dans le périmètre d'ouest en est sur l'axe routier n° 4 sont : Boukader, Merdja, Sidi Abed, Oued Rhiou, Djediouia, H'madna, H'madnaBourokba et Sidi khettab. D'autres petits hameaux tels : Ouled Ahmed, Ouled Mellah, OueledBendania sont situés au niveau de la zone d'étude.

## **II.2. Géologie**

La vallée du Bas Cheliff est formée par un large synclinal où le flanc Nord présente la succession des assises Miocène et pliocène inclinées en général vers l'axe du bassin versant(Boulaine, 1957).

La vallée du Bas Cheliff est un synclinal comblé (par des sédimentations quaternaires) encadré au nord et au sud par des collines de l'âge Miocène- pliocène (Tertiaire).La vallée large de 10 Km dont la partie est rétrécie en aval à la hauteur de la colline de Kherba qui forme barrage et divise la vallée en deux parties : la plaine du Cheliff au nord-est et celle de Oued Rhiou au sud-ouest, cette dernière débute par les marécages de Merdjet Sidi Abed.

Au Nord, ces assises se plissent légèrement pour donner lieu à deux ondulations anticlinales parallèles et de direction sud-ouest – Nord Est. L'axe de ces plis est constitué par les argiles Helvétiques. En bordure de plaine, les assises pliocènes sont fortement inclinées avant de disparaître sous les alluvions anciennes.

Le flanc Sud du synclinal de la plaine est adouci par les calcaires à Lithothamnium au Sud, un anticlinal de même direction est marqué dans le cartennien et l'Aptien, tandis que le Sénonien apparaît dans l'intervalle. Ce pli est suivi d'une dépression synclinale peu profonde dans laquelle l'oligocène est conservé.

## **II.3. Historique de la plaine du Cheliff**

La vallée du Cheliff a pris son allure actuelle vers la fin du pliocène à la suite de dépôts continentaux qui traduisent le comblement et l'émersion graduelle du bassin. A cette lente orogénèse fait suite d'un léger affaissement qui a permis l'envahissement de la mer en un vaste golfe au calabrien dans la région du Bas Cheliff essentiellement.

Ces mouvements se sont poursuivis pendant la période de transition entre le Tertiaire et le quaternaire comme le montre la déformation du villafranchien sur les pentes du Dahra côtésud, où il se relève presque à la verticale.

Le cours du Cheliff disparaît dans les éléments lacustres durant le Tertiaire et ce n'est qu'à la fin du pliocène supérieur qu'il établit son cours vers la mer suivant une écluse creusée vraisemblablement depuis le pléistocène (Djalem, 1985).

A la fin tertiaire, les plaines dites Bas Cheliff formaient une fosse à sédiments soumise à des mouvements tectoniques d'affaissement. La plaine d'Oued Rhiou, d'une faible altitude (40 à 70 m), s'étend au sud du Cheliff et s'abaisse progressivement vers le nord.

La Sebka de Ben Ziane, au sud-ouest de la plaine est bordée par un bourrelet étroit qui domine le fond de la cuvette d'une centaine de mètres et la sépare de la plaine d'Oued Djemââ et Relizane tandis que des mamelons moins élevés forment une large auréole autour du lac salé. Des vertiges de dépressions analogues à ce lac se reconnaissent encore.

Selon Boulaineen 1957, la Sebka se présente comme un gisement de sel considérable à cause de son emplacement sur un dôme salin triasique.

A l'est de la plaine, les hauteurs calcaires, qui limitent la vallée du Cheliff entre la ville de Chleff et Djdiouia sur une longueur de 60 Km, s'arrêtent brusquement sur la rive droite de KoudiatMâala 525 m, celle-ci domine de plus de 450 mètres la plaine voisine. Plus au Sud, on observe les bandes de Grès Helvetiennes du barrage et la ride calcaire de Touillât jusqu'aux bords du village de Benziane. A l'est de Djdiouia, les Grès Catenniens sont très redressés dans une série de barres rocheuses souvent escarpées qu'on suit sans interruption jusqu'à la vallée de Rhiou et au-delà.

## **II.4. Topographie des sols du Bas Cheliff**

La topographie de la plaine du Bas Cheliff est relativement plate. Cette plaine est comprise entre deux massifs montagneux : le Dahra et l'Ouarsenis. Prenant son origine au niveau de la rupture de pente entre le moyen et le Bas Cheliff, à proximité de Merdjet Sidi Abed, la vallée commence à s'étendre de part et d'autre du lit de l'Oued Cheliff en faisant jonction avec l'Oued Rhiou et l'Oued Djdiouia sur la rive gauche et avec les nombreux oueds venant du Dahra sur sa rive droite jusqu'à atteindre les apports de l'Oued Mina pour former enfin une vaste Gâa.

Sur la partie gauche de l'Oued Cheliff, s'étend la plaine jusqu'à ce qu'elle atteigne le bourrelet formé autour de Sebka Benziane où la pente du terrain augmente progressivement jusqu'à la crête du bassin fermé de sebka. Au milieu de la plaine, la pente du terrain est modérée et augmente progressivement jusqu'aux villes situées aux piémonts de l'Ouarsenis et ce en partant de H'madena, Djdiouia jusqu'à Oued Rhiou sur la rive gauche. De même pour la rive droite, la pente augmente progressivement, d'une façon plus prononcée, jusqu'à la base du Dahra.

## **II.5. Caractéristiques des sols du Bas Cheliff**

### **II.5.1. Classe des sols du Bas Cheliff**

Les sols du Bas Cheliff sont classés selon la classification adoptée par la SOGREAH et l'ANRH en sept classes.

#### **II.5.1.1. Classe 1 - Sols peu évolués**

Ce sont des sols alluviaux et colluviaux, ils comportent les caractéristiques qui permettent de les classer comme sols hydromorphes ou halomorphes. Cinq sous-groupes se reconnaissent au niveau de cette classe :

- Sous-groupe des sols profonds évolués d'apport alluvial modal

Ce sont des sols profonds bien drainés que l'on trouve près de l'oued Cheliff et Oued Rhiou ainsi que dans la zone de Merdjet Sidi Abed. La texture de ces sols est variable, elle est de type très sableuse sur les terrasses les plus basses de l'Oued à argileuse aux endroits où ils atteignent le lit de l'Oued.

- Sous-groupe des sols peu évolués d'apport alluvial-halomorphes

Ces sols ont les caractéristiques des sols du sous-groupe des sols modaux avec cependant un niveau de salinité qui s'élève à 8 ds/m. ces sols sont bien drainés et présentent une texture équilibrée à fine. Ils sont rencontrés à l'extrémité Ouest de l'extension de Guerouaou (OuledMaalah et Ouled Ben Dania) et près de l'Oued Mellah.

- Sous-groupe des sols peu évolués d'apport alluvial-hydromorphes

Ces sols occupent des zones relativement restreintes au niveau de l'extension de la Sebkhha BenZiane. Ce sont des sols profonds, avec un drainage modérément bon à parfait, de texture fine à argileuse. La Salinité est faible (< à 4 dS.m<sup>-1</sup>).

- Sous-groupe des sols peu évolués d'apport alluvial-hydromorphes-halomorphes

Cette catégorie possède les caractéristiques des sols peu évolués halomorphes et hydromorphes. Ils sont rencontrés au niveau de Merjet Sidi Abed et entre Djdiouia et H'madna ainsi qu'au niveau de l'extension de Guerouaou. Ce sont des sols assez profonds bien drainés, de texture fine à argileuse près du lit d'Oued. Les niveaux de salinité ne dépassent pas les 8 dS.m<sup>-1</sup>.

- Sous-groupe des sols peu évolués d'apport colluvial-modal

Ils sont rencontrés dans les zones de piémonts à pentes légères des collines qui bordent la plaine du Bas Cheliff. Ils reposent sur des colluvions (Calcaires à lithothamnium du Miocène supérieur).

Ils sont rencontrés à l'extrémité ouest de l'extension de Guerouaou et entre la région amont de Merdjet Sidi Abed. Ces sols sont peu salins et peu profonds avec un encroustement calcaire sous-jacent avec souvent une charge caillouteuse en surface.

### **II.5.1.2. Classe 2 - Les Vertisols**

Ce sont des sols constitués d'argiles lourdes gonflantes, ils ont une texture extrêmement fine avec 60% d'argile, ils ont une texture grumeleuse superposée à structure moyenne polyédrique.

- Sous-groupe des Vertisols halomorphes

Ce groupe de sol est rencontré principalement au niveau de la « Gââ ». Ils sont des sols constitués d'argiles lourdes profondes et mal drainées présentant des fentes superficielles en été et un micro relief accidenté.

- Sous-groupe des vertisols halomorphes-hydromorphes

Ce sont des vertisols présentant les caractéristiques d'hydromorphie au niveau de la partie inférieur du profil. Ils sont rencontrés au niveau de Merjet Sidi Abed en association avec des sols halomorphes à structure dégradée et au niveau de l'extension de Guerouaou. Les niveaux de la salinité sont supérieurs à  $8 \text{ dS.m}^{-1}$ .

### **II.5.1.3. Classe 3 - Sols Calcimagnésiques**

Ces sols sont largement répandus dans la zone de Sebkhâ Benziane. Ce sont des sols qui se sont développées sur une roche mère riche en calcaire et sont caractérisés par un taux élevé en calcaire total et actif ainsi que par un encroutement calcaire de concrétions et d'amas de calcaire à une profondeur relativement faible.

Ce sont des sols bien drainés, peu profonds à profonds de texture fine et parfois argileuse.

- Sous-groupe des sols Calcimagnésiques modaux

Ils constituent la majorité de l'extension de Benziane et se trouvent dans la zone de Merjet Sidi Abed. Ce sont des sols bien drainés peu profonds selon le niveau d'accumulation de calcaire, ils ont une texture moyenne fine.

- Sous-groupe des sols Calcimagnésiques sur encroutement

Ces sols reposent sur des colluvions du Soltanien, Ils sont caractérisés par la présence, à une certaine profondeur, d'un encroutement calcaire. Le taux de calcaire actif et total sont élevés. Ces

sols forment le bourlet autour de la Sebkha Benziane, ils sont bien drainés et portent généralement les cultures céréalières.

- Sous-groupe des sols Calcimagnésiques-Vertiques

Ces sols occupent une très petite superficie à l'Est de l'extension de Sebkha Benziane. Ils sont caractérisés par une texture moyenne et une structure prismatique, ils sont relativement imperméables au niveau du sous-sol.

#### **II.5.1.4. Classe 4 - Sols isohumiques**

Ces sols sont presque identiques aux sols Calcimagnésiques, mais leur teneur en calcaire actif est inférieure dans les horizons superficiels. Ils sont généralement profonds avec des niveaux de concrétions et d'amas calcaire en profondeur, ils ont une texture moyenne et sont bien drainés. Ce sont des sols qu'on rencontre au niveau de l'extension de Benziane.

- Sous-groupe des sols isohumiques Modal

Ces sols sont profonds bien drainés, de texture moyenne à très fine, souvent avec des concrétions et d'amas de calcaires en profondeur. La teneur en calcaire total est d'environ 2 à 4 % en surface et peut atteindre 40% en profondeur.

- Sous-groupe des sols iso-humiques-vertiques

Comme les sols calcimagnésiques vertiques, ces sols n'occupent qu'une petite superficie au niveau de l'extension de Benziane.

#### **II.5.1.5. Classe 5 - sols hydromorphes**

Le facteur essentiel qui caractérise la formation des sols hydromorphes est l'action de la nappe phréatique et la formation des sols à gley et pseudo-gley au niveau des horizons inférieurs. Les pseudo-gley se présentent sous forme de taches ocre-rouille et de tache de manganèse. Par contre les sols à gley sont de couleur bleu et grise de fer réduit au niveau de l'horizon au contact de la nappe phréatique.

- Sous-groupe des sols hydromorphes à gley modaux

Ces sols sont rencontrés au niveau de H'madenaBourokba (à proximité de la station expérimentale de l'INRAA), ils sont profonds, mal drainés, de texture argileuse. Les sols à gley se trouvent à 60 cm de profondeur avec des taches de rouilles, c'est à ce niveau que les toits de la nappe phréatique (très salée) se rencontre. Ces sols présentent quelques efflorescences salines à la surface.

- Sous-groupe des sols hydromorphes à pseudo-gley halomorphes

Ces sols se rencontrent aussi au niveau de H'madenaBourokba, ils se distinguent des sols avec gley par trois facteurs :

- Absence de gley.
- Taux de salinité plus élevé.
- Présence d'une couche de texture plus légère en profondeur.

En générale, la texture de ces sols est argileuse sur ses horizons supérieurs avec une salinité de 2 à 4 dS.m<sup>-1</sup> en surface atteignant 8 dS.m<sup>-1</sup> en profondeur.

#### **II.5.1.6. Classe 6 - Sols Halomorphes**

C'est la classe des sols la plus répandue au niveau de la zone d'étude, ces sols sont généralement profonds, avec un mauvais ou imparfait drainage, ils sont souvent mal structurés en profondeur et comportent une pellicule poudreuse de sels de surface, ils sont également sodiques avec des niveaux de SAR supérieur à 15 %.

Les sols halomorphes au niveau de la zone d'étude ont été subdivisés en sous classe des sols à structure dégradée et à structure non dégradée qui se subdivisent à leur tour en sous-groupes :

- Sols Halomorphes à structure dégradée-Modaux

Ces sols sont rencontrés en petites superficies sur l'ensemble du périmètre et surtout au niveau de Merdjet Sidi AbeddeH'madna au Nord de oued Rhiou et au niveau de l'extension de Guerouaou. Ces sols sont généralement profonds sans indication d'hydromorphie.

Aussi, ces sols ont une faible perméabilité et sont difficiles pour les travaux du sol lorsqu'ils sont humides.

- Sols halomorphes à structure non dégradée-hydromorphes

Ces sols sont semblables aux sols halomorphes à structure dégradée-modaux, ils montrent un certain degré d'hydromorphie dans leur profil sous forme de pseudo-gley.

Ces sols occupent la majeure partie de la zone de Guerouaou et sont composé en général d'un horizon, à texture plus légère, sous-jacent à un horizon de texture plus lourde. Ce sont des sols assez profonds avec un mauvais drainage vertical et des taches rouille à une profondeur de 60 cm. Le niveau de salinité est souvent élevé et il peut atteindre une valeur de 30 à 40 dS.m<sup>-1</sup>.

- Sols halomorphes à structure dégradée-hydromorphes

Ces sols sont salins et alcalins à structure dégradée. Le profil à structure massive, une consistance extrêmement dure et des caractéristiques de gley avec une couleur « gris-bleu ».

Ces sols sont rencontrés au niveau de Merjet Sidi Abed de Guerouaou et aux abords de Sebkhia Benziane (La plaine située à sa partie Nord). Ce sont des argiles profondes mal drainées à structure polyédrique moyennement développée sous-jacente à une structure massive. Le niveau de salinité varie entre 12 et 21 dS.m<sup>-1</sup> avec une moyenne de 16 dS.m<sup>-1</sup> et est généralement uniforme sur l'ensemble du profil.

- Sols halomorphes à structure dégradée-vertiques et hydromorphes

Cette catégorie recouvre des sols profonds constitués principalement par les argiles, ils sont mal drainés montrant des traits d'hydromorphie avec présence de couches de gley sur le profil. La structure de ces sols est polyédrique à texture fine présentant des fentes superficielles et un microrelief accidenté.

Ces sols sont rencontrés à l'extension de Guerouaou (principalement vers la Gââ) et au niveau de Merdjet Sidi Abed. Ce sont des sols extrêmement salins mais pas alcalins, le niveau de salinité est élevé et peut atteindre les valeurs de  $30 \text{ dS.m}^{-1}$ .

Aussi, par endroits sont rencontrées de petites superficies de sols très dégradés « pseudo-sables » noirâtres, ces derniers se retrouvent sous forme de poudre noirâtre recouverte par une fine couche d'argile « croute de surface » peu dure et qui fend sous le pied laissant apparaître une couche spongieuse caractéristique des pseudo-sables.

#### **II.5.1.7. Classe 7 - Sols minéraux bruts**

Il s'agit des sols à profil A/C formés au dépend de matériaux apporté par l'eau, ils se rencontrent à proximité des lits d'Oueds du Cheliff et de Oued Rhiou. Ce sont des sols d'apport alluvial.

## **II.6. Caractéristiques chimiques**

### **II.6.1. Potentiel hydrogène ou pH eau**

En général, les valeurs du pH de l'eau sont légèrement alcalines elles varient de 7,2 à 7,9. Les taux les plus élevés du pH se trouvent dans les horizons inférieurs des sols calcimagnésiques et iso-humique associés avec les accumulations calcaires.

### **II.6.2. Carbonate de calcium**

Les niveaux du carbonate de calcium dans les sols du Bas Cheliff sont assez élevés sauf dans les sols peu évolués. Sur la majorité des sols de la région de Merdjet Sidi Abed et l'extension de Guerouaou, le niveau de  $\text{CaCO}_3$  varient entre 14 et 22 % avec un  $\text{CaCO}_3$  actif de 4 à 6,5 %. Sur les sols calcimagnésiques de Benziane et de Merdjet Sidi Abed, les niveaux de  $\text{CaCO}_3$  total se situent autour de 30 % et parfois en des zones locales elles dépassent 40 %.

### **II.6.3. Fertilité des sols**

L'étude de la bibliographie et des travaux menés sur la région révèle que la capacité d'échange cationique moyenne de la majorité des sols du Bas Cheliff varie de 17 à 25 meq.100g<sup>-1</sup> de sol, mais la CEC des sols peu évolués est plus basse et dépasse rarement 10 meq.100g<sup>-1</sup> de sol.

Le taux de matière organique est bas sur l'ensemble de la zone d'étude (< à 2 %) et les teneurs en azote sont aussi basses avec une teneur de moins de 0,09 %, le rapport C/N varie entre 8 et 10 au niveau de la couche superficielle et de 4 à 5 en profondeur.

Les taux de phosphore assimilable (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sur la plupart des sols du Bas Cheliff, sont compris entre 16 et 25 ppm, les teneurs sont les plus élevées au niveau des sols peu évolués (24 à 36 ppm) avec des valeurs plus faibles au niveau des horizons sous-jacent (< 9 ppm).

La teneur en potassium assimilable K<sub>2</sub>O est faible sur l'ensemble des sols du Bas Cheliff (< 0,2 meq.100g<sup>-1</sup> de sol), la teneur en calcium est souvent élevée (30 meq.100g<sup>-1</sup> de sol) ainsi que la teneur en Magnésium (> 4 meq.100g<sup>-1</sup>).

### **II.6.4. Le gypse**

La majorité des sols halomorphes de texture lourde constituant la plus grande partie de la plaine, sont gypsifères en profondeur où le pourcentage de gypse est inférieur à 5 %.

Quatre textures de sols sont rencontrées au niveau du Bas Cheliff

- La texture argileuse

Celle-ci concerne l'ensemble des classes de sols dont les vertisols, les sols hydromorphes, la majorité des sols halomorphes et les sols peu évolués qui se trouvent sur les berges de l'Oued. Ces sols ont un pourcentage d'argile d'environ 60% et un pourcentage de limon de 10 à 35 %.

Les sols halomorphes ont une structure non dégradée, ils sont caractérisés par une structure superficielle grumeleuse qui repose sur une structure moyenne polyédrique sub-angulaire faiblement à moyennement développée. Souvent le deuxième horizon est massif et dur.

Les sols halomorphes à structure dégradée saline et alcaline, lorsqu'ils ne sont pas massifs, présentent une structure fortement développée angulaire et prismatique en sous-sol, leur consistance est dure devenant très dure pour les couches superficielles et friable pour les couches en profondeur.

- La texture fine

Les sols peu évolués souvent hydromorphiques et halomorphiques, ainsi que les sols halomorphes ont une texture limono-argileuse à argilo-limoneuse avec des taux de limon et d'argile de 90%. Ils ont une structure polyédrique sub-angulaire.

- La texture équilibrée

Les sols situés au bord de l'Oued Cheliff (généralement des sols peu évolués, modaux halomorphes et hydromorphes) ont une texture équilibrée avec environ 20% d'argile et 50 à 60% de limon et souvent un horizon sableux (sable fine). Leur structure est polyédrique sub-angulaire en surface, massive et humide en dessous.

Les sols calcimagnésiques et iso-humiques ont une structure équilibrée parfois lourde. Ils présentent une structure superficielle granuleuse, leur consistance est légèrement dure l'ensemble du profil.

- La texture grossière

Cette texture concerne les sols peu évolués modaux, formés de sables, souvent caillouteux. Ces sols se trouvent sur les basses terrasses et sur les rives des oueds.

## **II.6.5. Conductivité hydraulique**

Les sols calcimagnésiques et isohumiques sont tous bien drainés et présentent une conductivité hydraulique moyenne de 0,65 à 1,27 mm.h<sup>-1</sup>.

Les sols peu évolués halomorphes, les sols hydromorphes à structure dégradée ont une conductivité hydraulique faible de l'ordre de 0,27 mm.h<sup>-1</sup>.

Les sols peu évolués hydromorphes et sols halomorphes modaux à structure non dégradée ont une conductivité variant de 0,06 à 1,27 mm.h<sup>-1</sup>.

Les sols peu évolués modaux et sols halomorphes à structure non dégradée hydromorphes ont une conductivité hydraulique lente à moyenne et varie entre 0,3 et 1,27 mm.h<sup>-1</sup>.

### **II.6.6. Densité apparente**

La densité apparente en surface des sols du Bas Cheliff varie entre 1,15 et 1,40 à l'exception de ceux de l'extension de Gueroua où la densité varie entre 1,56 et 1,49.

### **II.6.7. Synthèse sur l'état des sols dans le Bas Cheliff**

A priori, les facteurs initiaux de la salinisation des sols de la plaine du Bas Cheliff sont relatifs à la nature des argiles marneuses de formation Helvetienne, Tortonnaïenne et sahélienne qui entourent la plaine et qui constituent les sources primaires de salinisation. Ces formations géologiques marneuses fortement érodées par les eaux de crues des versants de la zone étudiée, constituent les matériaux de base des sols de la plaine (Figure 4).

Ces matériaux emportés par les petits ruisseaux et oueds se déposent sur les couches d'évaporites formées lors de la période estivale, ainsi l'on se retrouve avec une superposition de couches favorisant la formation des sols salés.

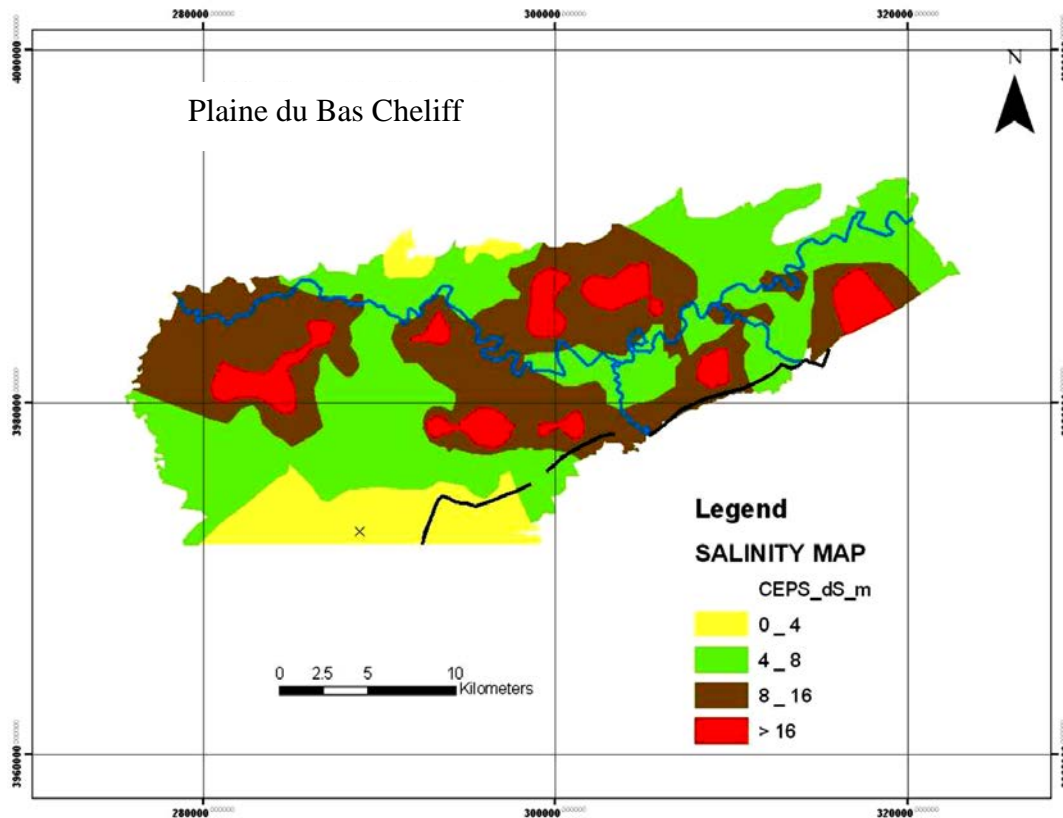


Figure 4– Carte d’isovaleurs de la salinité des sols de la plaine du Bas Cheliff (INSID, 2008)

Derrière le massif calcaire de l’Ouarsenis sont rencontrés des formations géologiques du Trias du pliocène avec des intercalations de gypse à partir desquels déposer en partie dans les sols du Bas Cheliff.

Les versants du Dahra qui dominent la plaine au Nord d’une orientation est-ouest et datant du quaternaire et du Pliocène sont aussi source de salinisation. Au niveau de Merdjet Sidi Abed, Djdiouia et la région du piémont du massif du Dahra, la nappe phréatique se trouve à une profondeur de 1,5 à 2 mètre avec un taux de salinité assez fort.

Les sols sont irrigués à partir des eaux des Oueds Rhiou, Cheliff et Djdiouia qui ont une forte minéralisation présentant ainsi un faciès chimique chloruré sodique. Les doses d’irrigation mises en jeu ne sont pas gérées d’une manière optimisée. De ce fait, le degré avancé de dégradation dans lequel se trouvent la majorité des sols est la conséquence de la combinaison d’une multitude de facteurs relatifs à l’homme et à l’environnement.

# **Deuxième partie – Etude Expérimentale**

# **Chapitre III – Matériels et Méthodes**

### III.1. Site expérimental

Le travail expérimental était réalisé à la station de l'INRAA située à Hmadena dans la wilaya de Relizane à environ 70 km de la ville de Mostaganem. Cette station expérimentale est caractérisée par des sols à texture argileuse et très salés. Le site d'étude est localisé (Fig. 5), en plein milieu de la station à proximité d'un bassin d'accumulation de l'eau d'irrigation. Comme la station de l'INRAA est réservée à la recherche agronomique, plusieurs expérimentations sont conduites aux alentours du site d'étude. On peut citer l'exemple de 6 parcelles conduites dans le cadre d'un projet Algéro-chinois sur la mise en valeur des sols salés.

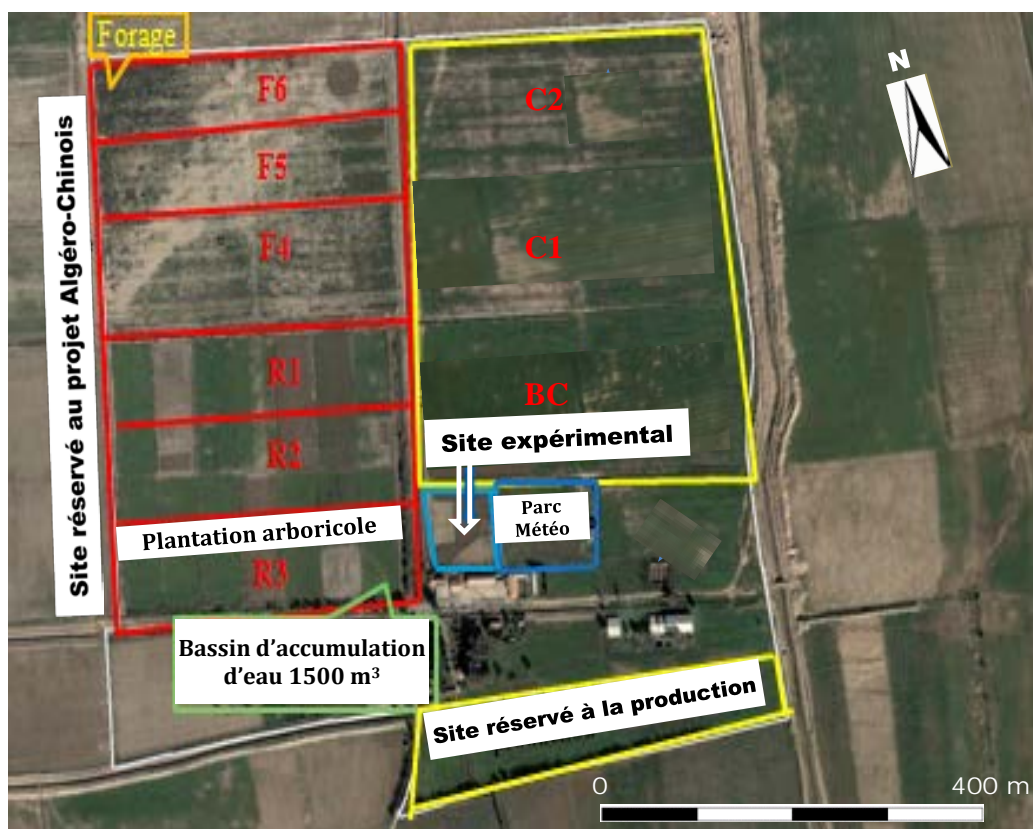


Figure 5 - Plan de localisation du site d'étude

## III.2. Matériel d'étude

### III.2.1. Tarière

Le prélèvement des échantillons de sol est effectué manuellement à l'aide d'une tarière ordinaire (Fig. 6).



Figure 6– Prélèvement d'un échantillon de sol par la tarière

### III.2.2. Broyeur

Après le séchage à l'air libre, on passe les échantillons dans un broyeur électrique afin d'obtenir un substrat homogène de 2 mm de diamètre (Fig. 7).



Figure 7 – Broyeur électrique

## **III.3. Méthodes d'étude**

### **III.3.1. Echantillonnage**

L'échantillonnage du sol a été effectué à partir de 7 points différents au milieu des parcelles de la station expérimentale de l'INRAA. Les parcelles concernées sont (Fig. 8) : la F6 cultivée et située dans le lot réservé au projet Algéro-Chinois et les BC, C1 et C2 situées toutes les trois dans le site expérimental et non travaillées. Les échantillons de sol sont pris sur tout le profil sur une profondeur de 40 cm. Chaque échantillon, d'environ 1,5 Kg, a été prélevé à partir de trois horizons : 0-10 et 20 cm de profondeur).

### **III.3.2 Méthodes d'analyses**

#### **III.3.2.1. Analyses chimiques du sol**

##### **III.3.2.1.1. Préparation de l'extrait de pate saturé**

Cette méthode d'analyse au laboratoire consiste à peser 200 g de sol tamisé à 2 mm puis saturer avec l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'une pâte de surface brillante et lisse qui se détache facilement de la spatule (Fig.8). Après avoir fait un sillon à travers la pâte, il ne doit pas y avoir d'eau libre. Ce sillon se ferme au bout de dix coups. Couvrir les récipients (cristallisoirs) et laisser reposer une nuit. Transférer la pâte dans les godets de la centrifugeuse. Récupérer la solution extraite en s'aidant d'une pipette.



Figure 08 - préparation de la pâte saturée

#### **III.3.2.1.2. Préparation de l'extrait aqueux dilué 1/5**

Cette méthode permet de réduire énormément le temps nécessaire pour la réalisation des analyses. Peser 5 g du sol tamisé à 2 mm et les transférer dans un bêcher. Ajouter 25 ml de l'eau distillée. Agiter pendant 2 heures et laisser reposer pendant 1 nuit. Filtrer la suspension, si le filtrat est trouble recommencer la filtration.

#### **III.3.2.1.3. Conductivité électrique CE**

La conductivité électrique est une méthode de laboratoire pratiquée pour déterminer la salinité totale d'un sol. La mesure de la CE est réalisée à l'aide d'un conductimètre de pailleuse sur l'extrait de pate saturée.

#### **III.3.2.1.4. pH**

La mesure du pH est effectuée à l'aide d'un pH-mètre avec électrode sur l'extrait de pâte saturée du sol. Mesurer le pH de l'échantillon, mesurer la température de la solution et afficher sur l'appareil. Rincer l'électrode avec la solution de l'échantillon, mesurer le pH puis noter la donnée quand l'appareil s'est stabilisé.

#### **III.3.2.1.5. Dosage du sodium et du potassium**

Dosage au spectrophotomètre après la préparation des solutions étalons et le traitement de l'extrait de pate saturée à l'aide d'une solution de Césium/Aluminium.

### III.3.2.1.6. Dosage des carbonates et bicarbonates

Les carbonates et les bicarbonates sont dosés sur la même aliquote. À partir de la solution de dosage des carbonates (à pH= 8,4), on neutralise à l'aide d'une solution acide jusqu'à atteindre un pH de 4 contrôlé au pH-mètre, où tous les bicarbonates sont neutralisés.

### III.3.2.1.7. Dosage des chlorures

L'ion argent réagit préférentiellement avec l'ion chlorure et précipite sous forme de chlorure d'argent :

$$\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} \text{ (précipité blanc).}$$

Lorsque tous les chlorures ont été précipités, l'argent va réagir avec l'ion chromate et former un précipité rouge qui marque la fin de la réaction.



### III.3.2.1.8. Dosage des sulfates

✓ Principe

L'ion sulfate  $\text{SO}_4^{-2}$  réagit avec l'ion baryum pour former un précipité de sulfate de baryum :  $\text{SO}_4^{-2} + \text{BaCl}_2 \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2 \text{Cl}^-$ . Le précipité est maintenu en suspension grâce à une solution de gomme d'acacia. La densité optique de la solution à 600 nm est une mesure de la quantité de sulfates présents dans la solution.

### III.3.2.1.9. Dosage du calcium et magnésium

Après préparation, les échantillons mis dans des tubes à essai, sont soumis à une solution de lanthane avant d'être doser au spectrophotomètre.

### III.3.2.1.10. Capacité d'échange cationique C.E.C

Comme les sols étudiés sont salés, nous avons utilisé la méthode de Bower.

### III.3.2.1.11. SAR « Sodium Adsorption Ration»

Le SAR est un paramètre fondamental d'indication du risque de sodisation du milieu. Le SAR est calculé selon l'expression suivante :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

avec  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  en concentration soluble dans la solution du sol

### III.3.2.1.12. Taux de sodium échangeable (ESP)

L'EPS représente la concentration en sodium  $\text{Na}^+$  échangeable (exprimée en méq.100g<sup>-1</sup>) par rapport à la capacité d'échange cationique (CEC) du sol, il est calculé selon l'expression suivante :

$$\text{ESP \%} = (\text{Na}^+/\text{CEC}) 100.$$

## III.3.2.2. Analyses physiques du sol

### III.3.2.2.1. Stabilité structurale (méthode Le Bissonnais)

Les échantillons de sol sont soumis à une humectation rapide par immersion. Cet essai permet de tester le comportement des matériaux à l'humectation brutale.

### III.3.2.2.2. Conductivité Hydraulique saturée

Par la méthode de Müntz en utilisant le test de perméabilité par double anneaux.



Figure 09 - Infiltromètre à double anneaux de Müntz

# **Chapitre IV – Résultats et discussions**

## IV.1. Analyses chimiques du sol

### IV.1.1. Conductivité électrique (CE)

D'après la Fig. 10, la salinité totale de la solution du sol augmente avec la profondeur pour tous les traitements. Pour le sol travaillé, la conductivité électrique varie entre 4 à 12  $\text{ds.m}^{-1}$ , ce qui démontre que la salinisation affecte les trois horizons. Les différentes doses d'amendements en gypse montrent une différence très faible en salinité totale.

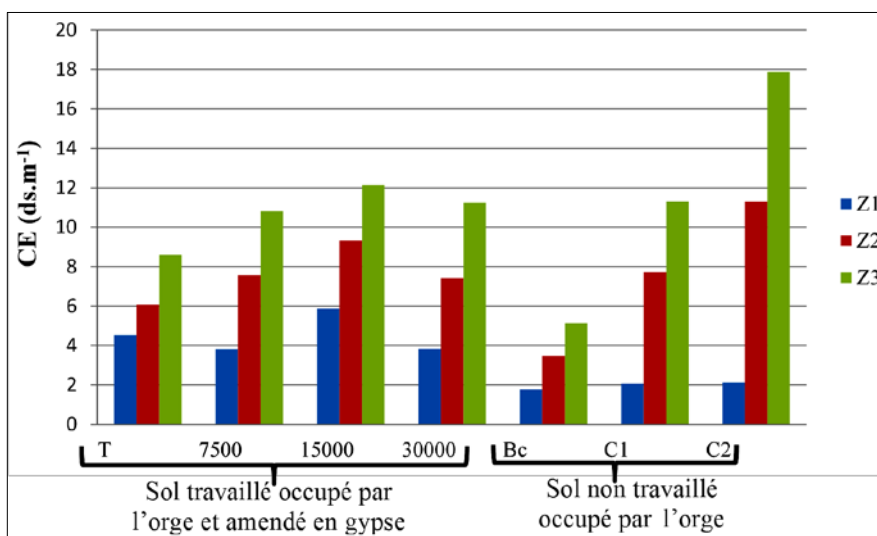


Figure 10 - Variations de la CE en fonction de l'usage du sol et des horizons  $Z_1$ ,  $Z_2$  et  $Z_3$

Le sol non travaillé est moins soumis au phénomène de salinisation particulièrement pour la couche superficielle. Néanmoins, les horizons intermédiaires et inférieurs sont salés particulièrement pour la couche inférieure du profil  $C_2$ .

## IV.1.2. pH

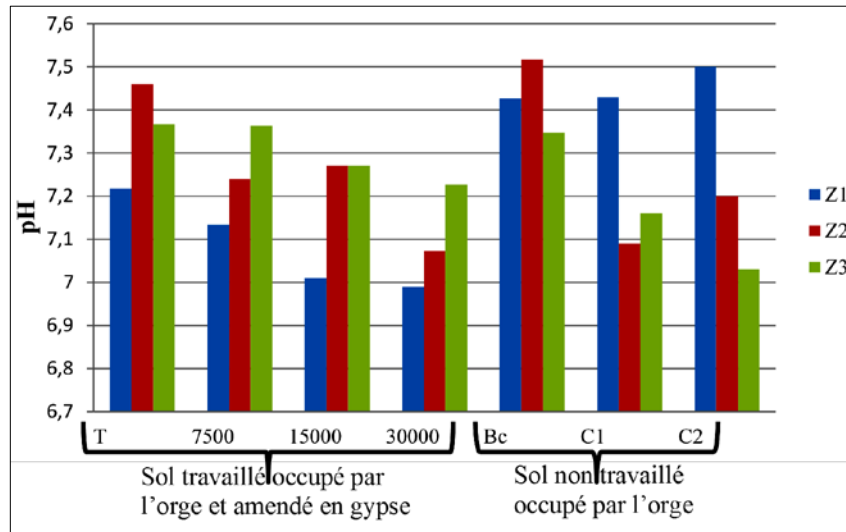


Figure 11 - Variations de pH en fonction de l'usage du sol et des horizons Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> et Z<sub>3</sub>

La Fig. 11 montre que le pH du sol travaillé est proche de l'état neutre, il varie entre 7 à 7,45. Dans ce cas le pH augmente en allant de la couche superficielle vers la couche inférieure.

Pour le sol non travaillé, les valeurs de pH se situent dans la même gamme (de 7 à 7,5), néanmoins ces valeurs semblent diminuer de la couche superficielle vers les couches inférieures.

## IV.1.3. CEC

Les résultats de la capacité d'échange cationique (Fig. 12), montre que ce paramètre varie très faiblement dans le sol travaillé entre les horizons. En effet, les valeurs de la CEC dans ce cas, ne semblent pas affectées par l'amendement du gypse.

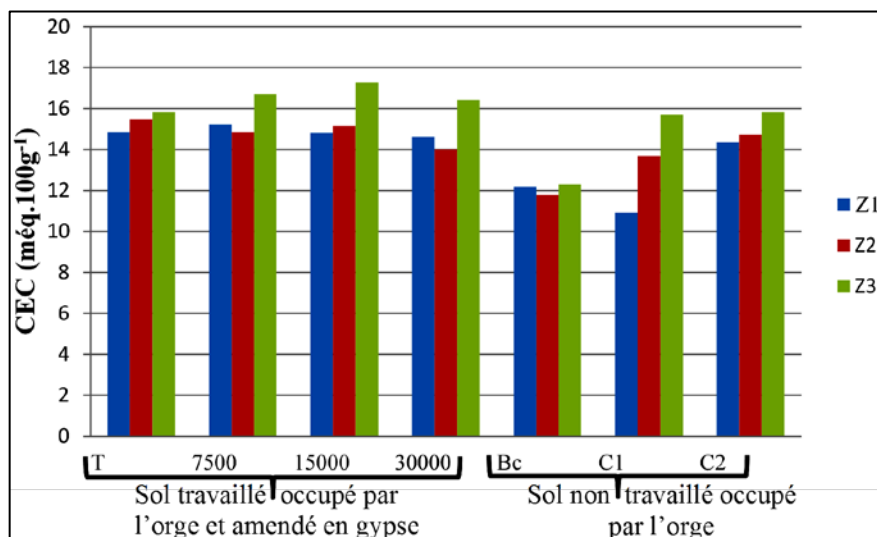


Figure 12 - Variations de la CEC en fonction de l'usage du sol et des horizons Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> et Z<sub>3</sub>

Pour le sol non travaillé, la capacité d'échange cationique est relativement faible pour le profil BC par rapport aux profils C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>. Les variations entre les horizons apparaissent insignifiantes à l'exception du profil C<sub>1</sub> où la capacité d'échange cationique augmente de l'horizon superficiel à l'horizon inférieur.

#### IV.1.4. SAR

La Fig. 13 indique que les valeurs du SAR dans le sol travaillé n'ont pas encore atteint le seuil de dégradation physique du sol. Dans ce cas de figure, de faibles valeurs sont enregistrées pour les horizons superficiels. L'effet de l'ajout de gypse ne semble pas affecter les valeurs du SAR à l'exception de l'horizon de surface pour la dose de 30000 kg.ha<sup>-1</sup>.

Pour le sol non travaillé, les valeurs du SAR sont relativement beaucoup plus faibles par rapport au sol travaillé, particulièrement pour le profil BC. Dans ce cas, l'évolution du SAR montre que les profils du sol sont assez stables. Il est important de noter que le SAR augmente de l'horizon superficiel à l'horizon inférieur.

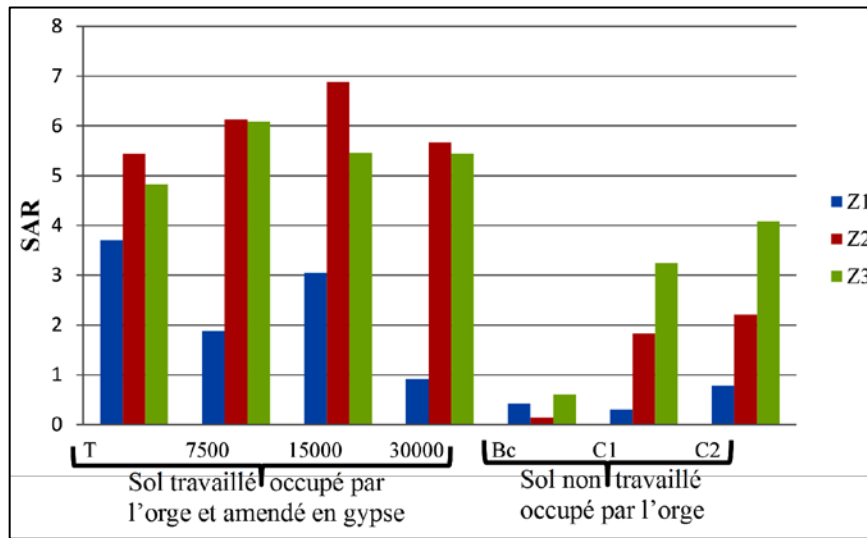


Figure 13 - Variations de SAR en fonction de l'usage du sol et des horizons  $Z_1$ ,  $Z_2$  et  $Z_3$

## IV.1.5. Bilans ioniques

### IV.1.5.1. Cations

Dans le sol travaillé, l'ajout de gypse entraîne une légère augmentation des concentrations pour les quatre éléments dosés par rapport au témoin. Néanmoins, les doses croissantes de gypse ne semblent pas affecter les concentrations en Ca, K et Na. Seule la concentration de Na a diminué à 30000  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  par rapport aux autres doses. Les proportions en Na et en Ca sont relativement équivalentes.

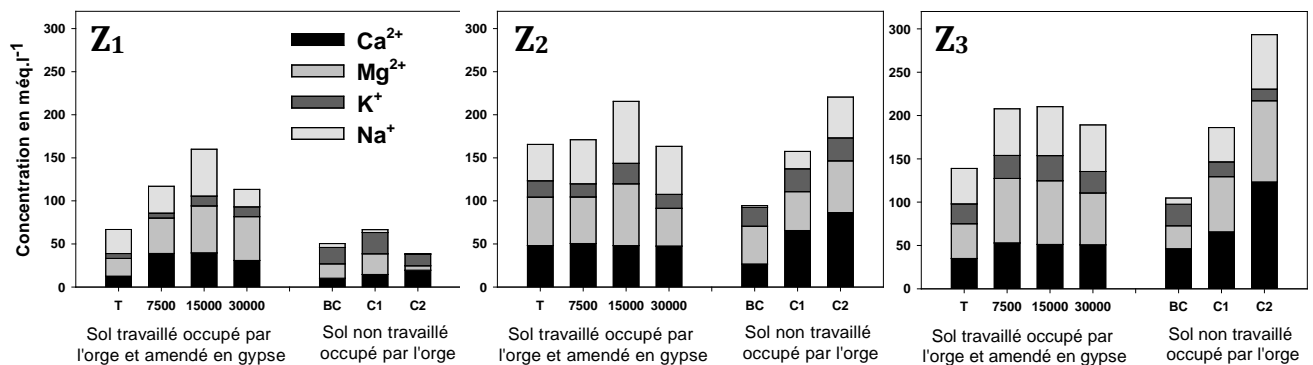


Figure 14 - Bilan cationique en fonction de la dose de gypse en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  et de l'usage du sol pour les trois horizons, supérieur  $Z_1$ , intermédiaire  $Z_2$  et inférieur  $Z_3$ .

Pour les sols non travaillés, la concentration des éléments augmente du sol BC vers le sol C2. Dans ce cas, la proportion en Ca est plus importante que celle du Na.

#### IV.1.5.2. Anions

Les résultats du bilan anionique (Fig. 15), montrent dans tous les cas, une dominance en concentration de l'anion chlorure. Pour le sol travaillé, la concentration de  $\text{Cl}^-$  augmente respectivement pour les traitements de 7500 et 15000  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  et diminue à 30000  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Pour les sols non travaillés, la concentration en  $\text{Cl}^-$  augmente fortement de C<sub>1</sub> à C<sub>2</sub>.

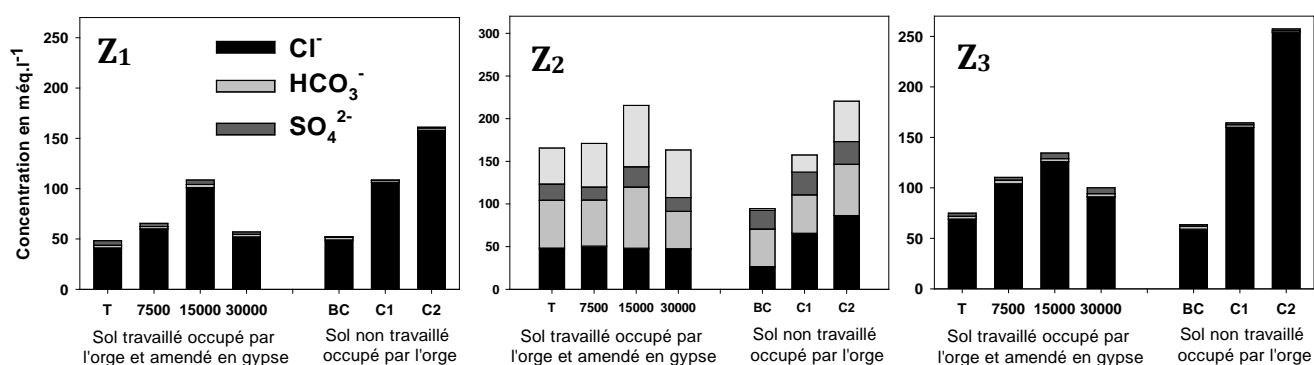


Figure 15 - Bilan anionique en fonction de la dose de gypse en  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  et de l'usage du sol pour les trois horizons, supérieur Z<sub>1</sub>, intermédiaire Z<sub>2</sub> et inférieur Z<sub>3</sub>.

## IV.2. Analyses physiques du sol

### IV.2.1. Stabilité structurale

La Fig. 16 montre que le sol travaillé enregistre un état de stabilité variant de l'instabilité à la stabilité moyenne. Les doses de gypse ne semblent pas influencer l'état de stabilité structurale du sol.

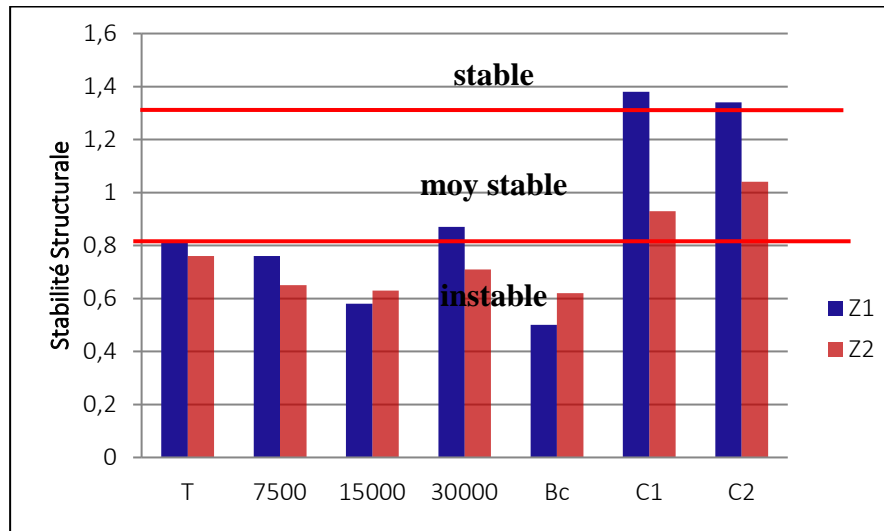


Figure 16 - Variations de la stabilité structurale en fonction de l'usage du sol et des horizons Z<sub>1</sub> et Z<sub>2</sub>

Néanmoins, une faible amélioration est observée pour la dose de 30 000 kg.ha<sup>-1</sup> particulièrement pour l'horizon de surface Z<sub>1</sub>. Le trait horizontal de couleur brique, marque le seuil de passage de l'état stable à l'état instable.

Pour le sol non travaillé, l'état du profil varie entre la structure moyennement stable à stable pour les profils C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>. Dans ce cas les horizons superficiels sont plus stables que les horizons inférieurs. Le profil BC enregistre l'état de stabilité le plus instable.

#### IV.2.2. Infiltration (conductivité hydraulique saturée)

Les résultats de l'infiltration cumulée obtenue par la méthode du double anneau de Müntz (Fig. 17), montre que pour les deux sols travaillé (a) et non travaillé (b), la conductivité hydraulique saturée du sol est moyenne. Ce qui veut dire que dans les deux cas de figure, la structure n'est pas dégradée. Néanmoins, il est important de noter que pour un temps donné, les volumes d'eau infiltrés pour le sol travaillé sont plus importants par rapport au sol non travaillé.

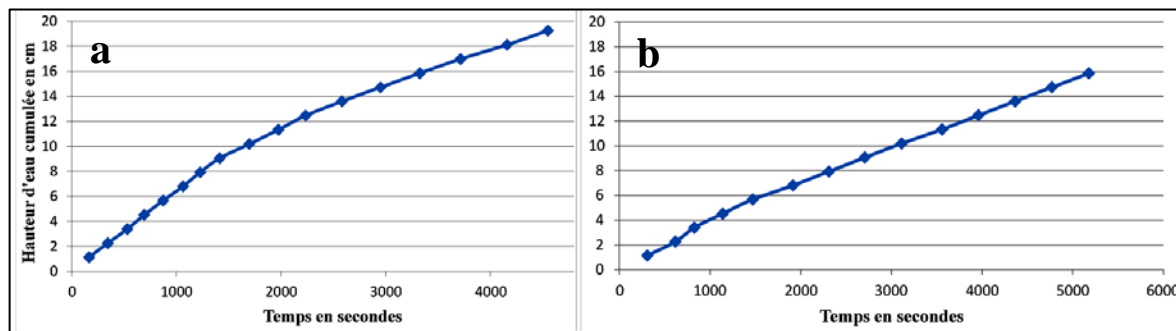


Figure 17 -Infiltration cumulée en fonction du temps, (a) :sol travaillé occupé par l'orge et amendé en gypse, (b) : sol non travaillé occupé par l'orge

## Conclusion

Pour conclure ce travail, il est important de rappeler que les sols étudiés dans le présent travail sont salés et sont caractérisés à l'aide de plusieurs paramètres physiques et chimiques en fonction de leurs usages et à travers tous les horizons que constituent leurs profils. Le premier sol est anthropisé mais il est aussi soumis à un aménagement (amendement en gypse avec quatre doses) en vue d'améliorer ses propriétés vis-à-vis de la salinité et la sodicité. Les trois seconds sols n'ont pas été travaillés et peuvent être considérés comme des témoins par rapport à l'action anthropique.

Les résultats de cette étude montre que :

- Dans tous les cas les sols sont affectés par une salinisation à profil ascendant, c'est-à-dire que la salinité est toujours plus importante dans les horizons profonds par rapport à l'horizon de surface.
- Le sol travaillé est affecté beaucoup plus intensément par la salinité et la sodicité que les sols non travaillés.
- Le comportement du sol travaillé est beaucoup plus influencé par son usage. De ce fait, le phénomène de salinisation/sodisation est favorisé par l'action anthropique malgré qu'il soit soumis à un amendement calcique sensé améliorer son état.

– Le comportement des sols non travaillé est lié principalement à leurs propriétés originelles, les sols C1 et C2 semblent les plus stables et le plus résistants au phénomène de salinisation. Dans ce cas, il est suggéré d’approfondir la comparaison entre les trois sols en termes de caractérisation mais aussi d’historique pour comprendre les causes du comportement du sol BC vis-à-vis de la salinité et de la sodicité.

– L’amendement gypseux préconisé, dans le cadre du projet Algéro-chinois, pour atténuer les effets de la salinité et de la sodicité sur les propriétés du sol travaillé, n’a pas abouti aux objectifs escomptés. Notre analyse des résultats montre que les doses utilisées entre 1500 et 30 000 kg.ha<sup>-1</sup> sont faibles étant donné que seule la dernière dose de 30 000 kg.ha<sup>-1</sup> commence à montrer des signes d’amélioration de la structure du sol. Dans ce cas de figure, un recentrage des doses de gypse est nécessaire pour escompter améliorer l’état physique de ces sols. Pour cela, la dose de 30 000 kg.ha<sup>-1</sup> devra être la plus faible par rapport au témoin.

– Les indicateurs de l’état physique du sol les plus pertinents par ordre d’importance et adaptés au site étudié sont : la stabilité structure (Le Bissonnais), l’ESP, la CEeps, le SAR et le bilan ionique.

## Références bibliographiques

- ABDELLY. C, ÖZTÜRK. M, ASHARF. M et GRIGNON, C. (2008) :** Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance. (Eds) Birkhäuser Verlag/L Swizerland, 367 P.102 illus.
- Agency for international development 1962:** food production and nutrition; soil fertility, fertilizers, and plant nutrition.
- ALARCON, J.J., SANCHEZ-BLANCO, M.J., BOLARIN, M.J. et TORRECILLAS, A. (1994)** : Growth osmotic adjustment of two tomato cultivars during and after saline stress. *Plant soil*, Vol.66:75-82.
- ANTIPOLIS S, 2003 :** Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. *PNEU*, N°2. PP 44-45. 80 P. ISBN : 2-912081-13-0.
- ASLOUM H., 1990 :** Elaboration d'un système de production maraichère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtre. Thèse de doctorat. Développement et amélioration des végétaux. Université de Nice Sophia-Antipolis. 24-32.
- AUBERT G., 1975 :** les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annale de l'INA*, Algerer, pp 185-195.
- AUBERT G., 1978 :** Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annales de l'I.N.A El- Harrach*, Vol VI, N° 1: 195.
- AUBERT G., 1988 :** Les sols salés et leur mise en valeur. Séminaire National, sur la fertilisation, Chélif Algérie.
- BARTELS D et NELSON D, 1994 :** Approache to improve stress tolerance using molecular genetics. *Plant Cell Environ.* 17: P 659-667.

- BELKHODJA M, BIDAI Y** , 2001 :Répence des graines d’Atriplex halimus L. à la salinité au stade de la germination. Laboratoire de physiologie Végétale ? Faculté des science, Université Senia, 31 oran ,Algerie.
- BELKHODJA M, BIDAI Y** , 2001 :Répence des graines d’Atriplex halimus L. à la salinité au stade de la germination. Laboratoire de physiologie Végétale ? Faculté des science, Université Senia, 31 oran ,Algerie.
- BELKHOUCHE H**, 1992: Etude de la germination de quelques lignées de pois chiche soumis à la salinité, croissance, anatomie des racines. Thèse D.E.S Biol. Université d’Oran. 68 P.
- BEN AHMED H, ZID E, EL GAZZAH M et GRIGNON C.**, 1996 : Repense des grains d’Atriplex halimus L à la salinité au stade germination. Laboratoire de physiologie végétale, Faculté des sciences, Université de Senia, 31 Oran, Algerie.
- BEN AHMED, H.**, MANAA, A. et ZID, E., 2008 : Tolérance à la salinité d’une poaceae à cycle court : la séttaire (*Setaria verticillata* L). Compte rendus biologiques, Vol .331 : 164-170.
- BEN NACEUR, M.**, RAHMOUNE, C.,SDIRI, H.,MEDDAHI., M. et SELMI, M., 2001 : Effet de stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés Maghrébines de blé. Secheresse .Vol.3, 167- 174.
- BENZAHI F.**, 1990 : Caractérisation de la matière organique dans les sols salés de Relizane. Mémoire, Ing, Agro, INES Tiaret, 84 pages.
- BOUAOUINA S.**, ZID Eet HAJJI M, 2000 : Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*triticum turgidum* L) CIHEAM- Options Méditerranéennes. PP 239-2.
- BOUCAUD J.**, 1972 :Caractéristiques écophysiologicals et aspects particuliers du métabolisme azoté de deux écotypes de *Suaeda znaritinia* (L.) Dum. (*S. m. inacrocnrpu* Moq. et *S. m. flexilis* Focke) en relation avec leur halophilie. Thèse de Doctorat d’É tat. Université de Caen, 207 p.

- BOUGHALAGH J, BERRICHI A, EL HALOUANI H et BOUKROUTE A, 2006 :** Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines de jojoba (*Simmondsiachinensis* « link » schneider). Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Settat, Maroc, P 24.
- BOULAINÉ, 1957 :** Etude des sols les plaines du Cheliff. Thèse d'Etat. Univ d'Alger.
- BOYER J S., 1982 :** Plant productivity and environment. Science 218 :443-448.
- CALVET R., 2003 :** Le sol, propriété et fonction, phénomène physique et chimique. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 P.
- CHAIBI COUSSENTINI W., 1995 :** **Etude physiologique ultra structurale et cyto enzymologique de l'effet du chlorure de sodium chez *Medicagosativa L* (cultivar de gabes).** Thèse de doctorat, Faculté des Science de Tunis, 224 .P
- CHERBUY B., 1991 :** Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Rome, 170P.
- CHEVERRY C., 1995 :** Comportement des plantes en milieu sale compte rendu de l'ACAD d'ARGRIC de France. Action N°4. Revue. Bimestrielle. Vol. 81 (2) : 42-46.
- DEBEZ, A., CHAIBI, W. et BOUZID, S. (2001) :** Effet de NaCl et de régulateur de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus L.* Cahiers d'Etudes et de recherches Francophones/Agriculture, Vol. 10, N°2 : 135-138.
- DELLAL A., 1994 :** Réactivité physico-chimique, fonctionnement physiologique et microbiologique en conditions salines. Thèse d'Etat, Rennes. 223 pages.
- DEMELON A., 1966 :** Dynamique du sol. Tome 1. 5 ème Ed. Dund. Paris, 520 p.
- DERDOUR H., 1981 :** Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le comportement au compactage. Thèse Magistère INA, Alger, 146 p.
- DOMMERGUES et MANGENOT., 1970 :** écologie microbienne. Edition Masson, paris, PP 19-24.

- DUCHAUFOR P .,** 1977 : Pédologie. Pédogenèse et classification. Tome 1, Ed, Masson, Paris, 477 p.
- DUCHAUFOR P.H.,** 1983 : Pédologie. Pédogenèse et classification T1. Ed Masson, p467 -483.
- DURAND J.H.,** 1958 : Les sols irrigables. Etude pédologique. Alger. 190 pages
- DURAND, JH.** (1983) : les sols irrigables. Presses universitaires de France Paris, 322 P.
- DUTHIL J., 1973** : Elément d'écologie et d'agronomie. Tome II. Exploitation et amélioration du milieu. Ed.J.B. Baillièrè. Paris. 265p.
- DUTIL P., 1971** : Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara ; Thèse d'état. Strasbourg. 346 P.
- ECHEVARRIA G.** Salinisation des sols: processus, causes, effets et gestion des sols salés. Module "ressources agriculture environnement". INRA.
- EPSTIEN.E, NORLYN. J D, RUSH. D W, KINGSBURY. R W, KELLY. D B, CUNNINGHAM. G A.** et WRONA, A F. (1980): Saline culture of corps : a genetic approach. Science 210. 399-404.
- EPSTIEN.E, NORLYN. J D, RUSH. D W, KINGSBURY. R W, KELLY. D B, CUNNINGHAM. G A.** et WRONA, A F. (1980): Saline culture of corps : a genetic approach. Science 210. 399-404.
- FAO,** 1984 : Prognosis of salinity and alkanity.FAO soil Bulletin 31, 268 P.
- FLOWERS JT, SALAM FM et YEO AR,** (1988): water use efficiency in rice (oryza sativa L) in relation to resistance to salinity. Plant Cell and Envirenement 11: 453-459.
- FLOWERS JT.,** 2004 : Improving crop salt tolerance, J. Exp, Bot, 55: P 307-319.
- GALLILI Th.,** 1980 : Transfert sels - matière organique en zones arides méditerranéennes. Univ. Nancy INPL.
- GAUCHER, G.** et BURDIN. (1974) : Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés, presses, presses Université de France. 230 P.

- GIRARD, P.**, PROST, J. et BASSEREAU, P. (2005). Passive or Active Fluctuation in Membranes Containing Proteins. *phys. Rev. Lett.* 94, 088102 :60-64.
- GRAVOT A.** (2007): Repenses aux stress chez les végétaux. Présentation power point.
- GRAVOT A.** (2008) : le stress chez les végétaux. Cours de biologie végétale. 20 P.
- GROUZIS, M.**, BERGER, A. et HEIM, G. (1976) : Polymorphisme et germination des grins chez trois espèces annuelles du genre *salicornia*. *Oecol. Plant.* 11(1) :41-52.
- GUPTA, I. C.** et **ABROI, P.** (1990) : Saale affected soil the irreclamation and management for crop production.
- HALITIM A.**, 1985 : Contribution de l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sols dans la genèse et le comportement des sols. Thèse. Doc. Univ. Rennes. PP : 1-183.
- HALITIM A.**, 1988 : Sols des régions arides d'Algérie. Office de Publication Universitaires, Alger:39-40.
- HALITIM.**, 1973 : Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie. Thèse Doc. U.E.R des sciences biologiques.
- HAMDY, A.**, LIETH, H. et MEZHER, Z. (1995): Halophyte performance under high salinity levels: an overview saline irrigation, halophyte production and utilization. *roject. N° IG. 18.CT.96.55:20-58.*
- HAMZA, M.** (1977) : Action de différents apports de chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses (*Phasolus vulgaris*) sensible et (*Hedysarum curnosum*) tolérante, relation hydrique et ionique. Thèse de doctorat. Univ Paris VII.
- HAOUALA, F.**, FERJANI, H. et BEN EL-HADJ, (2007) : Effet de la salinité sur la répartition des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{k}^+$  et  $\text{Ca}^+$ ) et de chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) dans les parties aériennes et les racines ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie. Agronomie. Société et Environnement.* Vol .11. N° .3 : 235-244.

- HASAN A.M.**, 1995 : الأساس الفزيولوجي للتحسين الوراثي في النبات. التربة لزيادة الكفاءة الانتاجية و تحمل الظروف البيئية القاسية الأكاديمية القاهرة 169-170 المكتبة
- HENIN S.**, et all., 1969.- LE PROFIL CULTURAL. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Edition Masson et Cie. 332 pages.
- HOPKINS, W.G.**, 2003 : Physiologie végétale. 2<sup>ème</sup> édition De Boeck, Bruscelles : 61-476.
- KABAR K.**, 1986 : Alleviation of salinity stress by growth regulators on seed germination. Jour.Plant physio. 159 : 313-317.
- KOVDA et SAMOILOVA.**, 1969 : Tolérance des plantes aux sels en solution dans l'eau d'irrigation et dans le sol. SCETICGR, 10 p.
- LACHIHEB, K.**, NEFFATI, M. et ZID, E. (2004) : Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale. Option Méditerranéennes. 62 :89-93.
- LARHER, F.**, HUQIS, M. et GERNAT-SAUUGE, D. (1987) : Les colloques d'INRA.N° 7.nutrition azotée des légumineuses. P.GUY.Ed INRA : 181-192.
- LEGROS J.P.**, 2007 : Les grands sols du Monde. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes ,574 p.
- LEVEGNERON, A.**, LOPEZ, F., VANSUYT, G., BERTHOMIEU, P., FOURCROY, P.et CASSE-DELBART, F. (1995) : Les plantes face au stress salin. Cahiers Agriculture.4(4).263-273.
- M'BAREK B.**, CHAABANE R, SDIRI H ML et SELMI M., (2001) : Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Inst Nati de Agro de Tunisie. Séchresse Volume 12, Numéro 3, 167-174.
- MAALEM,S.** et RAHMOUNE, C.(2009): Toxicity of the salt and pericarp inhibition in the germination of some Atriplex species. American-Eurasian Journal of Toxicology Science. Vol.1.N°2. PP43-49.
- MAILLARD J.**, 2001 : Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34P.

- MAINGUET M.**, 2003 : Les pays secs environnement et développement. Ellipses, Paris : 27-28.
- MARC L.**, 2001 : Le contrôle de la salinité dans les rizières, Mémento Technique de Riziculture, p 6-12.
- MARIH R.**, 1991 et **DAOUD (1978)** : Répartition saisonnière et spatiale de la salinité au niveau de la station I.N.R.A de HAMADENA (RELIZANE). Mémoire, ing agro, INES Tiaret, 32 pages.
- MERMOUD A.**, 2006 : Cours de physique du sol. Maitrise de la salinité des sols. PP23.Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.
- MEZNI, M.**, **ALBOUCHI, A.**, **BIZID, E.**, et **HAMZA, M.** (2002) : l'effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (Medicagosativa ). Agronomie. 22 : 283-291.
- MUNNS R.**, 2002: Comparative physiology of salt and water stress. Plant cell and environnement , Vol .25: 239-250.
- MUNNS, R.** , **JEMES, R.A.** et **LAUCHELI, R.** (2005) : Approaches to increacing the salt tolerance of wheat and other cereal . Journal of Experimental Botany. Vol. 57, N°:5: 1025-1043.
- MUNNS. R** et **TERTER M.** (2008) : Mechanisms of salinity tolerance. Ann. Rev. Plant Biol.59: 651-681.
- PARADIA AK** et **DAS AB**, (2005): salt tolerance and salinity effects on plant: a review.Ecotoxicol. Environ. Saf 60: P 324-349.
- RAHMOUNES, MAALEM** et **M'BAREK B.**, (2000) : Etude comparative de rendement en matière sèche et en matière azotée totale de trois espèces de plantes steppiques de genre Atriplex. Université Mentouri Constantine, 25000 Const, Algérie.
- RAINS DW**, (1972) : Salt transport by plant in relation to salinity. Ann. Rev. Plant physiol. 233-267.

- RAJU, K.P., DESAI, J.N., CHANDRASEKHAR, T. et ASHOK, N.M.**(1993): Precursors, arginine, ornithine, or methionine in ameliorating the inhibitory effect of NaCl on wheat plant. Egyptian J.Biotechnol.9: 328- 340.
- REJILI, M., VADEL, M.A. et NEFFATP, M.** (2006) : Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* L en presence de NaCl. Revue des regions Arides.Vol.17.N° 1 : 65-78.
- ROBERT, M.** (1996) : Le sol, interface dans l'environnement ressource pour le developpement. Ed. Masson. Paris. 96 P.
- ROBERT, M.** (1996) : Le sol, interface dans l'environnement ressource pour le developpement. Ed. Masson. Paris. 96 P.
- SERRANO, R. et GAXIOLA, R.** (1994): Microbial models and salt stress tolerance in plant. Grit. Rev.Plant Sci.Vol.13: 121-138.
- 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.** (1975): Etude biologique des sols halomorphes. Thèse. Doc. Uni. Montpellier. 194 P.
- SIGALA et all** , 1988 : Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural (Options Méditerranéennes).
- SINGH K et CHATRATH R,** (2001) : Salinity Tolerance. Crop Improvement Division, Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, 132 001 (Haryana), India.
- SZABLOCS, I.**(1994): Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed), Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, New York: 3-11.
- TANJI, K K.** (1990) : Nature and extent of agricultural salinity. In: Tanji, kk (ed) Agricultural salinity assessment and management. American Society of Civil Engineers, New York, P1-17.

**U. S. S .L ,1954** in DELLAL A., 1994 - Réactivité physico-chimique, fonctionnement physiologique et microbiologique en conditions salines. Thèsed'Etat, Rennes. 223 pages.

**UNGAR I.A** et **KHAN M.A.**, (2001) : Effect of bracteoles on Seed germination and Dispersal of Tow Species of Atriplex. *Annals of Botany* 87: 233-239.

**WYN JONES, G.** et **GOUSTON, H.** (1991): Completémentryor conflicting approaches to salinity DDU. *Bulletin N° 23*: 7-9.

**ZID, E.** et **GRIGNON, C.** (1991) : Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress.cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. *AUPLELF-UREF.JonLibbeyEurotext, Paris* : 91- 108.