

**UNIVERSITE IBN KHALDOUN TIARET  
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET VETERINAIRES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET BIOLOGIQUES**

**THEME**

**Contribution à l'étude de la mise en culture des zones steppiques  
dans  
le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole et son  
impact  
sur l'écosystème « Cas de Rechaiga – Tiaret ».**

En vue de l'obtention de : **Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques**  
Spécialité : **Ecologie – Environnement**

Présenté par Monsieur :  
**BENKHETOU ABDELKADER**

**UNIVERSITE IBN KHALDOUN TIARET**  
**FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET VETERINAIRES**  
**DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET BIOLOGIQUES**

**THEME**

**Contribution à l'étude de la mise en culture des zones steppiques  
dans  
le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole et son impact  
sur l'écosystème « Cas de Rechaiga – Tiaret ».**

En vue de l'obtention de : **Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques**  
Spécialité : **Ecologie – Environnement**

Présenté par Monsieur :  
**BENKHETOU ABDELKADER**

**Membres de jury :**

Président : **Mr CHOUKRI ALI (Mc)**  
Directeur de mémoire : **Mr DILEM ABDELKADER (Pr)**  
Co – Promoteur: **Mr MOUMENE TAYEB (Cc)**  
Examineurs: **Mr DELLAL ABDELKADER (Mc)**  
**Mr SAHNOUNE MOHAMED (Cc)**

**Date: 30/04/2003**

## *AVANT PROPOS*

*Cette étude a été entamée en 1995 à l'I.A.M de Montpellier dans le cadre d'un avant projet de thèse de Mastère. Plusieurs hypothèses ont été émises pour aboutir à une explication de la problématique de la zone d'étude. Parmi ces hypothèses, le problème du foncier agricole, l'inexpérience des attributaires et les moyens financiers mais en aucun cas, le problème écologique n'a été évoqué.*

*Cependant, dans le cadre de Magister grâce aux orientations d'éminents enseignants de la Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaires que j'ai eu l'occasion de bien saisir que la problématique qui se pose, est purement d'ordre écologique.*

*A cet effet, je tiens à remercier vivement Messieurs :*

*DILEM. A, Professeur et Doyen de la faculté, qui n'a pas hésité de diriger mon travail en qualité de directeur de mémoire et ce, malgré ses multiples occupations ; je le remercie pour son appui et ses conseils ainsi que la confiance qu'il m'a témoigné.*

*MOUMENE .T, Chargé de cours, d'être avec moi sur le terrain lors des prélèvements d'échantillons et des analyses au niveau du laboratoire du BNDER ( Alger) ; je lui dois aussi ma reconnaissance pour un certain nombre de documents qui m'a fourni et pour les conseils.*

*DELLAL. A, Maître de conférence et Directeur de laboratoire, de m'avoir procuré la documentation ainsi qu'aux précieux conseils qu'il m' a donnés ; d'avoir également trouvé le temps de siéger dans le jury de mémoire en dépit de ses nombreuses occupations ;*

*SAHNOUNE .M, Vice Recteur de l'université et Chargé de cours, d'être parmi les membres de jury.*

*Je tiens à remercier profondément Monsieur CHOUKRI A ; Directeur du Centre Universitaire de Djelfa d' avoir accepté la présidence de mon jury de mémoire.*

*Je tiens également à remercier vivement tous les enseignants qui nous ont pris en charge durant l'année théorique ; sans oublier Monsieur HADJ ZOUBIR Recteur qui nous a ouvert les portes du savoir scientifique de l'Université IBN KHALDOUN Tiaret.*

*Je dois une reconnaissance toute particulière à Messieurs, BENAICHATA .L ; AIT HAMMOU.M ; ainsi que OUADAH.S ; qui ont contribué par leurs aides à ce travail. J'adresse mes remerciements au personnel de la bibliothèque du département des sciences agronomiques et biologiques ainsi qu'aux cadres du laboratoire du BNEDER Alger pour leur patiente et compréhension.*

*Enfin je n'oublierai pas de remercier profondément, mon épouse mes enfants d'être patients et compréhensifs et de m'avoir soutenu moralement ; sans oublier mes parents à qui revient le grand mérite.*

## ERRATUM

Mots clés: aridité, salinité.

Page 19 : En ce qui concerne les ressources végétales de la zone d'étude à l'exclusion des matorrals et steppes à Remt, toutes les autres formations se présentent avec un taux de recouvrement variant de zéro à 20 %.

Page 20 : dont la moitié est réservée à la céréaliculture.

Page 40 : C. E en  $\mu\text{mhos/cm}$ .

Page 56 : fait diminuer d'environ les rendements.

Page 87 :  $r= 0,8288 *$ ,  $p=0,0008 *$

## Liste des tableaux

Tableau n ° 1 : La pluviosité annuelle

Tableau n ° 2 : Les températures

Tableau n ° 3 : Les valeurs des indices climatiques

Tableau n ° 4 : L'occupation des terres

Tableau n ° 5 : Les effectifs de cheptels

Tableau n ° 6 : Le bilan de l'A. P. F. A

Tableau n ° 7 : Le degré de solubilité des sulfates de sodium

Tableau n ° 8 : La solubilité des principaux sels

Tableau n ° 9 : La comparaison de trois modes d'irrigation

Tableau n ° 10 : La classification des eaux

Tableau n ° 11 : Les limites supérieures admissibles de tolérance des plantes.

Tableau n ° 12 : Les effets de sels sur les rendements de plantes cultivées

Tableau n ° 13 : La Correspondance entre plantes halophytes et plantes cultivées

Tableau n ° 14 : la variation de la C. E en fonction du taux de sels

Tableau n ° 15 : Les échelles de salinité

Tableau n ° 16 : Les résultats analytiques du profil type

Tableau n ° 17 : Les résultats des analyses chimiques du sols de parcelles

Tableau n ° 18 : La matrice de corrélations

Tableau n ° 19 : La comparaison de deux moyennes non associées par paires.

### Liste des figures

Figure n ° 1 : Diagramme ombrothermique

Figure n ° 2 : Effets de la concentration saline sur les plantes halophytes

Figure n ° 3 : Corrélation entre le sodium et le calcium

Figure n ° 4 : Corrélation entre le sodium et la conductivité électrique

Figure n ° 5 : Corrélation entre la C. E et l'E. S. P

Figure n ° 6 : Corrélation entre la teneur du sodium et le temps

Figure n ° 7 : Corrélation entre la C. E et le temps

Figure n ° 8 : Corrélation entre l'E. S. P et le temps

Figure n ° 9 : Corrélation entre le S. A. R et le temps

### Liste des planches

Planche n ° 1 : Tendances d'évolution du  $\text{Na}^+$  (figure n° 1, 2,3)

Tendances d'évolution du  $\text{Ca}^{++}$  (figure n° 4, 5,6)

Planche n ° 2 : Tendances d'évolution du  $\text{Mg}^{++}$  (figure n° 1, 2,3)

Tendances d'évolution de La C. E (figure n° 4, 5,6)

Planche n ° 3 : Tendances d'évolution de l' E. S. P (figure n° 1, 2,3)

Tendances d'évolution du pH (figure n° 4, 5,6)

## **Les abréviations**

A.P.F.A : accession à la propriété foncière agricole

Ca<sup>++</sup> : calcium

C.E : conductivité électrique

C.E.C : concentration des éléments cationiques

C.P.C.S : commission de pédologie et de cartographie des sols

Cm : centimètre

C. R. E. U. S. I : Centre de recherches sur l'utilisation de l'eau salée en irrigation

D.S.A : Direction des services agricoles

E.S.P : pourcentage de sodium échangeable ( exchangeable sodium percentage)

F. A. O : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

g : gramme

g/l: gramme par litre

Ha : hectare

I. R. S : indice du risque de salinité

O.N.S : office National des Statistiques

pH : potentiel en hydrogène

m<sup>3</sup> : mètre cube

Mg<sup>++</sup>: magnésium

me : milliéquivalent

mm : millimètre

mmho : millimho

Na<sup>+</sup> : sodium

N.E : Nord - Est

µmho : micronmillimho

l : litre

Km : kilomètre

S.A.R: Sodium adsorption ratio

S.O: Sud -Ouest

U.S.S.L.S: United States Stanford Laboratory of Salinity

## SOMMAIRE

	pages
INTRODUCTON.....	4
<b>PREMIERE PARTIE : LA PRESENTATION DE LA ZONE D' ETUDE</b>	
<b>CHAPITRE I: LA ZONE D' ETUDE.....</b>	<b>5</b>
<b>I - CADRE</b>	
<b>PHYSIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>5</b>
1.1 - L'Atlas tellien.....	5
1.2 - L'Atlas saharien.....	5
1.3- Les hautes plaines steppiques.....	5
<b>II - CADRE CLIMATIQUE .....</b>	<b>6</b>
2.1 - Les données climatiques.....	7
2.1.1 - Les précipitations.....	7
2.1.2 - Les températures.....	8
2.1.3 - Le diagramme ombrothermique.....	8
2.1.4 - Les vents .....	9
2.2 - Le bioclimat et Indices climatiques .....	9
2.2.1 - Le quotient pluviométrique d' EMBERGER .....	9
2.2.2 - L'indice xérothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	9
2.2.3 - L'indice de Dé MARTONE.....	10
<b>III- LE CADRE GEOLOGIQUE.....</b>	<b>10</b>
3.1- Le Trias.....	10
3.2 - Le Jurassique.....	11
3.3 - Le Crétacé .....	11
3.4 - Le Néogène .....	12
3.5 - Le Quaternaire .....	12
<b>IV LE CADRE GEOMORPHOLOGIQUE.....</b>	<b>12</b>
<b>V- LES RESSOURCES NATURELLES .....</b>	<b>12</b>
5.1- L'hydrologie .....	12
5.2 - Le sol .....	13
5.3 - La végétation.....	14
5.3.1- Les groupements végétaux et groupes écologiques.....	14
5.3.2 - Les formations végétales.....	14
5.3.2.1- Les formations forestières.....	14
a) Les forêts .....	14
b) Les matorrals.....	14
5.3.2.2 Les formations steppiques.....	15
a) Les steppes à Alfa.....	16



b) Les steppes à chamaephytes .....	17
b <sub>1</sub> ) Les steppes à « Chih » <i>Artemisia herba alba</i> .....	17
b <sub>2</sub> ) Les steppes à <i>Noaea mucronata</i> .....	18
b <sub>3</sub> ) Les steppes à <i>Hamada scoparia</i> .....	18
b <sub>4</sub> ) Les steppes à <i>Artemisia camoestris subsp glutinosa</i> .....	18
c) Les steppes graminées .....	18
d) Les steppes crassulescentes .....	18
e) Les steppes arbustives .....	19
5.2.2.3 - Les jachères et cultures .....	19
VI-LE CADRE SOCIO ECONOMIQUE .....	20
6.1- La population .....	20
6.2 - L'emploi .....	20
6.3 – La répartition des terres .....	20
6.4 – L'agriculture .....	21
6.5 – L'élevage .....	21
CHAPITRE II L'ACCESSION A LA PROPRIETE FONCIERE AGRICOLE .....	22
I – CONTEXTE .....	22
II – HISTORIQUE ET DEROULEMENT .....	22
III – SITUATION DE L'A.P.F.A .....	23
<b>DEUXIEME PARTIE : L' ALTERATION PHYSICO - CHIMIQUE DU SOL .....</b>	<b>24</b>
<b>CHAPITRE III : LA SALINISATION .....</b>	<b>25</b>
I - LES SOLS SODIQUES OU HALOMORPHES .....	25
II – LES ORIGINES ET CAUSES DE LA SALINITE .....	25
2.1 –Les sols salés d'origine lithologique .....	26
2.1 - Les sols salés d'origine marine .....	26
2.3 – Les sols salés d'origine anthropique .....	26
III - LA FORMATION DES SOLS SALES .....	26
3.1- La salinisation primaire .....	27
3.2 - La salinisation secondaire .....	27
IV- LES FORMES ET SOURCES DE L'ION SODIUM .....	27
V- PRINCIPAUX SELS RESPONSABLES DE LA SALINITE .....	27
5.1 - LES CARBONATES .....	28
5.1.1- Les carbonates de magnésium .....	28
5.1.2 - Les carbonates de sodium .....	28
5.1.3 - Les carbonates de potassium .....	29
5.2 - LES CHLORURES .....	29
5.2.1 - Le chlorure de sodium .....	29
5.2.2 - Le chlorure de magnésium .....	29

5.2.3 - Le chlorure de calcium.....	29
5.2.4 - Le chlorure de potassium.....	30
5.3 - LES SULFATES .....	30
5.3.1 - Les sulfates de magnésium.....	30
5.3.2 - Les sulfates de sodium.....	30
5.3.3 - Les sulfates de potassium.....	30
VI - LES CARACTERES DES PRINCIPAUX SELS DANS LE SOL.....	31
6.1 – La solubilité.....	31
6.2 – La mobilité .....	31
6.2.1 - Les mouvements descendants.....	32
6.2.2 – Les mouvements ascendants.....	32
6.2.3 – Les mouvements verticaux et obliques.....	32
VII – LES CARACTERISTIQUES DES SOLS SALES.....	33
7.1 – La salinisation .....	33
7.2 – La sodisation.....	33
7.3 –L’alcalinisation .....	33
VIII - CLASSIFICATION DES SOLS SALES.....	34
8.1 - La classification française.....	34
<b>CHAPITRE IV – L’ EVOLUTION DE LA SALURE DES SOLS SOUS IRRIGATION.....</b>	<b>36</b>
Introduction.....	36
I - LA SALINISATION SECONDAIRE.....	36
1.1– Le processus d’accumulation.....	37
1.2 - Les facteurs de salinisation.....	37
1.2.1- L’action du climat.....	38
1.2.2–L’action du drainage.....	38
1.2.3- L’action de l’irrigation.....	38
1.3– La salure et mode d’irrigation .....	38
II – LA QUALITE DE L’EAU ET CLASSIFICATION .....	39
2.1 –La classification américaine.....	39
2.2 – La classification russe.....	41
2.3 – La classification de DURAND pour l’Afrique du Nord.....	41
<b>CHAPITRE V – L’ ACTION DES SELS SUR LES PROPRIETES DU SOL.....</b>	<b>43</b>
I – LES EFFETS DES SELS SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DU SOL.....	43
1.1 – L’effet des sels sur la stabilité structurale.....	43
1.2 – L’effet des sels sur la perméabilité.....	44
1.3 – L’effet des sels sur la rétention de l’eau.....	45
II –L’ACTION DES SELS SUR LES PROPRIETES MECANQUES DU SOL.....	45
2.1 – L’action des sels sur les limites d’ATTEBERG.....	45

2.2 – L'action des sels sur le gonflement.....	45
III – L'ACTION DES SELS SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL.....	46
IV – L'EFFET DE SELS SUR LES PROPRIETES BIOLOGIQUES DU SOL.....	46
1 –L'effet de la salure sur les micro-organismes du sol.....	47
<b>CHAPITRE VI – LES EFFETS DES SELS SUR LA PLANTE.....</b>	<b>48</b>
I – LE CLASSEMENT DES VEGETAUX EN FONCTION DE LEUR RESISTANCE	
A LA SALINITE .....	48
1.1– Les plantes halophytes.....	48
1.2– Les plantes pseudo – halophytes .....	48
1.3 - Les plantes semi – halophytes.....	48
1.4 - Les plantes glycopytes.....	48
II- L' INFLUENCE DE LA SALINITE SUR LA CROISSANCE DES ORGANES.....	48
2.1 – L'influence de la salinité sur la germination.....	48
2.2 –L'influence de la salinité sur les organes.....	49
2.3 –L'influence de la salinité sur le métabolisme.....	50
2.4 -La diminution de la transpiration et de l'absorption de l'eau.....	50
2.5 -La variation de la turgescence.....	51
III – LES EFFETS DE LA SALINITE.....	51
3.1 -Les effets de la pression osmotique.....	51
3.2 - Les effets spécifiques des ions.....	52
3.3 – Les effets nutritionnels des équilibres ioniques.....	52
3.4 – Les effets sur l'alimentation minérale .....	53
3.5 – Les phénomènes d'intoxication dus aux anions.....	54
3.6 – Les phénomènes d'intoxication dus aux cations.....	55
3.7 - Les carences.....	55
3.8 – Les effets sur les rendements.....	56
<b>CHAPITRE VII – LES METHODES DE LUTTE CONTRE LA SALINITE.....</b>	<b>59</b>
I – L'APTITUDE DU SOL A L'IRRIGATION.....	59
1.1- Le sol.....	59
1.2- La topographie.....	59
1.3 - Les eaux d'irrigation.....	59
II – LES MESURES DE PRECAUTION.....	60
2.1–Le Drainage.....	60
2.2 – Le nivellement du terrain.....	61
2.3 – Le lessivage.....	61
2.4 – La modification des méthodes d'irrigation.....	61
2.5 – La tolérance des cultures à la salinité.....	62
2.6 – Le calendrier des irrigations.....	62
2.7 - Le labour profond.....	62
2.8 -Les fumures.....	63
III – LA RESTAURATION ET AMENAGEMENT DES SOLS SALINS.....	63

3.1 – L'amélioration du drainage souterrain.....	64
3.1 – La restauration par lessivage.....	64

<b>CHAPITRE VIII - LES METHODES D'ANALYSE DE LA SALINITE.....</b>	<b>65</b>
Introduction.....	65
<b>I – LES CRITERES D' EVALUATION DE LA SALINITE.....</b>	<b>67</b>
1.1–La conductivité électrique.....	67
1.1.1 Différentes échelles de salinité.....	67
1.2- La sodicité.....	68
1.3 - Le taux de sodium échangeable (E.S.P).....	69
1.4 L'indice du risque de salinité (I.R.S).....	69
1.5– Le pH.....	70
1.6– Le calcaire total.....	70
1.7 - Le calcaire actif.....	70
1.8 – Les méthodes de déterminations des bases échangeables.....	71

### TROISIEME PARTIE : L' EXPERIMENTATION

<b>CHAPITRE IX – L' EXPERIMENTATION.....</b>	<b>72</b>
<b>I - LE MATERIEL ETLES METHODES.....</b>	<b>72</b>
1.1 – L'eau.....	72
1.2 – Le sol.....	72
1.2.1 – Le choix des différents profils (parcelles).....	73
1.2.2 – La description macromorphologique.....	74
1.2.3 – La description morphologique du profil type.....	74
1.2.4 – Les résultats analytiques du profil type.....	75
1.2.5 – Les résultats analytiques des profils.....	75
<b>II –L' INTERPRETATION DES RESULTATS.....</b>	<b>77</b>
2.1 –L'Interprétation des résultats par profil.....	77
2.2– Le calcaire total.....	80
2.3 – Le pH.....	80
2.4 – Les analyses statistiques.....	83
2.4.1 - La corrélation entre le Na et le Ca.....	83
2.4.2 - La corrélation entre le sodium et la conductivité électrique.....	84
2.4.3 - La corrélation entre la C.E et L'E.S.P.....	85
2.4.4 – La corrélation entre le Na et temps (année d'irrigation).....	86
2.4.5 - – La corrélation entre la C.E et le temps.....	87
2.4.6 – La corrélation entre l'E. S. P et le temps.....	88
2.4.7 – La corrélation entre le S.A.R et le temps.....	89
2.5 – La comparaison de deux moyennes non associées par paires.....	90
Discussion.....	94
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>97</b>

## **Résumé :**

*L'ensemble de nos travaux et ceux recensés en bibliographie conduisent aux mêmes remarques :*

*- la salinité a des effets néfastes sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol ;*

*- la salinité du sol augmente avec les fréquences d'irrigation ;*

*- les conditions écologiques caractérisées par une faible pluviosité, forte évapotranspiration et la nature du sol favorisent le phénomène de salinité.*

*La mise en culture en irrigué de l'écosystème steppe dans le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole notamment au niveau de la zone de Rechaiga a conduit à la dégradation des ressources naturelles et à la rupture irréversible des équilibres écologiques.*

**Mots clés :** *Accession à la propriété foncière agricole, Rechaigua, steppe, irrigation,*

**- Summary:** *The whole of our work and those listed in bibliography lead to the same note:*

*- The salinity has harmful effects on the physical properties, chemical and biological of the ground;*

*- The salinity of the ground increases with the frequencies of irrigation;*

*-The ecological conditions characterized by a low rainfall, strong evapotranspiration and the nature of the ground support the phenomenon of salinity.*

*The setting in culture in irrigated ecosystem steppe within the framework of the possibility of home-ownership land agricultural in particular on the level of the zone of Rechaiga led to the degradation of the natural resources and the irreversible rupture of ecological balances.*

**Key words:** *Possibility of home-ownership land agricultural, Rechaigua, steppe, irrigation, aridity, salinity.*

## INTRODUCTION

Depuis le début du siècle dernier et particulièrement depuis quelques décennies, l'impact de l'homme sur le milieu s'intensifie. La population s'accroît en désirant améliorer son niveau de vie, tend à demander de plus en plus de la nature. Ceci conduit, en raison des anciens systèmes de gestion de l'espace rural, à la rupture parfois irréversible des équilibres écologiques hérités des usages anciens des terres et des ressources végétales (FLORET et PONTANIER, 1982).

Les causes de cette détérioration sont essentiellement perceptibles dans les zones arides comme : le surpâturage, l'éradication des ligneux et la mise en culture de l'écosystème fragile et en équilibre. Ces pratiques ont fait l'objet d'études effectuées par divers auteurs dans le Maghreb : (LE HOUEROU, 1968 ; FLORET et LE FLOCH, 1973 ; AIDOU, 1994) ; elles mènent à la désertisation définie « comme un ensemble d'actions qui se traduisent par une réduction plus ou moins irréversible du couvert végétal, aboutissant à l'extension de paysages désertiques nouveaux. Ces paysages sont caractérisés par la présence de regs, de hamadas et d'ensembles dunaires »

Le surpâturage : du à la pression démographique, où le cheptel augmente progressivement inversement aux espaces laissés au parcours qui ont décliné du fait de la mise en culture.

L'éradication des espèces ligneuses : qui est l'une des conséquences de la mise en culture et leur usage à des fins comestibles et familiaux. A ce titre il faut noter que ces ligneux (arbrisseaux) sont souvent arrachés et non coupés, ce qui rend impossible leur régénération biologique.

La mise en culture de l'écosystème : qui est liée au désir légitime de la population humaine de plus en plus croissante d'augmenter son revenu immédiat et son autonomie alimentaire. Cependant, l'extension de cette pratique est devenue de plus en plus menaçante avec la mécanisation agricole sur l'ensemble des sols steppiques et a permis un défrichage rapide. Par ailleurs, pour les autochtones le labour semble devenir un moyen d'accaparement de terres.

Le développement d'une irrigation imprudente s'est traduit par la mise en place d'une agriculture abusive. Cette dernière constitue un puissant facteur de dégradation

des ressources naturelles et peut être à l'origine de l'altération physico – chimique du sol (RAMADE, 1983).

Une étude menée par des experts de la Banque Mondiale (BAGHOUTI et Le MOINE, 1991), les problèmes de l'irrigation, de salinisation des sols, de dégradations des ressources engendrent des dégâts plus vastes. Les données recueillies dans les grandes régions irriguées de la Chine, de l'Égypte, de l'Inde, du Mexique, du Pakistan de l'URSS indiquent que les terres irriguées sont en train de perdre leur productivité, les rendements des cultures principales ont été réduits de 30 %.

EILERS *et al.* (2001), au Canada montrent qu'une salinisation modérée ou forte fait diminuer d'environ 50% des rendements de la plupart des cultures céréalières et oléagineuses.

La salinité est un facteur important qui a influencé l'évolution de nombreuses sociétés agraires. Il est généralement admis que le déclin de la civilisation Mésopotamienne correspond à la salinisation des sols irrigués. Les sols salés dans la région méditerranéenne sont présents essentiellement dans les zones semi arides où, la pluie est insuffisante pour assurer le lessivage nécessaire des sels (CORNILLON et AUGE, 1983).

Le développement de l'irrigation sans mesures de précaution, ainsi que l'utilisation des eaux saumâtres contribuent également à l'augmentation des surfaces stériles par le sel. C'est le cas de la zone aride de Tunisie cité par (FLORET et PONTANIER, 1982).

En Algérie Comme partout dans le monde, la salinité affecte des surfaces considérables, son importance est réduite au Sahara mais plus déterminante dans les hauts plateaux steppiques (SIMONNEAU, 1960 ; AUBERT, 1975).

De l'Est à l'Ouest et de la côte au Sahara, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par le sel ou susceptibles de l'être comme le montrent les travaux de BOULAIN (1957), DURAND (1958) HALITIM (1973, 1985), GAUCHER (1974), AUBERT (1975) et DAOUD (1980, 1993).

Ce phénomène de salinisation prend de l'importance d'année en année et l'Algérie comme partout dans l'Afrique du Nord réunit des conditions favorables à ce phénomène : comme le climat aride et agressif, une géologie riche en sels solubles et une géomorphologie modelée (LASSAD, 1982 in GASMI, 1989).

Parmi les facteurs les plus importants qui sont à l'origine de la salinisation et/ou de l'alcalinisation des sols, on trouve l'aridité du climat, la géologie, la géomorphologie, la topographie et l'hydrologie du terrain, les caractéristiques physico – chimiques du sol et les techniques d'aménagement des sols et des eaux. Notons que la salinité se présente sous deux aspects :

La salinisation primaire est due aux sels se formant au cours du processus d'altération des roches. Les Trias qui se trouvent à l'amont à la zone d'étude l'ont affecté.

La salinisation secondaire qui demeure la conséquence d'une irrigation défectueuse favorisée par l'aridité du climat qui engendre un taux d'évapotranspiration important. Ceci s'explique par une eau de mauvaise qualité en l'absence de mesures de précaution (lessivage, drainage et rotation de culture).

La salinité des sols est due essentiellement aux conditions arides et semi – aride où l'évaporation est intense et les précipitations pluviales sont limitées (AUBERT 1975).

Selon DELLAL (1994), que l'accumulation excessive des sels au niveau de la plaine de Relizane , résulte d'un climat semi aride, d'une irrigation sans drainage avec une forte salinité des eaux dans des sols à texture fine et à stabilité structurale médiocre.

Cependant, l'objectif de notre travail consiste à mettre en exergue l'impact écologique de la mise en culture sous irrigation des zones steppiques. Toutefois, cette action a favorisé l'installation d'une agriculture de type minier jusqu'ici encouragée mobilisant les ressources naturelles. L'aridité du climat, l'irrigation défectueuse qui ont engendré un phénomène d'altération physico – chimique de la ressource sol (salinisation).

L'aspect écologique paraît être marginalisé du moment où, une problématique de l'environnement se pose en terme de déséquilibre entre les ressources naturelles et les besoins d'une population trop nombreuse.

Dans la zone d'étude qui fait partie de ce grand espace steppique caractérisé par la fragilité de son écosystème, l'on assistait à une dégradation des ressources naturelles suite à la mise en place d'un système de culture qui ne semble pas adapté à la vocation de la zone. Cependant, ce mode d'exploitation conjugué au défrichement



de la végétation et le surpâturage va accroître les conditions d'aridité et détruire l'écosystème steppe.

La démarche que nous avons entreprise pour atteindre nos objectifs repose sur trois parties.

- Première partie : que nous avons réservé à la présentation détaillée de la zone d'étude dans un ensemble qui est la steppe.
- Deuxième partie : nous l'avons consacré au phénomène de la salinisation, son évolution et ses conséquences sur les différentes propriétés du sol ainsi que sur la végétation et ce, quelques soient ses causes et son origine.
- Troisième partie : qui comporte la méthodologie adoptée, les résultats et leurs interprétations.

## **CHAPITRE I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

### **I - CADRE PHYSIOGRAPHIQUE**

La zone d'étude appartient aux hautes plaines steppiques, c'est à dire à une région limitée au Nord par l'Atlas tellien et au Sud par l'Atlas saharien.

#### **1.1- L'Atlas tellien**

En limite Nord, il est constitué d'une succession de massifs allongés extrêmes complexes de l'Oursenis aux Bibans, d'altitude variant entre 1000 et 2000 m environ. La bordure méridionale présente un substratum de marnes miocènes sur lequel reposent des massifs de grés associés à des marnes de crétacés et du Tertiaire. Les chaînes telliennes constituent un écran plus ou moins continu vis à vis des influences marines de la méditerranée (POUGET, 1980).

#### **1.2 - L'Atlas saharien**

Il est constitué par une succession de massifs et de dépressions. L'altitude de ces reliefs est comprise entre 1000 et 1800 m. Il s'agit essentiellement de roches calcaires dures plus ou moins dolomitiques et de roches marneuses érodées (HALITIM, 1988).

L'Atlas saharien forme la seconde chaîne méridionale de l'Algérie et il marque la fin de structures géologiques du domaine tellien et assure la transition avec les structures beaucoup plus simples et calmes du domaine saharien. Les éléments du relief sont composés par un ensemble de formes structurales plissées plus ou moins parallèles entre elles dans la direction SO - NE . Ces formes très largement « aérées » les unes des autres par de vastes dépressions prennent l'allure de plaines.

### **1.3 - Les hautes plaines**

A la limite méridionale des chaînes Sud – telliennes et à la limite de la céréaliculture se dégagent d'immenses étendues planes s'abaissent régulièrement de l'Ouest (1000 m) vers l'Est (600 m) assurant ainsi la transition entre les hauts plateaux Sud oranais ( 1200 m) et le bassin du Hodna (400 m) .

Le relief des hautes plaines steppiques paraît assez tabulaire, mais il est constitué en fait d'un ensemble de chaînons formant une série de bombements et plis longitudinaux allongés SO - NO, formés de terrains continentaux épais issus du pliocène et quaternaire, de pines souvent vallonnées et de dépressions fermées (Dayas et Sebkhass ). Toutefois, les hautes plaines steppiques sont caractérisées par un réseau hydrographique de faible importance et par l'endoréisme, à l'exception de l'oued Touil qui se jette à la mer en devenant l'oued Chellif après le Boughzoul (HALITIM, 1988).

La zone d'étude se trouve dans les steppes Sud algéroises qui appartiennent à l'ensemble de l'Algérie steppique dont l'extension est limitée au Nord par les chaînes telliennes et au Sud par les vastes espaces sahariens. Dans le Sud algérois, les steppes s'étendent de Ksar Boukhari jusqu'au delà de Laghouat, soit entre :

- 2° et 4° de longitude Est,
- et 36° 30' – 36 ° et 34 ° 30' –34' de latitude Nord.

Latéralement, elles sont limitées à l'Ouest par les steppes Sud- oranaises (Chott Chergui) d'une part, et d'autre part à l'Est par le bassin du Hodna (carte n°1).

Particulièrement la zone d'étude est située à 22 kilomètres du chef lieu de la commune de Rechaiga et à 82 kilomètres au Sud Est de chef lieu de la wilaya de Tiaret, dont les coordonnées géographiques sont :

- latitude 35 ° 09' Nord,
- longitude 2 ° 02' Est. Carte LAMBERT (1952).

Cependant, sa localisation (10 kilomètres) par rapport à la station météorologique nous donnera l'avantage de prendre en considération les données climatologiques enregistrées au niveau de celle-ci.

## **II - LE CADRE CLIMATIQUE**

Comme l'Algérie tellienne, les steppes Sud- algéroises se caractérisent par un climat de type méditerranéen contrasté avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale pluvieuse, fraîche sinon froide. Il s'agit cependant d'une forme particulière de ce climat caractérisé par :

- des précipitations, plus faibles présentant une grande variabilité inter mensuelle et inter annuelle ;
- des régimes thermiques relativement sont contrastés de type continental.

Du Nord au Sud, le climat méditerranéen se dégrade dans le sens d'une aridité croissante passant des régimes sub-humides et semi-aride du Tell aux vastes espaces désertiques sahariens. L'irrégularité accrue de la pluviosité, augmentation des températures et de la longueur des périodes de sécheresse estivale rendant plus encore plus difficile les conditions de vie et de survie, des plantes avec un bilan hydrique devenant de plus en plus déficitaire .

Le climat de la partie centrale des steppes est comparable à l'ensemble des steppes algériennes. Il est de type méditerranéen contrasté avec une longue saison estivale sèche et chaude et une saison hivernale pluvieuse et souvent froide. La valeur des précipitations est très variable d'une année à l'autre au point de vue quantité et répartition. Les régimes thermiques sont relativement homogènes et traduisent un climat de type continental.

### **2.1 - Les données climatiques**

Pour caractériser le climat, nous utiliserons les résultats météorologiques de la station de Ksar Chellala, (SELTZER, 1946) qui se trouve à proximité de la zone d'étude.

#### **2.1.1 - Les précipitations**

L'origine des pluies est double ; d'une part, les pluies dues aux vents pluvieux d'ouest et Nord Est qui abordent le Maghreb par le Littoral durant la saison froide

(SELTZER, 1946). Leur influence diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer : l'atlas saharien bénéficie cependant davantage que les hautes plaines dont fait partie la zone d'étude, en raison de son altitude plus élevée. D'autre part, les précipitations orageuses dues aux perturbations atmosphériques engendrées par les dépressions en provenance des régions sahariennes surtout à la fin de printemps et en même en période estivale.

La pluviométrie moyenne est de 291 mm ; les pluies tombent 90 jours de l'année. La carte pluviométrique de l'Algérie établie par CHAUMON et PAQUIN (1971), montre que la zone d'étude est comprise entre les isohyètes 200 et 300 mm. Les pluies sont concentrées en majorité pendant de la période hivernale, par contre celles de fin d'été proviennent des orages parfois plus violents qui sont à l'origine de processus d'érosion hydrique favorisant sans doute les migrations des sels solubles. Le régime pluviométrique du point de vue quantité demeure faible et l'irrégularité

mensuelle et inter annuelle influent sur la régénérescence de la végétation naturelle et sont très peu favorables aux cultures.

TABLEAU N° 1 : pluviosité annuelle (SELTZER, 1946)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Quantité (mm)	33	24	27	30	36	21	5	8	21	22	33	31	291
Nombre de jours	9	8	9	8	8	5	3	4	9	8	9	10	90

### 2.1.2 – Les températures

La grande différence entre les températures moyennes de l'été et celles de l'hiver montre l'importance de la chaleur estivale qui traduit la continentalité du climat. Par contre la correspondance entre les températures élevées et la faible pluviométrie révèle le caractère méditerranéen du climat.

Par ailleurs, la moyenne des minima détermine la période de la mise en place des cultures menées en intensif (cultures maraîchères), allant du mois d'avril à fin août coïncidant avec une évapotranspiration élevée.

TABLEAU N° 2 : les moyennes de températures (SELTZER, 1946)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
Max	12,2	14,2	17,6	21,6	26,6	31,7	36,7	36,7	30,8	23,4	16,6	12,4	23,4
Min	1,6	2,3	4,3	6,4	10,2	14,2	17,6	18,1	15,8	9,9	5,5	2,4	16,2

### 2.1.3 – Le diagramme Ombrothémique de Ksar Chellala

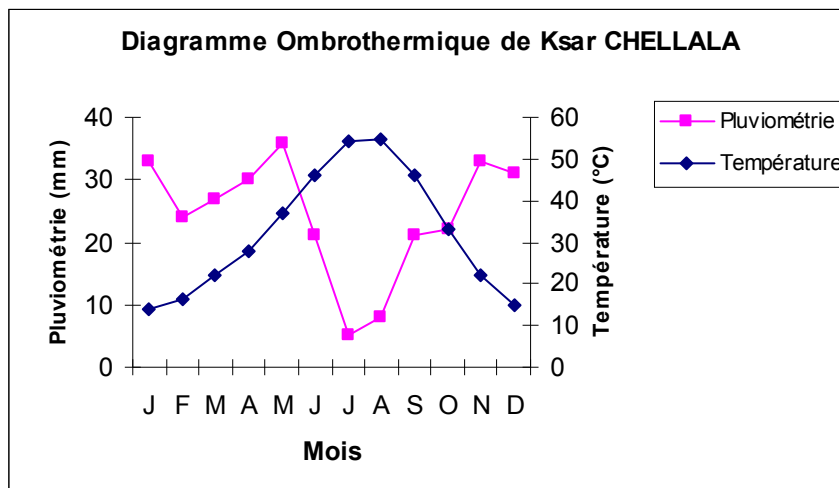


Figure n°1 : Diagramme Ombrothermique

D'après le diagramme ombrothermique, il en ressort que la période sèche s'étale sur une période de six mois et ce, à partir du mois de mai à fin octobre.

#### 2.1.4 - Les vents

Comme partout dans les régions arides, les vents ont joué et jouent encore un rôle primordial dans la formation des reliefs et des sols, dans les dégradations de la végétation et la destruction des sols (érosion éolienne). La direction, la fréquence et la vitesse sont très variables au cours de l'année. Cependant, les vents du Nord- Ouest et l'Ouest sont dominants et sont à l'origine des pluies puisqu'ils poussent les nuages qui se trouvaient sur l'Atlas tellien.

Par contre les vents du Sud sont généralement secs et chauds et deviennent très compromettant (desséchant). Ils font baisser le degré hygrométrique de 60% à 20%. Dans ces régions le siroco peut sévir pendant 15 jours (DJEBAÏLI, 1984). En effet, sous l'action de ces vents l'évapotranspiration augmente d'où, les fréquences d'irrigation deviennent importantes.

#### 2.2 – Le bioclimat et indices climatiques

Les différents éléments du climat n'agissent jamais indépendamment les uns des autres ; à cet effet, les climatologues, phytogéographes et écologues ont combiné des formules pour établir une classification et d'en donner une représentation cartographique pour éventuellement représenter le climat à l'échelle d'un pays ou d'un

continent. Les températures et les précipitations sont les éléments les plus utilisés dans ces formules.

### 2.2.1- Le quotient pluviométrique d'EMBERGER

$$Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

(M et m exprimé en degré Kelvin)

### 2.2.2- L'indice xérothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1955)

Cet indice « Xm » représente approximativement le nombre de jours biologiquement secs au cours de la période sèche.

$$Xm = jm - (jp+jbr)jh$$

Xm : indice d'intensité de sécheresse du mois considéré ;

Jm : nombre total de jours du mois ;

Jp : nombre de jours de pluie en ce mois ;

Jbr : nombre de jours de brouillard ou de rosée en ce mois ;

Jh ; état hygrométrique en ce mois.

### 2.2.3 – L'indice de Dé MARTONE (1923)

$$Ia = \frac{P}{T+10}$$

P : pluviométrie annuelle ;

T : température moyenne.

TABLEAU n° 3 : les valeurs des indices climatiques de la zone d'étude

Station	Xm	Ia	Q2
Ksar Chellala	120	9	28,4

Il en résulte à partir de ces valeurs d'indices climatiques que la zone appartient à l'étage bioclimatique aride moyen à hiver frais avec une valeur de  $m > 0$ .

### **III - LE CADRE GEOLOGIQUE :**

Selon la carte géologique à 1/500 000 (feuille Alger –Nord et Alger Sud, 1952), on retrouve les systèmes géologiques appartenant aux différentes ères géologiques : Trias, Jurassique moyen et supérieur, Crétacé, Néogène et ect.

#### **3.1 – LE TRIAS**

Dans les hautes plaines dont fait partie la zone d'étude, ce sont de petits massifs très érodés « coincés » dans des séries jurassiques notamment Djebel Nador ou le plus souvent isolés constituant Djebel Rechaiga, et Kef Ez Zerga . Argiles rouges vivement colorées, plus ou moins gypseuses, associées à du gypse massif et emballant des dolomies noirâtres, cargneules, roches « vertes ». Sels et gypse, telles sont les caractéristiques du Trias. Ces affleurements constituent une source principale de sels solubles que les eaux de ruissellement et les oueds se chargent de véhiculer. On les trouve dans les sols et les nappes phréatiques d'aval.

#### **3.2 – LE JURASSIQUE**

Le jurassique inférieur :

Epaisse sévie de dolomies et calcaire dolomitique formant les massifs montagneux de djebel Nador situé au Sud – Est de Tiaret.

Jurassique moyen et supérieur :

Il s'agit des hautes plaines où la dominance de calcaire dur et dolomies alternant avec de minces bancs de marnes diversement colorées et localement des grès quartzeux (Djebel Nador, Djebel Rechaiga et Djebels au Sud de Ksar Chellala). Les affleurements donnent l'allure de plis monoclinaux plus ou moins complexes.

#### **3.3 – LE CRETACE**

Le crétacé inférieur :

Dans les hautes plaines de la région de Ksar Chellala et plus particulièrement Djebel Rechaiga, le crétacé inférieur présente des faciès très variés à dominance de roches très calcaire tendre surtout au sommet :

- série gréseuse en gros bancs avec à la base, dolomies plus ou moins gréseuse et argiles vertes à cristaux de gypse, localement calcaire coquilliers, lumachelles (Néocomien à Barrémien).

-Série gréseuse (Albien) : grés calcaire ocre, argiles gréseuses vertes à rougeâtre, dolomies gréseuses etc.

Le crétacé supérieur :

Il s'agit d'une série à dominance de marnes et marno - calcaire avec des intercalations de bancs décamétriques à métrique de calcaire dur :

- marnes et marno calcaire jaunâtre plus ou moins gréseuse, salées et gypseuse, calcaire jaunâtre ou ocre gréseux ou marneux se localisant dans le Djebel de Rechaiga.

### **3.4 - LE NEOGENE**

Le miocène supérieur et pliocène :

Ce système géologique comprend :

- les argiles sableuses rouges à ocres plus ou moins salées et gypseuses, provenant d'altérations superficielles d'origine continentale,
- interaction de grés, de sables et de conglomérats hétérométriques,
- niveaux discontinus de calcaires lacustres vers le sommet.

On le retrouve au niveau de Djebel Rechaiga, de Ksar Chellala et plus loin sur le plateau de Sersou oriental (Nord- Est de la zone d'étude).

### **3.5 – LE QUATERNAIRE**

L'étude du quaternaire est nécessaire puisqu'il recouvre les grandes surfaces dans les hautes plaines steppiques et que les caractères de ces formations se reflètent très souvent dans les propriétés des sols (RAYAL, 1970 ; RUELLAN, 1970 ; in HALITIM, 1988).

Le modelage du paysage est du aux successions de plusieurs séquences d'érosions principales qui ont marqué la fin du Tertiaire et le début du Quaternaire. Les formations du Quaternaire s'y trouvent dans la zone d'étude et forment les surfaces plus ou moins encroûtées en glaciaires qui occupent des étendues considérables



## **IV - LE CADRE GEOMORPHOLOGIQUE**

Dans la zone d'étude le relief se caractérise par les djebels de Rechaiga, de Nador au Nord- Ouest et Djebels Zerga, Métalès et de Ksar Chellala qui forme sa limite Sud d'Ouest - Est.

Les surfaces plus ou moins planes localisées au pied des reliefs regroupant les glacis d'âge et les épandages alluviaux, les dépressions où se concentrent les eaux de ruissellement (Dayas) , traversées par l'oued Smir qui rejoint plus loin oued Touil.

## **V - LES RESSOURCES NATURELLES**

### **5.1 – L'HYDROLOGIE**

La nappe phréatique du Sersou qui s'étend jusqu'au niveau de l'oued SOUSSELEM (localement appelé oued Smir) constitue une réserve hydrique importante menacée. Elle est située à quelques mètres de profondeur, favorise l'exploitation à partir de puits de surface. Dix ans, après le lancement de l'opération de l'accession à la propriété foncière agricole, 1200 puits ont été recensés. Actuellement, on compte environ 2500 puits.

Cependant, la sécheresse qui a sévi longtemps et la forte pression due au pompage excessif rendent difficile son renouvellement. Le rabattement de son niveau hydrostatique de 11 mètres signalé en 1992, passe aujourd'hui à 24 mètres.

Par ailleurs, les eaux de surface caractérisées par les crues d'oued Smir sont très rares et généralement se perdent dans les zones d'épandage et plus loin au niveau de l'oued Touil.

### **5.2 - LE SOL**

Les sols des régions arides posent d'une manière générale d'énormes problèmes de mise en valeur. Il présente souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plus part du temps salés très vulnérables à l'érosion et sujets à une salinisation secondaire (AUBERT, 1980 in KHALIL, 1995).

Le sol est l'élément de l'environnement dont la destruction est souvent irréversible et qui entraîne les conséquences les plus graves à court et long terme (HALITIM, 1985).

Les sols influent sur la végétation de façon encore plus déterminante que dans les zones non arides, en particulier par le biais de leurs caractères hydrodynamiques à

savoir : la texture, la profondeur, la topographie et le bilan hydrique qui en découle. Les sols sableux profonds et les bas fonds non salins sont naturellement les plus productifs

Selon LE HOUEROU (1995), les sols steppiques en général présentent deux caractéristiques : des sols squelettiques prédominants, de couleur grise à cause de la rareté de l'humus et qui sont plus exposés à la dégradation, d'une part, d'autre part, il existe de bons sols dont leur superficie reste limitée, localisés au niveau des lits d'oueds, dépressions et les piedmonts.

D'après la classification française de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (C. P. C .S, 1967), les sols de la zone d'étude appartiennent au type de sols azonaux, à la classe des sols isohumiques formés sous climat continental qui sont caractérisés par une teneur en matière organique progressivement décroissante avec la profondeur. Ils font partie de la sous - classe de sols à pédoclimat frais pendant la saison froide, appartenant au groupe siérozème comportant trois sous groupes :

1) Modaux : composés de sables silicieux, d'alluvions calcaires à texture grossière à moyenne, d'alluvions anciennes plus ou moins noircies et de sables silicieux sur marne ;

2) A nodule ou granulés calcaire : constitués d'alluvions calcaire à texture moyenne à fine , d'argile sableuse rouge, alluvions plus ou moins noircies, de sables silicieux sur marne et enfin d'alluvions, colluvion de piedmont plus ou moins caillouteux ;

3) Encroûtés (à encroûtement calcaire) : en plus des éléments qui se retrouvent dans le sous groupe précédant, il existe des alluvions et colluvions sur dalle calcaire.

## **5.3 – LA VEGETATION**

Avant d'aborder les ressources végétales de la zone d'étude, nous avons jugé utile pour le lecteur non averti de définir les groupements végétaux et groupes écologiques, ainsi que les différentes formations qui caractérisent la steppe dans son ensemble et leur dynamique.

### **5.3.1 – Les groupements végétaux et groupes écologiques**

Selon GODRON (1984), l'école scandinave pensait alors pouvoir fonder la classification de la végétation sur la dominance des espèces, qui est effectivement un

bon critère dans ces régions où la flore est pauvre. Pour les régions où la flore est plus riche, et en particulier pour les régions méditerranéennes, FLAHAULT (1901) estimait aussi que les espèces dominantes permettent de définir l'unité fondamentale de la classification de la végétation, qui est « l'association ».

Selon le même auteur, l'école zuricho-montpelliéraine a pris naissance à partir d'une observation très juste : BRAUN- BLANQUET a observé dans sa thèse (1915) que les espèces dominantes masquent souvent les variations fines du sol ; plus qu'elles ne les révèlent, alors que les espèces non dominantes sont plus sensibles à ces changements de milieu, et peuvent être « caractéristiques » du milieu. L'attention portée à ces espèces relativement rares a permis de donner aux associations végétales une signification écologique beaucoup plus précise que celle des formations végétales, dont l'aire est liée surtout au climat général.

BRAUN- BLANQUET et *al.* (1952) définissent l'association comme étant un « groupement végétal stable et en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisé par une composition floristique déterminée, dans laquelle certains éléments exclusifs ou à peu près ( espèces caractéristiques ) révèlent, par leur présence, une écologie particulière et autonome »...l'association répond « à des conditions stationnelles bien définies »

La végétation est organisée en groupements ou en associations. Les groupements végétaux constituent « les unités élémentaires de la végétation définies floristiquement, écologiquement, statistiquement et ordonnées par l'interaction des facteurs du milieu et la concurrence vitale » (EMBERGER et LEMEE, 1962).

OUZENDA (1964, 1982) définit le groupement végétal comme « un ensemble de plantes réunies dans une même station, par suite d'exigences écologiques identiques ou voisines. La composition floristique en est relativement constante quand on compare entre elles des stations semblables ».

### **5.3.2 - LES FORMATIONS VEGETALES**

La physionomie et la structure de la végétation servent de base à la définition des principaux types de formations végétales en Afrique du Nord (IONECO et SAUVAGE, 1962 ; LE HOUEROU, 1969).

### 5.3.2.1 - LES FORMATIONS FORESTIERES

a) **Les forêts** : restent plus ou moins dégradées, forment un ensemble forestier hétérogène comprenant des vastes clairières sur les massifs des Atlas tellien et saharien : c'est en effet, la forêt claire à pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et chêne vert (*Quercus ilex*). La taille des arbres dépasse 7 mètres de haut pour un nombre d'individus d'au moins une centaine à l'hectare.

Le sous-bois est constitué, d'arbustes, d'arbrisseaux et de chamaephytes variés ; l'alfa est présent en particulier dans les clairières (POUGET, 1980).

b) **Les matorrals** : ce terme utilisé avant en Espagne et maintenant répandu en Afrique du Nord, désigne une formation d'origine forestière, identique à une garrigue ou à un maquis. Dans les matorrals, il y subsiste des reliques d'arbustes ou arbrisseaux forestiers tels que le chêne vert (*Quercus ilex*), les genévriers (*Juniperus phoenicea*), le lentisque (*Pistacia terebinthus*, *Pistacia atlantica*), le romarin (*Rosmarinus tounefortin*, etc.). L'alfa peut y être très abondant, comme peuvent également subsister çà et là, des arbres isolés dans les matorrals arborés.

Selon LE HOUEROU (1969) et CELLES (1975) les matorrals correspondent à une phase de transition dans les séries de dégradation entre les forêts de pin d'Alep et les steppes à alfa..

En outre QUEZEL (1979), cité par POUGET (1980), attribue aux matorrals un rôle important dans la conservation des sols contre l'érosion.

### 5.3.2.2 – LES FORMATIONS STEPPIQUES

En Afrique du nord, les steppes sont des formations basses et très ouvertes à base de graminées (*Stipa tenacissima*, *Stipa parviflora*, *Lygum spartum*, etc..) auxquels s'ajoute souvent une gamme importante d'espèces annuelles. Le recouvrement végétal, pratiquement toujours inférieur à 50%, dépend de nombreux facteurs tels que : l'état de dégradation, bioclimat, saison, nature du groupement végétal (POUGET 1980). Par ailleurs, ce dernier cite les auteurs russes qui qualifient les steppes nord-africaines de « pré-déserts » (RODIN et al., 1968).

Une steppe aride est un milieu qui, par définition, n'offre que des conditions extrêmes pour l'établissement et le maintien d'une végétation qui joue un rôle fondamental dans la structure et le fonctionnement de l'écosystème dont elle

constitue une expression du potentiel biologique. De ce fait, sa régression constitue un des indicateurs essentiels de dégradation et de désertification (AIDOUD, 1994).

Le terme « steppe » évoque d'immenses étendues arides couvertes de végétation basse et clairsemée, dominées par des espèces pérennes, dépourvues d'arbres, où le sol nu apparaît dans des proportions variables (LE HOUEROU, 1995).

### **a) Les steppes à Alfa**

L'alfa (*Stipa tenacissima* L) est une espèce qui présente un intérêt écologique car elle joue un rôle très important dans la fixation des sols. Elle a également un intérêt économique dans l'industrie et surtout, elle sert de fourrages pour les troupeaux en période de disette. Son espace géographique, depuis le littoral dans les variantes chaudes et tempérées de la région d'Oran jusqu'à plus de 1800 m dans les Aurès, l'alfa, de par sa haute fréquence domine physionomiquement le paysage situé entre les deux atlas (ACHOUR – KADDI HANAFI et LOISEL, 1997).

La physionomie, relativement homogène est marquée par la dominance de cette espèce aussi bien sur les versants des djebels que sur les glacis encroûtés. POUGET (1980), note, bien que leur valeur phytosociologique ne soit pas encore totalement élucidée, les steppes à alfa présentent de tout premier ordre pour l'étude de la dynamique de la végétation et des relations végétation- milieu. Et elles constituent en effet, un stade de transition entre les formations forestières et les steppes à chamaephytes dans les zones les plus arides. En absence de végétation forestière, elles apparaissent comme des formations les moins dégradées par rapport aux chamaephytes.

### **b) Les steppes à chamaephytes**

D'après la morphologie des végétaux en relation avec la forme sous laquelle ils passent la saison défavorable, RAUNKIAER (1925) a déterminé plusieurs types biologiques. Parmi lesquels on cite les chamaephytes dont les bourgeons sont situés à moins de 25 cm au dessus du sol sur des pousses vivaces (*Artemisia herba- alba*, *Noea mucronata*, ect..).

Selon HALITIM (1988), les steppes chamaephytes présentent une grande diversité avec :

- les steppes à « chih », l'armoise blanche (*Artemisia herba- alba*) ;

- les steppes à « zef-zef » (*Helianthemum hirtum* ssp *vuficonum*) ;
- les steppes à « remt » *Arthrophytum scoparium* ;
- les steppes dégradées à « chobrog » (*Noea mucronata*) à « sarr » (*Artractylis serratuloïdes*) ;
- Les steppes, généralement post- culturales à « dgouft », il s'agit de l'armoise champêtre (*Artemisia compestris*).

#### **b<sub>1</sub>) Les steppes à « Chih » (*Artemisia herba –alba*)**

Selon LE HOUEROU (1995), les steppes arbrisselets ou steppes à chamaephytes sont très nombreuses et se trouvent sur les sols les plus variés. Les steppes *Artemisia herba –alba* se cantonnent de la courbe isohyète annuelle de 100 millimètres jusqu'à celles de 400 millimètres dans des conditions thermiques et altitudinales les plus diverses. L'ensemble de ces steppes possèdent un caractère commun à savoir : les sols présentent une texture plus ou moins fine et leur surface est toujours colmatée par un glaçage superficiel formé d'un film limoneux appelé pellicule de battance. Ce glaçage du à l'impact de pluies, gêne l'infiltration et augmente le ruissellement dans ces milieux.

#### **b<sub>2</sub>) Les steppes à *Noea mucronata***

Colonisent les croûtes calcaires dégradées, son aire géographique s'étend de l'Égypte jusqu'au moyen Atlas, mais curieusement elles n'existent ni dans les steppes constantinoises, ni tunisiennes, ni tripolitaines (LE HOUEROU, 1995).

#### **b<sub>3</sub>) Les steppes à *Hammada scoparia* ou (*Haloxylon scoparium*, *Arthrophytum scoparim*).**

Ces steppes qui portent le nom vernaculaire de « R'met » sont localisées dans la partie la plus aride de la zone steppique, entre les courbes isohyètes 50 et 100 mm et au Sahara septentrional entre les lignes isohyètes 50 et 100 mm. On les retrouve sur des sols identiques à ceux à armoise blanche mais uniquement leur partie la plus aride.

#### **b<sub>4</sub>) Les steppes à *Artemisia camoestris subsp glutinosa***

Armoise blanche « dgoufet » son milieu écologique des sols sableux au dessus de la courbe isohyète annuelle de 100 mm. Elles peuvent aussi constituer le stade

dynamique transitoire lorsque les terres de culture limoneuses abandonnées évoluent vers la steppe à armoise.

**c) Les steppes graminées sont moins diversifiées avec**

- les steppes à « sennagh » le sparte (*Lygum spartum*),
- les steppes à « drinn » (*Aristidia pungens*).

**d) Les steppes crassuléscentes**

Constituées dans leur majorité par des plantes halophiles, liées à des sols salins de texture, de salinité et d'alcalinité variables.

Une classification de ces 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 : *Atriplex halimus*, *Salsola tetendra*, *Suada fructosa*, *Salicornia arabica*, *Suada vermicula* ect...

**d) Les steppes arbustives**

Comprennent celles à *Retama raetma* occupant les sables grossiers plus ou moins mobiles, celles à *Atriplex halimus* (guettaf) sur des sols alluviaux modérément salés et à bilan hydrique favorable et enfin, celles à *Zizyphus lotus* qui peuplent les dépressions alluviales peu ou pas salées, les sols sableux ou limoneux, les terrasses d'oueds, les dayas, tous évidemment à bilan hydrique favorable (LE HOUEROU 1995).

**5.3.2.3 – LA JACHERE ET CULTURE**

Généralement elles concernent les sols d'apports alluviaux (dayas), mais n'empêche qu'avec la mécanisation agricole jachère et culture leur superficie n'a pas cessé d'augmenter au détriment de la végétation naturelle. Délaissée quelque temps, notamment au niveau des dayas le *Peganum harmala* fait son apparition ; en effet, il témoigne un stade ultime de dégradation de la végétation.

En ce qui concerne les ressources végétales de la zone d'étude à l'exclusion des matorrals et steppes à Remt, toutes les autres formations se présentent avec un

taux de recouvrement variant de zéro à 20 %. D'après les relevés phytosociologiques effectués par KAOUCH (2000) et BELGANOUNE, BENGHENIA (2001), ce taux demeure très faible, en effet, selon la classification de DU RIETZ (1921) cité par DIVIGNEAUD (1984), ces espèces rentrent dans la classe I des espèces très rares.

Par ailleurs, cette zone constitue de par sa position géographique un relais pour le nomadisme et la transhumance. Les transhumants séjournent avant de passer au nord au début de la période estivale et à leur retour en début d'automne, sans doute, ils constituent une pression sur les ressources naturelles.

En conclusion la dynamique des formations végétales steppiques tend vers une série évolutive régressive qualifiée par LE HOUEROU (1995) de steppisation « Les phénomènes de steppisation provoquent le passage d'une végétation de type forestier à une végétation steppique. Ce processus est accompagné par une évolution parallèle des sols. « Les sols bruns forestiers et les rendzines se transforment en sols isohumiques d'où une réduction considérable de la matière organique dans les horizons supérieurs ».

## **VI - LE CADRE SOCIO ECONOMIQUE**

### **6.1 La population**

Selon les estimations réalisées en 1995 par l'Office National des Statistiques (KHELIL 1995) sur la base d'enquêtes communales, la population de la commune dont laquelle s'effectue notre étude, s'élève à 13390 habitants dont plus de 62 % sont des ménages ruraux. La population rurale est composée en majorité d'agriculteurs et d'éleveurs, vivant en éparses à travers le territoire de la commune. Toutefois, la dispersion des habitations en dur constitue l'une des causes de dégradation de la végétation steppique par l'empiètement et les labours. Certaines habitations sont abandonnées à cause du rabattement de la nappe phréatique ; en effet, cela s'explique par les moyens de mobilisation de l'eau, qui deviennent coûteux pour certains propriétaires.

### **6.2 L'emploi**

La population active au niveau de la commune est de 3150 actifs soit 23 % de la population totale, avec un taux de chômage de près de 22 %. Le secteur agricole absorbe une grande part de l'emploi, le secteur public (tertiaire) ne représente que



3 % (204 emplois). Par ailleurs, l'activité dans le secteur industriel et les entreprises communales ne dépasse guère 40 emplois.

### 6.3 – La répartition des terres

La superficie totale de la commune s'étend sur 88.396 hectares dont la moitié est réservée à la céréaliculture et les cultures fourragères (assolement biennal) ; les superficies en irrigué sont occupées essentiellement par les cultures maraîchères et très moindres par l'arboriculture. Les parcours caractérisés par une végétation

dégradée occupent une superficie de 41.528 hectares. L'occupation des terres de la commune figure dans le tableau n°4 dressé ci-dessous.

Tableau n° 4 : Occupation des terres (source D. S. A) (2001)

Superficie totale	Parcours	S. A. U	Superficie irriguée	Agglomération
88.396 ha	41.528 ha	44.092 ha	2.148 ha	2.276 ha

### 6.4 - L'agriculture

L'agriculture et l'élevage ovin représentent dans cette zone les principales sources de revenus des ménages. L'élevage ovin en raison des conditions climatiques défavorables la conduite des troupeaux demeure à caractère extensif qui dépend énormément de l'état de l'offre fourragère des parcours.

La céréaliculture apparue avec l'implantation de fermes coloniales durant le siècle dernier, occupe une place non négligeable au niveau de la frange sud du plateau du Sersou qui constitue la partie Nord de la commune de Rechaigua. La pratique de cette spéculative s'étend sur les bas fonds des zones steppiques et à pris de l'ampleur sur les sols peu profonds à encroûtement calcaire et ce, en effet, au détriment de la végétation naturelle caractérisant l'écosystème steppe.

Par ailleurs, l'implantation d'un système intensif caractérisé par des cultures de rente jusqu'ici encouragée menace énormément les ressources naturelles de la zone.

### 6.5 – L'élevage

Les effectifs des différentes espèces en général ont régressé de 50%, cela s'explique par la sécheresse qui a sévi durant ces deux dernières décennies, le morcellement de l'espace steppique au profit de la mise en culture ainsi qu'à la

sédentarisation des éleveurs. L'évolution des effectifs de cheptels pendant les dernières décennies figure dans le tableau n°5.

Tableau n°5 : Effectifs de cheptels (source D. S .A Tiaret)

Espèces	1980	2000
Ovin	50000	26000
Bovin	9000	2000
Caprin	25000	12000
équidés	1000	1000

## CHAPITRE II - L'ACCESSION A LA PROPRIETE FONCIERE AGRICOLE

### I – LE CONTEXTE

L'Algérie face à une démographie galopante caractérisée par un taux de natalité (3,5%), depuis le début des années 1970, son autosuffisance en produits agricoles n'a cessé de régresser et sa dépendance vis à vis de l'étranger n'a cessé de s'accroître. En effet, les performances de l'appareil de production agricole, avec une croissance limitée à 3,5% durant les dernières décennies ont été insuffisants pour répondre à la demande générée par l'augmentation des revenus et la création des emplois dans les secteurs de l'industrie et des services. Ces deux secteurs malheureusement n'offrent plus les possibilités d'emplois des années 1970.

L'Algérie, avec seulement, 7,5 millions d'hectares, la superficie agricole utile (S. A. U) représente 2,8% du territoire national, soit 0,3 hectares par habitant aujourd'hui, et 0,2 hectares en 2005. Cette surface est presque totalement localisée dans les zones arides et semi-arides dont la production est entièrement conditionnée par les ressources en eau, qui demeurent par leur rareté un facteur limitant de la production

La loi 83-18 du 13 .08.1983 accordait une priorité accrue à l'agriculture, l'hydraulique et la forêt. En effet, compte tenu de faibles performances jusque là enregistrées et l'impératif d'indépendance alimentaire, les orientations se basaient sur la recherche systémique de l'accroissement de la productivité de la terre dans toutes les zones du pays: les parcours steppiques, les régions sahariennes, celles de montagnes aussi bien que les plaines du nord du pays. Cet accroissement se fera

autant par la diminution des terres en jachère que par la mise en irrigation de nouvelles superficies (BEDRANI, 1994 ; cité par BENKHETOU ,1995)

## **II - L'HISTORIQUE ET DEROULEMENT**

L'intensité des actions de mise en valeur comme partout dans les zones steppiques remonte au début des années 70, par la création de coopératives d'élevage de production de la révolution agraire (C. E. P. R. A) des milliers d'hectares consacrés, jadis, au pâturage sont désormais mis en labour pour une céréaliculture à rendements aléatoires.

Dans le cadre de la mise en valeur, une opération de distribution de terres, a été entamée, pour faire de cette zone steppique, située au Sud- Est de la wilaya de Tiaret , un bassin d'emplois , celle-ci s'est traduite par l'implantation d'un type d'agriculture minière qui est à l'origine de graves problèmes et d'une transformation de la vocation pastorale de la zone . Cette action de mise en valeur en irrigué par l'accession à la propriété foncière agricole (A. P. F. A) a augmenté davantage les labours d'anciens parcours en milieu aride. En effet, elle a donné naissance à une concentration de petites exploitations juxtaposées les unes à coté des autres, attribuées à des candidats inexpérimentés et démunis de moyens financiers. Cette situation n'a fait qu'encourager l'installation d'étrangers à la zone, fournissant le capital et le travail, qui adoptent un système de culture basé sur l'irrigation (maraîchage) (BENKHETOU, 1995).

Cependant, ici, comme ailleurs, l'un des problèmes majeurs de l'aménagement de la steppe consiste dans la rupture de l'équilibre entre la rare disponibilité des ressources et la pression de la demande sociale du fait de la démographie galopante.

DIVIGNEAUD (1992), pense que le modèle de développement entrepris particulièrement au niveau de la commune de Rechaiga, s'il persévérerait, épuiserait de façon accélérée et irréversible les ressources naturelles en eau et le sol. Il note également que cette action durera le temps que les ressources en eau terminent de s'épuiser ; alors le mythe de l'eau montrera ses effets dévastateurs pour le milieu physique qui sera asséché et salé. La population est menacée d'une disparition totale des revenus et de l'emploi.

### III – LA SITUATION DE L’A. P. F. A

D’après le bilan établi en 1995, par le Ministère de l’agriculture signalé par KHALLIL (1995), nous constatons au crible du tableau n°6 que les superficies attribuées dans le cadre de l’accession à la propriété foncière agricole au niveau des zones pastorales ; couvrent 139.484 hectares réparties sur un ensemble de dix wilayas.

Les superficies mises en culture au niveau des zones pastorales de la Wilaya de Tiaret atteint 30% par rapport aux superficies totales attribuées aux jeunes personnes, couvrant 3642 hectares.

TABLEAU N°6: Bilan de L’A. P. F. A (1995) Source Ministère de l’Agriculture.  
(KHALIL, 1995)

Wilaya	Superficies attribuées (ha)	Nombre de bénéficiaires	Superficies mise en valeur (ha)	Superficie mise en culture (ha)	% par rapport aux superficies attribuées
Médéa	8236	24 13	1298	1482	18
Laghouat	31619	5020	4720	6508	17
Djelfa	26693	3132	3132	4516	17
Naama	6555	2430	1605	2602	40
Khenchella	29842	9217	7772	1182	4
Tiaret	<b>3642</b>	<b>1539</b>	<b>1030</b>	<b>1090</b>	<b>30</b>
Saida	2626	2626	2626	547	21
El-Bayad	8818	4814	2036	1996	23
M’Sila	14159	9930	9734	2150	15
Tébessa	7294	3423	1679	648	9
Total Steppe	<b>139.484</b>	<b>44.544</b>	<b>35.632</b>	<b>22.271</b>	<b>16</b>

## **CHAPITRE III : L' ALTERATION PHYSICO - CHIMIQUE DU SOL LA SALINISATION**

La salinisation est une évolution régressive des sols qui se répercute directement sur la végétation en place (AUBERT, 1975).

Cependant, au niveau de ce chapitre, nous allons aborder la salinité en général des sols quelque soit son origine, son évolution et ses conséquences écologiques.

### **I - LES SOLS SODIQUES OU HALOMORPHES**

Selon AUBERT (1975), les sols sodiques également appelés sols salés ou sols halomorphes sont caractérisés par la teneur élevée en sels solubles, plus solubles que le gypse, répartis sur l'ensemble ou dans une partie du profil. En particulier l'influence de l'ion sodium se traduit par la dégradation de la structure de l'un des horizons. Leur grande extension au niveau des trois pays du Maghreb est due essentiellement aux conditions arides et semi arides, où les possibilités d'évaporation sont considérables et les précipitations pluviales sont limitées ; à la présence fréquente des dépôts géologiques salifères (Trias, du Miocène, Pliocène ou même du Quaternaire).

### **II - LES ORIGINES ET CAUSES DE LA SALINITE**

Selon AUBERT (1975, 1978) la salinité d'une zone reste étroitement liée au climat. Localisée surtout dans les zones semi arides, arides à climat méditerranéen, sub -humide de type tropical. Le climat est un facteur qui favorise l'augmentation de la salure au niveau du sol, surtout en présence des dépôts écologiques salifères et nappes salées.

Selon DUCHAUFOR (1983), sur le plan écologique, en plus de la condition climatique, une condition de station où les facteurs du milieu interviennent de façon locale indépendamment du climat général , concernant la présence obligatoire d'une source de sodium.

Les origines de la salinité sont multiples, elle résulte : des apports marins dans les zones côtières, des apports éoliens, par la présence d'une nappe salée peu profonde, l'irrigation avec des eaux salées sans mesures de précaution, l'intense évaporation, le manque de précipitations et l'altération de la roche salifère.

En résumé il existe trois (03) origines principales de salinité :

### **2.1 – Les sols salés d’origine lithologique :**

Cette salinité résulte de l’altération de la roche mère qui contient des matériaux sodiques, potassiques ou des bicarbonates qui interviennent en augmentant la salinité des sols (DEMELON, 1966 in BAHOUR, 1994 in HADJAR 1999).

Toutefois, cette altération est provoquée par des facteurs physiques tels que la variation de la température ou le gel, aussi par des facteurs chimiques sous l’action des pluies acides, ou encore à des facteurs biologiques dus à l’activité de certains animaux dans le sol.

### **2.2 – Les sols salés d’origine marine :**

Dans ce cas les sels peuvent être transportés à plusieurs kilomètres des côtes vers l’intérieur des terres par infiltration. Cette eau salée qui s’infiltré va contaminer les régions côtières ainsi que les régions intérieures suite à la contamination de la nappe phréatique.

Selon OZENDA (1982), les sols salés d’origine marine sont des sols littoraux occupant les côtes basses, sableuses ou envasées ; le salant est constitué principalement de chlorure de sodium d’origine marine.

### **2.3 – Les sols salés d’origine anthropique :**

Selon RAMADE (1983), dans les pays à climat aride, le mauvais drainage des cultures conjugué à la forte évapotranspiration, a conduit à une accumulation de sels dans les couches superficielles des sols qui deviennent impropres à toute culture.

KAOURITCHEV et COLL (1980) classent ce type de sol salé parmi les solontchacks résultant d’une irrigation défectueuse.

## **III – LA FORMATION DES SOLS SALES**

Les causes de la salinité peuvent être considérées comme précurseurs de la formation de ces sols. A ce titre, on distingue deux sortes de salinisation :

### **3.1- La salinisation primaire :**

Selon GAUCHER et *al.* (1974) cités par LEGOUPIL (1974), la salinisation primaire est d'ordre géologique résultant de l'altération de la roche salifère appartenant à une série stratigraphique très ancienne (Trias) de nature gypso - saline

### **3.2 – La salinisation secondaire :**

Elle englobe plusieurs origines marine et volcanique selon GAUCHER et *al.* (1974) cités par LEGOUPIL (1974); salure provoquée par les eaux d'irrigation salées accompagnées d'un drainage déficitaire (DURAND, 1983) ou bien, salure résultant d'une irrigation défectueuse (KAOURITCHEV et COLL, 1980).

Selon BOULAIN (1957) cité par AUBERT (1975) , le vent peut causer l'apparition de phénomènes de salure en transportant des éléments pseudo sables salés et les cristaux de sels à partir des surfaces affectées telles que les sebkhas pour contribuer à la salinité de sols indemnes.

## **VI – LES FORMES ET SOURCES DE L' ION SODIUM**

L'ion sodium peut exister sous deux formes, de propriétés différentes : la forme saline neutre, généralement caractérisée par le chlorure de sodium ou sulfate de sodium qui n'a pas de propriétés alcalinisantes et la forme échangeable liée au complexe absorbant alcalinise le sol. En présence de sodium échangeable les solutions s'enrichissent en sels alcalins de type carbonate et bicarbonate de sodium qui élèvent le pH. Le sodium échangeable provient soit d'une nappe salée saturant progressivement le complexe par échange avec les ions alcalineux - terreux,  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ , soit par saturation directe du complexe suite à l'altération de roches renfermant des minéraux sodiques. L'ion sodium ne peut subsister dans le profil qu'en climat sec, l'évapotranspiration potentielle élevée empêche tout drainage climatique (DUCHAUFOR, 1983)

## **V – LES PRINCIPAUX SELS RESPONSABLES DE LA SALINITE**

Les sels proviennent de la combinaison des bases (cations) et des acides (anions). Parmi ces sels, ce sont surtout  $NaCl$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $NaHCO_3$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaCl_2$ ,  $MgSO_4$ ,  $MgCl_2$  que l'on rencontre dans les sols salifères. Tous les ions peuvent participer à la salinisation ; en pratique certains sont susceptibles de s'accumuler et

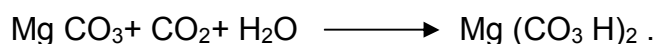
d'être à l'origine d'une salinité excessive des terres. En effet, ce sont le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ), ainsi que le chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), sulfate ( $\text{SO}_4^-$ ), carbonate ( $\text{CO}_3^-$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ).

## 5.1- Les carbonates

Ils résultent de la dissolution de l'acide carbonique dans l'eau pouvant être d'origine atmosphérique ou biologique. Des quantités appréciables d'ions carboniques se trouvent que dans les sols dont le pH est supérieur ou égal à neuf (09) (SYLVIA 1982 in GASMI 1989)

### 5.1.1 - Les carbonates de magnésium : ( $\text{Mg CO}_3$ )

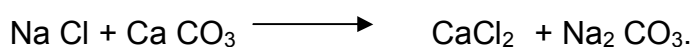
La solubilité de ce sel est très élevée, l'ion  $\text{Mg}^{++}$  est fixé sur le complexe absorbant qui augmente la fertilité du sol. Cependant, il peut former la dolomie  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  ou bien il réagit avec ( $\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) pour donner  $\text{Mg}(\text{CO}_3 \text{H})_2$  (BOUKHATEM,1987 in GASMI,1989) donc le  $\text{Mg}(\text{CO}_3 \text{H})_2$  provient de l'action de l'eau chargée en gaz carbonique :



Le magnésium est un sel neutre, très soluble, est d'autant plus nocif pour la plante quand le calcium est absent (GASMI ,1989).

### 5.1.2 - Les carbonates de sodium : $\text{Na}_2 \text{CO}_3$

Ils résultent d'une réaction de substitution sous l'action de l'eau chargée en carbonates de sodium en contact des roches riches en sodium :



Dans certains cas, où la pression de  $\text{CO}_2$  est significative, c'est à dire sous l'action des micro-organismes, on a une formation du  $\text{Na H CO}_3$



Le carbonate de sodium : est très soluble (218g / l à 20 °C d'après LAX .E (1978) in BOURAHLA (1991), ce qui provoque une augmentation du pH de la solution du sol. L'effet spécifique du sodium provoque un antagonisme avec le potassium (MOLLIARD, 1921 in COMBES ,1929) et sert à la neutralité des acides ce qui induit des tâches sur la partie centrale de la feuille (JAVALLIER, 1958) cités par BOURAHLA (1991).



### 5.1.3 - Les carbonates de potassium : $K_2 CO_3$ .

Sel très rare dans les sols salés, constituant mineur dans la solution, son effet ressemble à celui du carbonate de sodium ; ce sel peut devenir une réserve potentielle pour la plante (BOURAHLA ,1991).

## 5.2 – Les chlorures

Les sels solubles à base de chlorures sont : les chlorures de calcium. ( $Ca Cl_2$ ) le chlorure de sodium ( $Na Cl$ ), le chlorure de potassium ( $K Cl$ ) et le chlorure de magnésium.

### 5.2.1- Le chlorure de sodium : $Na Cl$

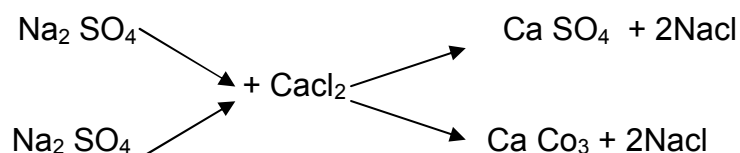
Le chlorure de sodium demeure un composant typique des sols salés, très soluble (360g/ l) à  $20^0 C$ , d'après LAX .E (1978) in BOURAHLA (1991), il influe sur la dissolution de certains sels tel que  $Ca Cl_2$  qui se dissout à 7g / l lorsqu'il y a 131g / l de  $Na Cl$ , alors qu'il se dissout à 2g / l dans les eaux douces.

### 5.2.2 - Le chlorure de magnésium : $Mg Cl_2$

C'est un sel très fréquent dans les sols salés, soluble à 640g / l à  $20^0C$ . C'est un sel caractérisant les sols à forte salinité (BOURAHLA, 1991).

### 5.2.3 - Le chlorure de calcium : $CaCl_2$

C'est un sel relativement rare dans les sols salés, cette pauvreté est due à sa réaction avec les sulfates de sodium ou les carbonates de sodium pour donner les sulfates de calcium ou les carbonates de calcium qui sont peu solubles et s'accumulent en profondeur, hygroscopique soluble à 750g / l à  $20^0 C$ .



#### 5.2.4 - Le chlorure de potassium : $KCl$

C'est un sel très peu répandu et ressemble au chlorure de sodium. En général tous les chlorures provoquent des lésions la plus souvent caractérisées par des brûlures engendrant la tombée des feuilles et des fruits et le ralentissement du développement des racines (BERNSTEIN et AYERS, 1951 in BOURAHLA, 1991).

### 5.3 – Les sulfates

#### 5.3.1- Les sulfates de magnésium : $MgSO_4$

Ce sont des sels qui demeurent typiques des sols salés, très solubles (348g / l à 20°C) ils se trouvent dans les nappes sous terraines (DURANT, 1958).

#### 5.3.2 - Les sulfates de sodium : $Na_2SO_4$

Ce sont des sels neutres, composant des sols salés, leur solubilité augmente en fonction de la température, d'où leur effet sur le système sol – plante est en fonction de la saison. Le tableau n°7, nous donne le degré de solubilité des sulfates de sodium qui augmente en fonction de la température.

TABLEAU n° 7 : le degré de solubilité

Températures	Solubilité en g/litre
0 ° C	44,9
10 °C	82,6
20°C	162 ,2
30°C	325,2

#### 5.3.3 - Les sulfates de potassium : $K_2SO_4$

Contrairement aux sulfates de sodium les sulfates de potassium sont des sels très rares dans les sols salés. Généralement ils demeurent moins toxiques que les chlorures, pour certaines plantes (EATON, 1942). Ils peuvent avoir un effet inhibiteur sur la croissance ; lorsque la teneur dans le sol en sulfates est élevée, ils peuvent également limiter l'activité de l'ion calcium (FRANCOIS, 1987 in BOURAHLA 1991).

## VI - LES CARACTERES DES PRINCIPAUX SELS DANS LE SOL

### 6.1 – La solubilité

La solubilité de ces sels est très variable : les chlorures sont très solubles, les sulfates sont moins solubles et les carbonates alcaline –terreux ( $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ ) sont pratiquement insolubles par contre les bicarbonates et les carbonates de sodium pratiquement sont très solubles. (U. S. S .L ,1954 in DELLAL, 1984).

TABLEAU n° 8 : la solubilité des principaux sels selon DURANT (1958)

Sels	Formule	Solubilité en g/100g de soluté
chlorure de sodium	Na Cl	35,7
carbonate de sodium	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	13,0
bicarbonate de sodium	Na H $\text{CO}_3$	8,0
sulfate de sodium	$\text{Na}_2 \text{SO}_3$	13,0
chlorure de calcium	$\text{CaCl}_2$	400,0
carbonate de calcium	$\text{CaCO}_3$	0,0018
sulfate de calcium (gypse)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,2
chlorure de magnésium	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	130,0
sulfate de magnésium	$\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	41,5
carbonate de potassium	$\text{CO}_3\text{K}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	112,0
chlorure de potassium	K Cl	32,0
sulfate de potassium	$\text{SO}_4\text{K}_2$	10,0

Selon DURANT (1958), la mobilité des sels est liée à leurs solubilités, les plus mobiles sont les plus solubles et leurs mouvements dépendent de l'eau imprégnant le sol et les mouvements qu'elle subit.

Au crible du tableau n° 8, nous constatons que le chlorure de calcium est plus soluble donc plus mobile.

### 6.2- La mobilité

L'eau qui circule dans le sol notamment celle de gravité véhicule certains éléments, soit en solution, soit sous forme de suspension. Parmi les éléments en solution, les sels solubles qui se distinguent des autres composants du sol du fait de

leur solubilité et leur mobilité. Ils se déplacent dans le sol à travers le profil d'un horizon à un autre sous forme de solutions salines. Leur déplacement dans le profil est intimement lié au mouvement de l'eau du sol sous l'action de l'évaporation. Ils sont transportés par les eaux et sont ainsi soumis à divers mouvements.

### **6.2.1- Les mouvements descendants**

Les mouvements descendants sont plus importants sous les climats suffisamment pluvieux. En conditions humides, il y a altération des minéraux primaires et libérations des ions qui sont entraînés vers le bas, mais ne pouvant pas être éliminés en raison de l'insuffisance ou absence totale de drainage. Ce processus intéresse essentiellement les cations les plus mobiles, il s'agit des cations alcalin et alcalino - ferreux ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ). Cependant, l'altération de ces minéraux ne présentent pas la même solubilité, les monovalents sont plus mobiles que les bivalents (DUCHAUFOR, 1983).

### **6.2.2 - Les mouvements ascendants**

Ces mouvements sont un phénomène inverse du précédent. En conditions sèches, il y a une remontée par capillarité des solutions du sol sous l'influence de l'évapotranspiration. La concentration des solutions s'élève permettant la saturation par le sodium d'une fraction de l'humus et des argiles (DUCHAUFOR, 1983).

Selon SOLTNER (1987) in OMRANI (1993), les concentrations des solutions augmentent, les ions les moins solubles précipitent notamment  $\text{Ca}^{++}$  d'abord puis  $\text{Mg}^{++}$  dans ces conditions. Le  $\text{Na}^+$  se fixe au complexe absorbant en premier lieu.

### **6.2.3 - Les mouvements verticaux et obliques**

Selon DUCHAUFOR (1983), la majorité des migrations est orientée verticalement en milieu filtrant et en topographie horizontale. Dans le cas des migrations obliques ou latérales, interviennent très fréquemment le long des pentes, en topographie et en milieu moins perméable. Les ions en fonction de leur solubilité présents le long des pentes formées de roches cristallines sodiques sont entraînés à des distances variables (DUCHAUFOR, 1976).

## **VII - LES CARACTERISTIQUES DES SOLS SALES**

Les sols affectés par la salinité sont divers, cette diversité est due aux différentes doses d'ions présents dans la solution obtenue d'un extrait aqueux du sol.

Selon SERVANT et SERWAT (1966), cités par RWANIKA (1988), in BENNIA et KENNICHE (2001) l'ion  $\text{Na}^+$  peut se présenter sous trois formes : salinisation, sodisation, alcalinisation.

### **7.1 – La salinisation**

L'ion  $\text{Na}^+$  reste minoritaire dans le complexe absorbant cela est due à une nappe salée contenant des sels de sodium et des alcalino-terreux notamment calcique. La concentration de l'ion  $\text{Na}^+$  est la même que celles des bivalents dans la solution du sol. Le taux de saturation en  $\text{Na}^+$  du complexe ne dépasse pas 10 % (DURAND, 1954 in DUCHAUFFOUR, 1983).

### **7.2 – La sodisation**

Elle est due ou bien à une nappe riche en sels de sodium et pauvre en alcalino-terreux (exemple : d'origine marine), ou bien due à l'altération de la roche mère sodique sous l'effet des conditions climatiques.

Selon SERVANT (1974), le complexe absorbant du sol s'enrichit en  $\text{Na}^+$  et les cations  $\text{Ca}^{++}$  passent en solution. Pour DUCHAUFFOUR (1983), l'échange des ions bivalents notamment  $\text{Ca}^{++}$  du complexe absorbant contre l'ion  $\text{Na}^+$  n'est possible que si la concentration de ce dernier l'emporte de beaucoup de celle de l'ion  $\text{Ca}^{++}$ . Selon KOTTIN et KELLEY (1962) cités par DUCHAUFFOUR (1983), pour que l'influence de l'ion  $\text{Na}^+$  puisse se déterminer, le rapport  $\text{Na}^+/\text{C.E.C}$  doit dépasser 15%.

### **7.3 – L'alcalinisation**

Il s'agit d'un profil dont le complexe sodique n'est plus sous l'action d'une nappe salée mais dépendant des eaux pluviales. L'alcalinisation est liée à la présence d'une concentration élevée de sels alcalins tels que les carbonates de sodium dans la solution du sol. Elle demeure également liée à une saturation partielle du complexe absorbant par l'ion  $\text{Na}^+$ . Le taux de saturation du complexe en sodium constituant un seuil d'alcalinisation se situe autour de 10 à 15%.

## VIII – LA CLASSIFICATION DES SOLS SALES

La tâche de classer les sols halomorphes fut très délicate à cause des nombreuses et différentes origines de salinisation, le choix de critères de classification est relativement vaste et dépendant d'un nombre important des facteurs à prendre en considération. Pour ce là, diverses classifications ont été adoptées presque avec les mêmes conceptions de base et des petites différences.

Nous citons la classification française adaptée par la C. P. C. S (1967) qui tient compte des modifications morpho – génétiques des sols d'une part, d'autre part, elle est utilisée par AUBERT (1975), pour la classification des sols halomorphes de l'Afrique du nord. Nous joignons également, les deux sous classes définies par DUCHAUFFOUR (1983) selon d'autres critères.

### 8.1 – La classification française

Elle insiste sur l'importance des modifications morphologiques et écologiques variables dans le temps subies par les sols dont leur évolution est soumise à l'influence d'un excès de sels ou d'ions résultants de leur dissociation, susceptibles d'engendrer la modification de leurs caractéristiques physiques (AUBERT, 1975).

La classification française adaptée par la C. P. C. S (1967), citée par AUBERT (1975), subdivise la classe des sols sodiques (ou halomorphes) en deux sous-classes.

- **Sous classe des sols halomorphes à structure non dégradée** : caractérisée par les sols renfermant des teneurs notables en sels solubles qui présentent une structure non modifiée et le sodium n'est pas fixé sur le complexe d'une façon importante. La conductivité électrique est supérieure à 4 mmhos/cm à 25°C.

Il en ressort de cette sous classe deux groupes.

*1<sup>er</sup> groupe des sols salins à complexe calci –magnésique* : dont la teneur en sodium échangeable demeure inférieure à 15% et le pH en général inférieur à 8,5.

*2<sup>e</sup> groupe des sols salins à complexe sodique* : sont enrichis de sodium, le rapport  $\text{Na}^+/\text{C. E. C}$  est supérieur à 15% ; la conductivité électrique est supérieure à 8 mmhos/cm à 25 °C, le pH est inférieur à 8,5.

- **Sous classe des sols halomorphes à structure dégradée** : comporte les sols caractérisés par une fixation abondante de sodium sur le complexe absorbant qui présente des structures massive ou en columelles. La dégradation de la structure d'un horizon d'au moins 20 centimètres sous l'influence d'un excès d'ions échangeables alcalins. Le rapport  $\text{Na}^+/\text{CEC}$  variable suivant les sols mais toujours supérieur à 10%.

Cette sous classe est divisée en trois groupes : sols à alcalis non lessivés – sols à alcalis lessivés – sols à alcalis à argile dégradée.

DUCHAUFFOUR (1983) a défini deux sous - classes conformément aux critères indiqués par SZABOLOCS (1974) et la FAO (1974), de la manière suivante :

- **Sous – classe des sols salins** : conductivité électrique supérieure à 4 mmhos/cm à 25 °C au niveau des horizons de surface allant jusqu'à 25 cm, 15 mmhos dans les horizons inférieurs ( de 25 à 125 cm suivant la texture). Le pH demeurant en général inférieur à 8,5. Cette sous – classe comprend, les sols salins à complexe calcique (solontchak calcique) : le rapport  $\text{Na}^+$ / capacité d'échange toujours inférieur à 15 %, d'une part, d'autre part, les sols salins à complexe sodique (solontchack sodique) : le rapport  $\text{Na}^+/\text{CEC}$  est supérieur à 15 %.

- **Sous – classe des sols alcalins** : ce type de sols est caractérisé par une salinité faible, parfois nulle. Le rapport  $\text{Na}^+/\text{CEC}$  demeure toujours supérieur à 15% ; profil A (B) C ou ABC ; alcalinisation signifiante se traduisant par un pH supérieur à 8,5. L'alcalinisation par l'ion  $\text{Na}^+$  déclenche, d'une part la dissolution de la matière organique et d'autre part la dégradation et la dispersion des argiles sodiques, ce qui provoque l'apparition d'une certaines structure particulière caractérisant les sols alcalins.

## **CHAPITRE IV – L' EVOLUTION DE LA SALURE DU SOL SOUS IRRIGATION**

### **Introduction**

Selon RAMADE (1981), la dégradation des sols est le résultat de diverses altérations physico – chimiques qui menacent les sols mis en culture ou dont le couvert végétal spontané a été dégradé du fait de l'exploitation humaine. Parmi ces diverses altérations, il existe la latérisation qui constitue dans les régions tropicales un redoutable obstacle à la mise en culture de nouvelles terres par défrichement des forêts ombrophiles. Ce phénomène résulte de l'effet conjugué des fortes températures et d'une abondante pluviométrie. Les sols latéritiques sont caractérisés par la présence d'une forte teneur en fer et alumine.

L'érosion des sols résultant de l'action conjuguée du déboisement des terres fragiles, de mauvaises pratiques agronomiques qui sont susceptibles de provoquer une érosion des sols aux conséquences catastrophiques.

Enfin, RAMADE (1981) note également que l'altération des sols par les sels résulte de la mise en culture de terres marginales, dotées d'une pluviométrie peu abondante et irrégulière, a provoqué en bien des régions des altérations chimiques irréversibles de la structure du sol. Ce dernier phénomène est l'une des causes de la salinité des sols.

L'intérêt que porte cette partie de l'étude bibliographique est de donner quelques notions de bases relatives à la salinité causée par les eaux d'irrigation; de voir ses actions sur le développement de la salinité dans le sol, son impact sur les cultures et les rendements. En suite, d'évoquer les méthodes de lutte contre ce genre de salinité, et dans un dernier lieu, d'aborder l'importance du problème et son impact socio-économique dans le monde.

### **I - LA SALINISATION SECONDAIRE**

La salinisation secondaire des sols irrigués, s'explique par l'irrigation, avec une eau de mauvaise qualité, un lessivage insuffisant, un drainage déficient, des infiltrations à partir des canaux et des zones adjacentes, la présence d'un niveau phréatique élevé et un taux d'évaporation important (LEGOUPIL, 1974).

Selon RAMADE (1983), le mauvais usage de l'eau, la mise en culture intempestive des terres marginales a conduit en bien des régions à des altérations



chimiques irréversibles de la structure du sol. Dans les pays à climat aride, le mauvais drainage des cultures ou la proximité de la nappe phréatique jointe à la forte évapotranspiration a conduit à une accumulation des sels dans les couches superficielles des sols qui deviennent impropres à toute culture.

Selon DELLAL (1984), l'accumulation excessive des sels résulte d'un climat semi –aride très évaporant, d'une irrigation sans drainage avec une forte salinité dans les sols à texture fine et à stabilité structurale médiocre.

### **1-1- Les processus d'accumulation du sel**

Les sels solubles contenus dans les eaux souterraines ou superficielles, sont susceptibles, de contaminer les sols par une accumulation des produits solubles dans le milieu poreux ainsi que par une modification du complexe adsorbant.

Il en résulte une transformation profonde des propriétés physiques et chimiques du sol, avec pour conséquence la création d'un milieu stérile vis-à-vis de la production agricole.

Selon DURAND (1958), Sur un sol quelconque, une partie de l'eau d'irrigation s'infiltré, l'autre est retenue par le sol. Cependant, cette dernière sous l'influence de forces variées : l'évapotranspiration en reprend, une partie qui reste concentre la solution saline qui va constituer l'eau d'irrigation.

L'évolution de la salure du sol sous irrigation est en fonction de la texture :

- les sols sableux ne risquent pas de se saler puisque les eaux utilisées ne sont pas retenues ;
- les sols à texture moyenne retiennent l'eau dans leurs horizons superficiels donc elle migre vers le haut par des forces capillaires, s'évapore et dépose ses sels ;
- les sols à texture lourde sont plus vulnérables et ont plus de chance de se saler.

### **1.2 – Les facteurs de salinisation**

D'après les auteurs cités su dessus, les facteurs qui interviennent dans le processus de la salinisation secondaire due à l'irrigation sont :

- le climat ;
- le drainage ;
- l'irrigation.

### **1.2.1- L'action du climat**

Les sols salins sont pratiquement inexistants dans les régions humides où la profonde percolation des eaux de pluie entraîne les sels solubles (lessivage climatique) originaires présents dans le sol, ou bien formés à partir de minéraux du sol sous l'action d'agents naturels. Cependant, dans les régions arides ou semi arides, le lessivage et le transport des sels solubles n'existent plus du fait de l'évaporation intense qui caractérise ces climats favorisant la concentration des sels dans le sol.

### **1.2.2 – L'action du drainage**

Les conditions d'un mauvais drainage sont :

- une faible perméabilité du sol empêchant les mouvements de l'eau ;
- une texture ou une structure défavorable du sol ;
- et enfin, la présence de « couches restrictives » imperméables caractérisées par des couches d'argile ou de semelles de labour.

### **1.2.3 – L'action de l'irrigation**

L'irrigation ne fait qu'aggraver ce problème, en effet les sels sont apportés dans le sol à chaque irrigation, la culture prélève dans le sol ses besoins en eau en laissant sur le sol une solution très concentrée en sel. Cette concentration sera encore très importante par l'irrigation suivante (BENNANIA et KENICHE, 2001).

Selon LEGOUPIL (1974), cette salinisation par l'irrigation est le fait :

- d'un mauvais choix des sols irrigables ;
- des eaux d'irrigation qui peuvent contenir jusqu'à quatre tonnes de sels par mille m<sup>3</sup> d'eau.

### **1.3 – La salure et mode d'irrigation**

D'après les résultats du centre de recherche sur l'utilisation de l'eau salée en irrigation (CREUSI, 1970) cités par LEGOUPIL (1974) obtenus dans la zone de CHERFECH en Tunisie, par la comparaison de trois modes d'épandage (Tableau n°9) pendant une durée de quatre années ; Il en résulte que la salure est liée aux mouvements de l'eau en surface comme dans la masse de terre. Cependant, qu'au niveau des planches la salure est relativement homogène les couches supérieures

étant un peu moins salées. Dans les billons, la salure est hétérogène, la couche supérieure se distingue nettement des couches sous-jacentes par une teneur en sel élevée. Dans les parcelles irriguées par aspersion, dans l'horizon superficiel la salure est maximum.

TABLEAU n° 9 : la comparaison de trois modes d'irrigation

	Mode d'épandage		
	Billon	Planche	Aspersion
Apport d'eau pour la saison			
En mm	414	494	423
C.E en mmhos/cm			
Couche 0 –20 cm	6.3	4.8	6.8

## II - LA QUALITE DES EAUX ET LEURS CLASSIFICATIONS

Toutes les eaux naturelles contiennent des sels minéraux en solution. C'est la concentration et la proportion de ces sels qui déterminent les possibilités d'utilisation. Leur qualité est donc fonction de : la quantité totale des sels dissous et de leur nature (ANONYME, 1993).

La teneur totale en sels, exprimée en grammes/litre, en m.e/l, en ppm ou d'après la conductivité électrique en micromhos/cm à 25 ° C, fournit une indication sur la qualité de l'eau et le risque de salinité qui en découle. A cet égard, plusieurs classifications :

### 2.1 – La classification américaine du Salinity Laboratory de Riverside

(RICHARD et al. 1954)

Les américains ont déterminé quatre classes d'eaux d'irrigation en fonction de leur conductivité et qui sont adoptées en Afrique du Nord par DURAND (1958).

Le tableau n° 10 comporte la classification des eaux d'irrigation en fonction de leur conductivité électrique et de leur teneur en sel exprimée en gramme par litre.

TABLEAU n° 10 : la classification des eaux

Classe	Conductivité $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C	Salinité de l'eau d'irrigation	Concentration g/l
C 1	< 250	Basse	< 0,16
C 2	250 à 750	Moyenne	0,16 à 0,48
C 3	750 à 2250	Elevée	0,48 à 1,44
C 4	> 2250	Très élevée	> 1,44

Il en ressort de ce tableau que la conductivité électrique est élevée plus l'eau devient de moins en moins bonne pour l'irrigation.

C1 – Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur une grande majorité de sols avec peu de chance d'apparition de salinité de sol. Cependant, un léger lessivage est indispensable, mais il se rencontre en irrigation normale sauf en sol peu perméable.

C2 - Utilisables si un léger lessivage se produit. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité.

C3 - Non souhaitable dans les sols à drainage restreint. Même en présence d'un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité s'avèrent nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance peuvent seules être cultivées.

C4 – En principe sont inutilisables pour l'irrigation. Les eaux peuvent être utilisées exceptionnellement, les sols doivent être perméables, le drainage assuré et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour garantir un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées doivent être alors très tolérantes aux sels.

## 2.2 - La classification U. R. S. S.

Cette classification établie par VAN HOOR (1970) citée par LEGOUPIL (1974) est basée essentiellement sur la teneur en sels exprimée en g/litre.

0,2 – 0,5 Correspond à une eau de meilleure qualité,

1 à 2 Eau comportant des risques de salinité,

3 à 7 Eau ne pouvant être utilisée pour l'irrigation à condition d'assurer un lessivage et un drainage parfait.

### 2.3 – La classification de DURAND pour L’Afrique du Nord

Selon DURAND (1958), l’eau d’irrigation n’a pas, en elle même, de qualité. Son utilisation possible dépend du sol et de la culture pratiquée qui en détermine la qualité. En effet, une eau peut être mauvaise en terrain imperméable alors quelle convient très bien en terrain léger ou sableux. Il faut donc tenir compte de trois éléments d’appréciation : l’eau, le sol et la plante. Pour cela, DURAND (1958) a établie une classification à partir des essais et des observations en Algérie tout en admettant qu’il existe de bonnes conditions d’irrigation et de drainage.

Tableau n° 11 : Limite supérieure admissible de la conductivité de l’eau en fonction de la tolérance de la culture aux sels et la texture du sol.

a) Les plantes peu tolérantes aux sels (= limite 4 mmhos/cm à 25 °C dans l’extrait saturé de pâte de terre)

TABLEAU n° 11(a)

Texture	limite supérieure de la conductivité de l’eau d’irrigation ( $\mu$ mhos/cm à 25 °C)
Sable	2 500
Limon sableux	1 600
Limon	1 000
Limo argile	800
Argile (irrigation normale)	400
argile (irrigation continue)	800

b) Les plantes moyennement tolérantes aux sels (= limite 10 mmhos/cm à 25 °C dans l’extrait saturé de pâte de terre)

TABLEAU n°11 (b)

Texture	Limite supérieure de la conductivité de l’eau d’irrigation ( $\mu$ mhos/cm à 25°C)
Sable	6 500
Limon sableux	4 000
Limon	3 000
Limon argile	2 000
Argile (irrigation normale)	1 000
Argile (irrigation continue)	2 000

c) Les plantes très tolérantes aux sels

TABLEAU n° 11(c)

Texture	Culture	Limite supérieure de la conductivité de l'eau d'irrigation ( $\mu\text{mhos/cm}$ à 25 °C)
Sable	Palmier	20 000
		15 500
	culture maraîchère	8 000
	Fourrage	12 000
	Grande culture	10 000
Limon sable	Palmier	6000
		10000
	culture maraîchère	4500
	Fourrage	7000
	Grande culture	6000
Limon	Palmier	8000
	culture maraîchère	3500
	Fourrage	5000
	Grande culture	4500
Limon argile	Palmier	6000
	culture maraîchère	2400
	Fourrage	3500
	Grande culture	3000
Argile	Palmier	3000
	culture maraîchère	1200
	Fourrage	1800
	Grande culture	1600

## CHAPITRE V – L'ACTION DES SELS SUR LES PROPRIETES DU SOL

### I- LES EFFETS DES SELS SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DU SOL

SIGALA et *al.* (1989) cités par BENNIA et KENNICHE (2001), 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 concerné principalement la perméabilité et la stabilité structurale.

### **1.1- Les 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 absorbant (KIMPER et KOCH, 1966) cités par GASMI (1988).

HENIN en (1977) cité par BENZAHY (1990) a constaté que 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) cité par SAIDI (1985) in MARIH (1991). 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  $K^+$  modifie 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, DAOUD (1978) in 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  $Na^+$ ) ;

- 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  $Ca^{++}$ ).

### **1.2 – L'effet 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.

Selon JENVIT (1966), AUBERT (1986), cités par GASMI (1989), la circulation de l'eau dans les sols salins dépend surtout en saison sèche essentiellement de leur texture et de leur structure, elle devient difficile dès que, le sol est saturé, elle se fait très lentement par diffusion.

La réduction de la perméabilité des sols salés est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par le sodium échangeable (SHAIMBERS, 1979) cité par KOURDALI (1989) in MARIH (1991).

La diminution de la perméabilité est fonction de l'ion accompagnateur du sodium, elle diminue dans le sens suivant :



REMY (1966) 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  $\text{K}^+$  (AHMED et *al.*, 1969), cités par ADADA (1986) in MARIH (1991).

Selon RICHARDS (1954) in AIT HOCINE (1993), 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.

### **1.3 – L'action des sels sur la rétention de 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.

## **II – L'ACTION DES SELS SUR LES PROPRIETES MECANIQUES DU SOL**

### **2.1 – L'action des sels sur les limites d'ATTERBERG**

Selon HENIN et *al.* (1969), le passage d'un échantillon de sol de l'état solide à l'état plastique puis à celui de liquide croît en fonction de son humidité. ATTEBERG (1912) a défini ainsi, par des tests des humidités critiques permettant de fixer les limites de chacun de ces états :

- limite inférieure de plasticité caractérisée par l'humidité minimale ;
- limite supérieure de plasticité ou limite de liquidité.



Cependant, MARIH (1990), note que les limites d'ATTEBERG restent intimement liées aux paramètres suivant : à savoir, la texture, la matière organique, la structure, le type d'argile et la garniture ionique du complexe.

La nature des cations saturant le complexe absorbant n'a pas les mêmes influences sur la plasticité et la liquidité, ainsi que sur la nature minéralogique de l'argile.

Selon SWALFERY et *al.* (1969), cités par BENZAHY (1990), le sodium diminue les limites de plasticité par contre le potassium l'augmente et diminue celui de liquidité. Le calcium et le magnésium exercent l'effet inverse du potassium.

## **2.2 – L'action des sels sur le gonflement**

Le gonflement des feuillets d'argile demeure étroitement lié à la nature minéralogique de l'argile, ainsi qu'aux nombres des cations inter – foliaires.

Selon HENIN et *al.* (1969), dans le cas où les cations échangeables fixés sont à peu près les mêmes, plus les terres ont tendance à gonfler, plus le pourcentage de particules stables est élevé. La terre en présence de sodium qui est fixé gonfle plus que la même terre ayant fixé du calcium. Ils notent également, qu'en présence de quantités suffisamment élevées de sodium, le gonflement est tel qu'il aboutit à la séparation des particules argileuses ; il y a dispersion. Il s'ensuit une dislocation rapide des agglomérats initiaux. Cependant, cette évolution est d'autant grave qu'elle conduise à la libération des particules élémentaires les plus fins. L'état physique devient alors défavorable.

## **III – L'ACTION DES SELS SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL**

La disponibilité de l'eau dans le sol diminue au fur et à mesure que la concentration de la solution du sol devient importante. Cette mauvaise rétention de l'eau dans le sol peut provoquer des conditions de stress osmotique aux végétaux.

Plus la teneur en sels dissous augmente dans un sol, moins il existe d'eau disponible pour les plantes. Sur le plan pratique, il est conseillé d'irriguer davantage plus le sol est salé (ANONYME, 1982).

En dehors de cette action, la prédominance de certains ions comme  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$  peut être toxique.

En fin l'augmentation du pH observée dans ces sols est susceptible d'induire des carences en certains éléments (ZAOUI, 1989 in AIT HOCINE, 1993).

La dissolution des sels agit aussi en perturbant l'évaluation de la C. E. C lors de sa détermination. En effet, cette dissolution met en compétition l'ion  $\text{Ca}^{++}$  des sels les plus fréquents (calcites, gypse) avec l'ion saturant. Si ce dernier est un monovalent, sa rétention sur le complexe absorbant par rapport au calcium sera faible, on aura donc une sous estimation de la C. E. C, (GALLEZ et *al.*, 1981 ; EBERL, 1983) cités par FEKNOUS (1984 ).

#### **IV – L'EFFET DES SELS SUR LES PROPRIETES BIOLOGIQUES DU SOL**

La pression osmotique de la solution des sols salés augmente en fonction de la richesse en sels et sa conductivité ce qui rend l'alimentation en eau des plantes et celle des 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) cité par AUBERT (1982).

##### **4.1- L'effet de la salure sur les micro-organismes du sol**

Les sols constituent pour de nombreuses 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 (DAOUD ,1988) cité par SAHRAOUI (1992).

A titre d'exemple, les micro-organismes fixateurs d'azote telles que les bactéries ne se multiplient pas ou meurent quand la teneur en sel varie de 2 à 5% RANKOVIN cité par SAHRAOUI (1992).

Les teneurs en sels sont supérieures à 0.5% nuisent 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 mmhos/cm) 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 microbienne 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). Cette action néfaste qu'est l'inhibition des nitrificateurs est évoquée par DURAND (1958).

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.

## **CHAPITRE VI – LES EFFETS DE LA SALINITE SUR LA PLANTE**

### **I – LE CLASSEMENT DES VEGETAUX EN FONCTION DE LEUR RESISTANCE A LA SALINITE**

**1.1 - Les plantes halophytes :** sont des espèces qui s'y trouvent sur des substrats pourvus et riches en chlorures. Elles sont susceptibles de supporter la salure et qui sont en mesure de croître, se développer et terminer leur cycle reproductif. La famille des Chénopodiacées fournit le contingent majoritaire dans ce type de peuplement (OZENDA ,1983).

**1.2 – Les plantes pseudo halophytes :** sont des plantes que l'on rencontre occasionnellement dans les mêmes habitats que les précédents à condition que la saison plus pluvieuse ayant diminuée (lessivage climatique) momentanément et d'une façon sensible la salinité ( WEISEL, 1972 in ANONYME ,1982).

**1.3 - Les plantes semi – halophytes :** se rencontrent à la fois sur des substrats non salins et sur des sols dont le niveau de salinité est relativement faible.

**1.4 - Les plantes glycophytes :** sont des végétaux que l'on ne trouve jamais naturellement sur des substrats salins. Le fait d'être cultivés sur sols riches en sels, leur croissance est freinée et leurs rendements baissent très sensiblement.

### **II – L'INFLUENCE DE LA SALINITE SUR LA CROISSANCE DES ORGANES**

#### **2.1 – L'Influence de la salinité sur la germination**

Une faible augmentation de la salinité du milieu peut être à l'origine du retard de la germination sans pour autant, diminuer le pourcentage de grains germés. Une forte salinité affecte l'énergie et le pouvoir germinatif de nombreuses espèces (ANONYME, 1982).

Le sel peut inhiber la germination de deux façons : en empêchant l'absorption d'eau par l'embryon à cause du haut potentiel osmotique du milieu ou par l'empoisonnement de l'embryon du aux effets toxiques de certains ions.

Cependant, NOVIKOFF (1946), cité par DURANT (1958), a étudié ce phénomène *in vitro*, en faisant germer des graines de plantes potagères dans des solutions de plus en plus concentrées à base, de chlorure de sodium, de chlorure de calcium et de chlorure de magnésium. Cette expérience a montré qu'au début les résultats obtenus avec ces trois sels sont très voisins les uns des autres, confirment ainsi l'absorption de l'eau par osmose puis des phénomènes de durcissement des téguments interviennent et freinent l'absorption, surtout pour les solutions de chlorure de calcium. Ceci retarde généralement la germination mais ne la compromet pas définitivement.

Le comportement d'une espèce vis à vis de la salinité au moment de sa germination ne constitue guère un présage de résistance de la plante aux stades de développement ultérieurs. C'est ainsi que les glomérules de betteraves leur taux de germination diminue de moitié à 15 jours, lorsque la conductivité électrique atteint 9 mmhos/cm, alors que cette plante n'est pas affectée au niveau de la production par une telle salinité.

Par ailleurs, le taux de germination du maïs diminue de moitié lorsque la conductivité électrique atteint 14 mmhos/cm. Par contre 9 mmhos/cm déprime de 50 % les rendements (ANONYME, 1982).

D'autres résultats obtenus en Tunisie par le CRUESI, confirment que la germination du maïs n'est retardée par la salure que pendant les 6 jours qui suivent le semis, tandis que le retard à la germination des tomates est très prononcé et peut atteindre 12 jours.

Plusieurs chercheurs, cités par BENNIA et KENNICHE (2001), ont examiné la question de germination en vue d'augmenter la résistance des plantes à la présence des concentrations élevées de sel :

- le pré traitement des semences avec Na Cl avant d'être mises à germer, semble augmenté le rendement (HENKEL et STROGONOV, 1962) ;

- la même chose a été signalée par CHAUDHURI et WIEBE (1968) en précisant que les semences traitées avec  $\text{CaCl}_2$  donnent de meilleurs résultats que celles traitées avec Na Cl.

## **2.2 – L'influence de la salinité sur les organes**

Des expériences menées sur la salinité montrent que le rapport pondéral entre la partie aérienne et la partie souterraine de la plante varie avec la conductivité électrique du milieu. En effet, il en résulte que la partie souterraine est la première affectée.

Les dimensions des feuilles diminuent avec l'augmentation de la salinité, par contre parallèlement leur épaisseur et la succulence augmentent (ANONYME, 1982).

## **2.3 – L'influence de la salinité sur le métabolisme**

L'augmentation de la salinité du milieu se répercute sur une série de processus biochimique et métabolique. Elle est ressentie différemment au niveau des phénomènes respiratoires :

- chez les halophytes la respiration diminue lorsque la salinité augmente ;
- chez les semi – halophytes, les phénomènes respiratoires diminuent en premier lieu, puis s'activent lorsque l'optimum de salinité est dépassé ;
- finalement, chez les glycophytes, la respiration augmente directement avec l'élévation de la salure du milieu (WAISEL, 1972 in ANONYME ,1982).

En général, la synthèse des protéines est fortement perturbée et des substances toxiques comme l'ammoniaque peuvent s'accumuler dans la cellule et en même temps troubler la physiologie. L'activité enzymatique est modifiée par la salinité surtout les enzymes impliquées dans le transfert d'énergie (ANONYME, 1982).

En plus, de l'influence causée par les sels sur le métabolisme engendrant des troubles respiratoires, d'autres effets d'ordre physiologique, sur la transpiration et la turgescence de la plante peuvent avoir lieu.

## **2.4- La diminution de la transpiration et de l'absorption de l'eau**

D'après DURANT (1973), 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 (GALE *et al.*, 1967 ; MEIRI et POL JAKOF MAYBER, 1970) et de nombreux halophytes (KAPLAN et GALE, 1972) en l'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.

## **2.5- La variation de la turgescence**

Les plantes qui ajustent leur concentration en présence du sel parviennent facilement à extraire l'eau des milieux salés et en réduisant leur transpiration elles parviennent à maintenir leur turgescence. Concernant, les plantes incapables de réaliser un ajustement osmotique complet en raison d'une absorption insuffisante de sel, la turgescence s'effondre malgré la diminution de la transpiration (GALE *et al.* 1967 in DELLAL, 1994).

## **III - LES EFFETS DE LA SALINITE**

Ces effets entraînent une perturbation du fonctionnement de la plante et se traduisent inévitablement par une diminution de la production. Ils se manifestent généralement par une diminution de la croissance des plantes et parfois par un arrêt total avec de grandes différences de taille, le tout se traduit souvent par une baisse de rendement. Pour STROGONON (1964), cité par BENNIA et KENNICHE (2001) la salinité est l'un des facteurs limitant de la croissance des plantes. En effet, cette limite peut être traduite par l'arrêt complet de la croissance ou par le dépérissement des tissus sous forme de nécroses marginales suivi par une perte de turgescence, chute des feuilles et finalement mort de la plante. D'une manière générale, la hauteur, le diamètre des tiges et celui des troncs des différentes espèces étudiées ainsi que la grosseur des fruits diminuent en présence d'une salinité importante.

### 3.1 - Les effets de la pression osmotique

Les plantes absorbent l'eau du sol par un phénomène d'osmose, cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de leurs sèves et de la solution du sol or la pression osmotique d'une solution est reliée à sa conductibilité électrique (THORNE, 1950 in ANONYME,1982), autrement dit, dans un milieu plus la salinité augmente plus la pression est élevée, dans de telles conditions les plantes sont obligées d'ajuster leurs pression osmotique pour pouvoir absorber de l'eau convenablement.

GOUNY et CORNILLON (1983) ont étudié l'influence de la salinité sur des végétaux des études réalisées en absence de sol, en cultures hydroponiques et en vases de végétation sur substrat inerte. Il en résulte que l'augmentation des sels dans le milieu exploité par les racines a de multiples influences sur la croissance des végétaux notamment sur la pression osmotique.

Les éléments salins accumulés dans le sol peuvent limiter ou freiner la croissance du végétal. Cette action inhibitrice est liée à l'élévation de la pression osmotique de la solution du sol en relation avec l'augmentation de sa concentration saline. La pression osmotique du végétal est normalement supérieure à celle du milieu ambiant. Lorsque la pression osmotique du milieu s'élève le végétal engage un processus d'augmentation de sa propre pression interne par une absorption accrue d'éléments minéraux s'accompagne d'effets destructeurs des cellules végétales. Cette action freinante de la pression osmotique est responsable de la diminution de croissance ou de production remarquée chez la plupart des plantes glycophytes.

LEVITT (1972) in HAMZA (1979) cités par BENNIA et KENNICHE (2001), note que les plantes halophytes, grâce à la présence de solutés organiques dans leurs cellules modulent leur pression osmotique intracellulaire en fonction de la pression osmotique du milieu. Pour la majorité des espèces, la restauration du gradient du potentiel hydrique à la fin de l'ajustement osmotique restitue à la plante sa capacité d'absorber l'eau ; la sécheresse physiologique induite par les effets osmotiques de la salinité ne touche que les plantes qui n'ajustent pas leurs concentrations (KHORY 1969) ou celles qui les ajustent incomplètement (BERNSTEIN et HAWAR, 1958) (GALE et al., 1967).

### 3.2 – Les effets spécifiques des ions

Les ions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{SO}_4^{--}$ , susceptibles de s'accumuler dans le sol jouent un rôle actif dans la nutrition minérale des végétaux et font partie avec  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{SO}_4^{--}$  des macro-éléments indispensables. D'autres ions communément rencontrés dans les sols salins et/ou alcalins,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$  et  $\text{HCO}_3^-$ , n'ont aucun rôle majeur dans la nutrition minérale. Cependant, l'ion  $\text{Na}^+$ , semble se substituer à l'ion  $\text{K}^+$  aurait un effet utile car il augmente assez sensiblement la production des plantes halophytes.

### 3.3 – Les effets nutritionnels des équilibres ioniques

A ce titre des expériences menées par BOLYN (1974) in ANONYME, 1982), montrent au contraire avec les plantes tolérantes aux sels ou avec des halophytes (*Atriplex*), l'augmentation de la concentration saline du milieu se traduit par une production accrue ; néanmoins, ce n'est qu'à partir d'un certain niveau de salinité que les rendements ont tendance à baisser.

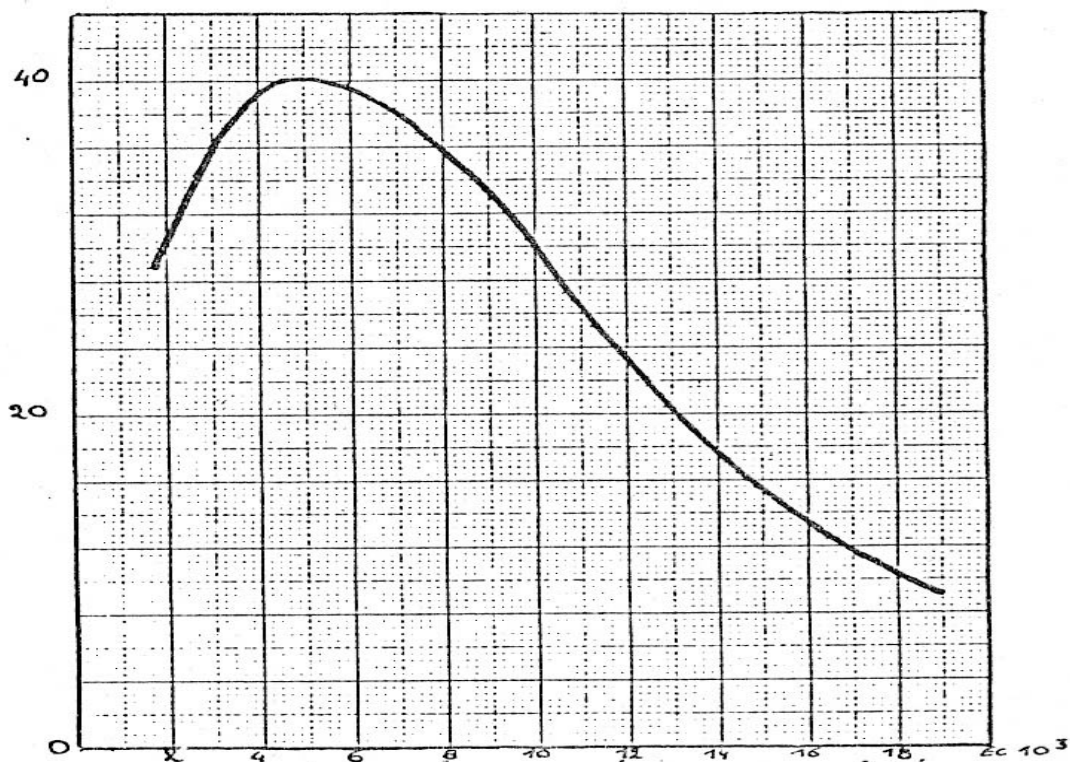


Figure n°2 : les effets de la concentration saline sur les plantes halophytes  
BOLYN ,1974 in ANONYME (1982)



Au fur et à mesure que la salinité du milieu augmente, le végétal dispose d'un nombre croissant d'ions lui permettant d'élaborer davantage la matière sèche. Cependant, à mesure que cette disponibilité augmente, la pression osmotique s'élève du milieu et s'oppose de plus en plus à la pénétration de l'eau au niveau des racines. Ce phénomène s'accompagne par une diminution de la production.

### **3.4 – L'effet sur l'alimentation minérale**

Par suite de leur accumulation dans la solution du sol, les différents anions et cations responsables de la salinité des sols peuvent induire des effets dépressifs sur la croissance des végétaux.

Cependant, au niveau d'un sol, il paraît difficile d'établir un diagnostic précis quant à l'ion responsable des dommages observés sur le végétal (ANONYME 1982).

### **3.5 – Les phénomènes d'intoxication dus aux anions**

#### **• Les chlorures**

Les symptômes d'intoxication au chlore se manifestent pratiquement par des brûlures des extrémités des feuilles, qui, par la suite peuvent s'étendre et gagner tout le limbe. L'accumulation des chlorures dans un sol est généralement mal supportée par les végétaux ligneux tels que les arbres fruitiers : à savoir ceux à noyaux, ainsi que les agrumes, vigne ect...

#### **• Les sulfates**

Selon HAYARD et SPUUR (1944), FISHER (1967) in ANONYME (1982), une teneur élevée en sulfates solubles aurait une action dépressive nettement plus marquée au niveau de la production fruitière que sur la croissance végétative, pour des cultures telles que lin et la tomate.

Un excès de sulfate se manifeste par des marbrures jaunâtres et bronzées au niveau des feuilles qui finissent par tomber.

#### **• Les bicarbonates**

La toxicité des bicarbonates se traduit le plus souvent par des signes de chloroses. HARLEY et LINDER, cités par HAYARD (1957) in ANONYME (1982)

signalent des symptômes de toxicité chez les pommiers irrigués avec des eaux riches en bicarbonates.

- **Le bore**

Selon DURANT (1958), le bore est très toxique pour certaines plantes et la concentration qui gêne les plantes sensibles, est souvent voisine de celle qui est indispensable à la croissance des plantes tolérantes : à titre d'exemple une eau d'irrigation contenant 1 mg/l présente des symptômes de gêne pour les agrumes tandis que la luzerne aura un maximum de croissance avec 1 à 2 mg/l de cet élément.

### **3.6 – Les phénomènes d'intoxication dus aux cations**

- **Le sodium**

On admet que le sodium intervient d'une façon particulière dans la classification des sols. La raison principale est que le sodium outre des effets de toxicité spécifique a un rôle néfaste sur la structure du sol. L'excédent de sodium entraîne des brûlures caractéristiques aux feuilles chez les plantes sensibles. L'ion sodium est bien toléré par les plantes halophytes.

- **Le calcium**

De fortes concentrations de calcium dans les solutions du sol sont compromettantes à de nombreuses plantes. Les plantes halophytes et les semi halophytes ne supportent guère de hautes teneurs en cet élément.

On considère en première approximation qu'au dessous de 0,5 me/100g de Ca échangeable la réussite de la plupart des cultures est aléatoire, tandis qu'un niveau convenable se situe à partir de 2-3 me/100 g de Ca échangeable (ANONYME, 1993).

- **Le magnésium**

L'accumulation de cet ion ( $Mg^{++}$ ) est rapidement toxique pour certaines plantes et cette toxicité est d'autant plus importante quand les pourcentages de calcium sont peu élevés (RATNER, 1935 in ANONYME, 1982).

### 3.7 – Les carences

Tous les auteurs s'accordent pour signaler le phénomène de compétition entre  $K^+$  et  $Na^+$  en présence de fortes concentrations en Na Cl et parfois on a montré un échange au niveau de la vacuole entre le  $Na^+$  et  $K^+$ , ainsi GIORGI et *al.* (1967) notent les effets marqués de manque de  $K^+$  dans la croissance de *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum* et *Citrus aurantium* en présence de chlorure de sodium. La carence en potassium n'est pas la seule conséquence d'excès du chlorure de sodium, car celui-ci induit également une carence en phosphore total et en phosphore inorganique chez la tomate par exemple (ZMOKOV SKAYA ,1962) cité par LEVIT ( 1972) in BENNIA et KENNICHE (2001).

GREENWAY (1963) cité par ces derniers note en cas d'augmentation de la concentration en Na Cl, une diminution de la somme des concentrations des nutriments.

### 3.8 – Les effets sur les rendements

Les différentes études menées par BERNSTEIN (1974), HUTCHINSON (1973), RICHARDS (1969) et SIMONNEAU et AUBERT (1963), montrent quelque soit le type de végétal, ne peut tolérer la salinité au delà de son seuil de résistance. Il en résulte que pour les plantes glycophytes la salinité freine leur croissance, pour les halophytes diminue leur production (tableau n°14). Par ailleurs, Selon EILERS et *al* (2001), au Canada une salinisation modérée ou forte fait diminuer d'environ 50% les rendements annuels de la plupart des cultures céréalières et oléagineuses, notamment au niveau des territoires agricoles des prairies (Manitoba, Alberta).

TABLEAU n° 12 : les effets des sels sur les rendements

Conductivité extrait saturé (mmhos /cm à 25 °C)	Tolérance des plantes	Plantes pour lesquelles le rendement est diminué à cause d'une salinité élevée par à peu près
		10% <span style="float: right;">50%</span>
0 à 2	Presque toutes les plantes donnent un bon rendement	<i>Phaseolus vulgaris</i> (haricot vert)
2 à 4	Bon rendement sauf des plantes sensibles	<p>CULTURES MARAICHAIRES</p> <p><i>Apium graveolens</i> (céleri) <span style="float: right;"><i>Phaseolus vulgaris</i></span>  <i>Pisum sativum</i> (pois)  <i>Curcubuta sp.</i>(courge,courgette)  <i>Cucumis sativus</i> (concombre)  <i>Piper sp</i> (poivre)  <i>Cucumis melo</i>(melon)  <i>Citrullus vulgaris</i> (pastèque)  <i>Solanum tuberosum</i> (p de terre)  <i>Daucus carota</i> (carotte)  <i>Lactuca sativa</i> (laitue)  <i>Brassica sp.</i>(chou, chou fleur Navet etc.)  <i>Capasicum anuum</i> (piment poivron)</p> <p>CULTURES PERENNES  <i>Malus, Pyrus et Prunus sp.</i> (pommier, poirier, abricotier, amandier, pêcher)</p>
4 à 8	Bon rendement seulement pour les plantes tolérantes	<p>CULTURES MARAICHERES</p> <p><i>Lycopersicum esculentum</i> (tomate) <span style="float: right;"><i>Apium graveolens</i></span>  <i>Allium sp.</i>(ail, oignon, poireau) <span style="float: right;"><i>Pisum sativum</i></span>  <i>Vicia faba</i> (fève) <span style="float: right;"><i>Curcubuta sp.</i></span>  <span style="float: right;"><i>Piper sp.</i></span>  <span style="float: right;"><i>Cucumis melon</i></span>  <span style="float: right;"><i>Citrullus vulgaris</i></span>  <span style="float: right;"><i>Solanum tuberosum</i></span>  <span style="float: right;"><i>Daucus carota</i></span>  <span style="float: right;"><i>Lactuca sativa</i></span>  <span style="float: right;"><i>Brassica sp.</i></span>  <span style="float: right;"><i>Capsicum anuum</i></span></p> <p>CULTURES PERENNES <span style="float: right;"><i>Malus, pyrus et Prunus sp.</i></span></p>

.....

Conductivité extrait saturé (mmhos /cm à 25 °C)	Tolérance des Plantes	Plantes pour lesquelles le rendement est diminué à cause d'une salinité élevée par à peu près
		10% <span style="float: right;">50%</span>
4 à 8		CULTURES FOURRAGERES <i>Hordeum vulgare</i> (orge)  CULTURES DES CHAMPS <i>Sorghum vulgare</i> (sorgho) <i>Zea mays</i> (maïs) <i>Avena sativa</i> (avoine) <i>Triticum sp</i> (blé)
8 à 16	Bon rendement seulement pour les cultures tolérantes	CULTURES MARAICHERES <i>Lycopersicum esculentum</i> <i>Allium sp</i> <i>Vicia faba</i>  CULTURES PERENNES <i>Olea europaea</i> <i>Ficus carica</i> <i>Punica granatum</i>  CULTURES FOURRAGERES <i>Hordeum maritimum</i> <span style="float: right;"><i>Horeum vulgare</i></span> (orge maritime) <i>Atriplex nummularia</i>  CULTURES DES CHAMPS <i>Hordum sativum</i> (orge) <span style="float: right;"><i>Sorghum vulgare</i> (sorgho)</span> <span style="float: right;"><i>Oryza sativa</i> (riz)</span> <span style="float: right;"><i>Zea mays</i> (maïs)</span> <span style="float: right;"><i>Avena sativa</i> (avoine)</span> <span style="float: right;"><i>Triticum sp</i> (blé)</span> <span style="float: right;"><i>Secale cereale</i> (seigle)</span>
> 16	Seulement les plantes tolérantes peuvent être cultivées avec un rendement plus faible	CULTURES FOURRAGERES <span style="float: right;"><i>Hordeum maritime</i></span> <span style="float: right;"><i>Atriplex nummularia</i></span>  CULTURES DE CHAMPS <span style="float: right;"><i>Hordeum sativum</i></span>

## **CHAPITRE VI – LES METHODES DE LUTTE CONTRE LA SALINITE**

La mise en valeur des périmètres irrigués n'est possible que par l'étude de certains éléments du milieu et l'application au préalable de techniques appropriées permettant la durabilité des ressources naturelles mobilisées. Plusieurs solutions sont envisagées pour atteindre cet objectif.

### **I – L'APTITUDE D'UN SOL A L'IRRIGATION**

L'irrigation d'un périmètre nécessite des travaux onéreux ; à cet effet, le choix du terrain à irriguer doit être fait judicieusement. Il conviendra d'étudier tous les facteurs écologiques influant sur la conduite d'une irrigation rationnelle. Les principaux éléments à prendre en considération et qui vont déterminer le mode d'arrosage sont : le sol, la topographie, le drainage, et l'eau d'irrigation (ANONYME, 1993).

#### **1.1 - Le sol**

Il convient d'étudier en priorité les propriétés physiques du sol, car celui-ci peut être assimilé à la fois à un support permettant l'avance de l'eau et un réservoir. Cependant, il faut tenir compte de :

- la profondeur du sol utilisable par les racines ;
- la charge caillouteuse ;
- la texture, la perméabilité
- la structure ; la capacité de rétention de l'eau ;
- la présence de sels solubles ou de sodium échangeable ;
- la présence d'éléments toxiques.

#### **1.2 – La topographie**

La pente : elle conditionne le mode d'irrigation et la culture à mettre en place.

Le micro – relief : s'il est prononcé obligera des travaux de nivellement.

#### **1.3 - Les eaux d'irrigation**

En fonction de leurs origines, les eaux d'irrigation contiennent une certaine quantité de sels. Il s'avère que chaque irrigation ajoute une quantité de sels au sol. A titre d'exemple une eau contenant 1g/litre (1000 ppm) de sels solubles apportera pour

une irrigation de 800 mm (8000 m<sup>3</sup>/ha) 08 tonnes de sels à l'hectare. En absence de mesures de précaution ces sels s'accumulent dans les cinquante premiers centimètres du profil et leur teneur augmentera au fil des années (1% en 10 ans) (LEGOUPIL, 1974).

Cependant, la concentration et la proportion des sels que renferment les eaux, vont déterminer les possibilités d'utilisation et les cultures à mettre en place pour éventuellement aboutir à une rentabilité économique.

## **II – LES MESURES DE PRECAUTION**

### **2.1 - Le drainage:**

Selon DURAND (1958), la mise en valeur des terrains salés n'est possible que par l'élimination des sels solubles qu'ils contiennent, par la combinaison de l'irrigation et le drainage. La seule méthode est la submersion en bassins.

Selon LEGOUPIL (1974), le drainage, de même que l'irrigation, reste une opération qui a pour but principal de maintenir l'humidité du sol dans les limites requises.

Dans les régions humides et sub – humides, Il consiste à évacuer les pluies trop abondantes ou les excédents d'eau d'irrigation, et de garder la nappe phréatique à niveau optimum pour assurer une bonne croissance des cultures.

Dans les régions arides et semi – arides, où l'agriculture dépend énormément de l'irrigation, le drainage à pour but : d'éliminer l'eau excédentaire, d'assurer un bilan de salinité satisfaisant et finalement de maintenir la nappe phréatique à une profondeur compatible avec les culture à mettre en place.

Le drainage doit être vu dans son ensemble ; l'étude de tous les facteurs pouvant entrer en ligne de compte devient primordiale comme :

- la position de la zone à irriguer par rapport au bassin versant ;
- le régime des crues de rivières et zone inondables ;
- l'imperméabilité des horizons de surface ;
- la perméabilité des horizons profonds ;
- la profondeur de la nappe phréatique et la composition chimique de ses eaux.

En tenant compte de tous ces facteurs avec l'usage des différentes techniques de drainage ( drains ouverts ou enterrés puits drainant) dans les sols susceptibles

d'être menacés par la salinité, l'évacuation d'une partie des eaux chargées vers des endroits où, les sels peuvent être stockés sans porter préjudice.

## **2.2- Le nivellement du terrain**

Les sels se concentrent dans les points hauts où l'infiltration et le lessivage sont trop faibles alors que l'eau s'accumule dans les dépressions générant un engorgement du terrain et d'éventuels problèmes de drainage. Le contrôle de la salinité est difficile à réaliser si le terrain n'est pas suffisamment nivelé pour permettre une distribution d'eau uniforme.

Selon MIHAI et DINCU (1976), le nivellement du terrain et émiettement de la couche superficielle du sol uniformisent les conditions d'infiltration de l'eau et du lavage des sels solubles ; ils évitent ainsi l'accumulation et la stagnation de l'eau dans les microdépressions ou d'autres creux du terrain.

Le nivellement du sol demeure une technique qui s'effectue avant ou après l'installation du réseau de drainage. Il peut être limité par une simple opération de surfaçage qui consiste à travailler le sol en surface dans le cas d'une topographie plus ou moins plane. Par contre dans le cas de pente, la pratique du planage s'avère nécessaire ; en fait, il s'agit de déplacement de déblais d'un endroit vers un autre pour araser les bosses et combler les dépressions.

## **2.3 - Le lessivage**

C'est une technique appliquée lorsque la formation de sels solubles dans le sol devient ou sur le point de devenir trop importante. L'efficacité de lessivage n'est possible que si certaines opérations se concrétisaient ; les sels peuvent être alors lessivés en apportant une dose d'eau plus importante qu'aux besoins de la plante. Cette eau supplémentaire entraîne au moins une partie de sel en dessous de la zone racinaire.

## **2.4 – La modification des méthodes d'irrigation**

La salure du sol est liée aux mouvements de l'eau en surface comme dans la masse de terre, d'où, les méthodes d'irrigation ont une incidence directe d'une part, sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau et d'autre part, sur la façon dont les sels s'accumulent.



Les expériences menées (1967, 1968) en Tunisie montrent que l'irrigation par billon ainsi que par aspersion provoquent une accumulation des sels dans les couches supérieures du sol. Par contre l'irrigation par planche (submersion) la salure est relativement homogène, les couches supérieures étant peu salées. Ceci implique la nécessité d'une alternance de cultures menées sous différents modes d'irrigation. En irrigation localisée (goutte à goutte), les sels s'accumulent à la limite de la zone humectée du sol, il en résulte une forme sphérique humidifiée avec une salinité maximale à la périphérie de la sphère.

### **2.5 - La tolérance des cultures à la salinité**

Toutes les plantes ne réagissent pas de la même manière à la salinité. Certaines cultures peuvent fournir des rendements acceptables avec une salinité du sol beaucoup plus grande que d'autres, Le degré de tolérance au sel des plantes peut varier de 1 à 10.

En effet, lorsqu'il n'est pas possible de maintenir la salinité du sol à un niveau acceptable pour la culture, le choix d'une spéculation tolérante de remplacement s'impose pour éventuellement aboutir à une bonne rentabilité économique.

### **2.6 - Le calendrier des irrigations**

Le choix des dates d'irrigation pour empêcher l'apparition du déficit hydrique améliorera les chances de succès lorsqu'on fera usage d'une eau plus salée. Ce choix peut consister à augmenter la fréquence des arrosages, à irriguer avant un hiver pluvieux, à recourir au pré - irrigation ou à d'autres méthodes pour faciliter la croissance de la culture.

Selon LEGOUPIL (1974), la technique de lessivage hivernale par les pluies accompagnée d'irrigation demeure aussi un moyen pour diminuer les quantités de sels solubles contenues dans le sol.

### **2.7- Le labour profond**

Les sols stratifiés sont difficiles à irriguer de façon efficace. Les horizons durcis gênent ou empêchent souvent la percolation profonde de l'eau, qu'est essentielle au contrôle de la salinité. Un labour profond s'impose alors pour rendre plus perméable les couches du sol. Les labours profonds, jusqu'à 40 cm au minimum et sous –soulage

sont effectués pendant les opérations de lessivage intermittent dans le cas des sols peu perméables.

## **2.8 – Les fumures**

Les engrais chimiques, les fumiers et les amendements du sol contiennent beaucoup de sels solubles à des concentrations élevées.

La localisation et l'époque de l'application de la fumure doivent être prises en considération pour ne pas nuire au développement de la jeune plantule. Toutefois, l'utilisation d'une fumure à faible indice de salinité peut être envisagée. Si la salinité et une faible fertilité limitent à la fois les rendements, la correction, séparée ou simultanée, des deux facteurs limitant améliorera la production.

## **III – LA RESTAURATION AMENAGEMENT DES SOLS SALINS**

La restauration et aménagement des sols vise à réduire la teneur en sels dans la zone racinaire jusqu'à un niveau acceptable pour la majorité des cultures et en même temps empêcher la resalinisation. La réussite de tel projet dépend énormément de certaines études sur le terrain et au laboratoire pour disposer de données relatives à :

- la salinité du sol (type, concentration, répartition) ;
- la structure et la perméabilité des couches du sol ;
- la nappe phréatique (profondeur, qualité, dynamique) ;
- les disponibilités en eau d'irrigation ;
- la topographie, le relief, le drainage et ses exutoires
- le régime climatique.

Selon LEGOUPIL (1974), sur la base de ces données il est déterminé :

- l'importance du nivellement ;
- la quantité d'eau nécessaire pour le lessivage ;
- le type de drainage à mettre en place ;
- le temps nécessaire pour réaliser la restauration ;
- l'effet d'eaux de différentes qualités sur la salinisation, la désalinisation et l'engorgement des sols.

## **3.1 – L'amélioration du drainage souterrain**

Le drainage doit être suffisamment conçu pour pouvoir évacuer la quantité d'eau lessivée au cours des premières phases de restauration et profond pour empêcher la resalinisation. L'écartement des drains est calculé en fonction de la perméabilité du sol. Deux types de drains sont préconisés : des fossés de drainage peu profonds et assez rapprochés pour un lessivage rapide, leur profondeur varie environ entre 0,9 – 1,25 m, leur écartement de 10 à 100 m ; des collecteurs profonds très espacés dont leur profondeur varie 2,5 – 3 m, leur espacement est entre 300 – 1000 m destinés à rabattre le niveau de la nappe phréatique de la zone.

### **3.2 – La restauration par le lessivage**

Les apports d'eau de lessivage doivent être suffisamment importants pour dissoudre les sels solubles et les entraîner dans le réseau de drainage. Généralement deux méthodes sont utilisées :

- le lessivage permanent ;
- le lessivage intermittent.

Dans le cas du lessivage permanent, l'eau est épandue sur le sol est maintenue à une hauteur de 10 cm environ par des apports fréquents. Cette méthode est préconisée lorsqu' il existe une bonne perméabilité du sol, plan d'eau élevé (saumâtre) et un taux d'évaporation important.

Dans le cas du lessivage intermittent, l'épandage d'une quantité d'eau suffisante pour dissoudre les sels solubles, suivi d'un apport pour les lessiver. Cette opération est répétée à intervalles réguliers. Cette méthode est préconisée dans les conditions suivantes : sol peu perméable, nappe phréatique profonde (eau non saumâtre ou peu), périodes où l'évapotranspiration est faible.

DURAND (1958), note que, dans les sols lourds le dessalement n'est efficace que si l'argile est débarrassé par l'ion  $\text{Na}^+$  ou empêché par des concentrations suffisantes de  $\text{Ca}^{++}$  fournies par des amendements à base de gypse.

## CHAPITRE VIII – LES METHODES D'ANALYSE DE LA SALINITE

### Introduction

La salinité constitue la teneur de tous les sels solubles d'un sol ou d'une solution.

Plusieurs éléments visibles à l'œil nu ou après analyses permettent l'identification d'un sol atteint de salinité. La mesure de la salinité se fait :

a) par l'observation de la surface du terrain : la surface est blanche (couleur de cristaux), apparition de cercles de sel brisés au voisinage des plans d'eau, formation de points et de stries de couleur blanche sur le sol, même en l'absence de croûtes en surface, indiquent que la salinité est très élevée.

b) par la présence de plantes indicatrices dites halophytes on obtient une idée de la quantité de sel du terrain (SIMONNEAU, 1957). Ce dernier sur la base d'observations faites dans les sols salés des plaines sublittorales d'Oranie, a déterminé une correspondance entre halophytes et plantes cultivées (Tableau n°13)

EILERS et *al.* (2001). donnent d'autres signes précurseurs qui indiquent la salinité tels que :

- La croissance soudaine des cultures, d'où des rendements élevés ;
- L'augmentation de l'humidité du sol, au point de rendre les lieux inaccessibles ;
- L'apparition de mauvaises herbes tolérantes au sel (comme la *Kochia* à balais, *Kochia scoparia*) parmi les plantes cultivées ;
- La croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plants à mesure que la teneur en sels augmente.

c) Au laboratoire ou sur terrain, on peut estimer le degré de salinité par la détermination de la conductivité électrique d'un extrait du sol ou de l'eau d'irrigation. Cette méthode est plus rapide que la précédente sera adoptée pour l'analyse. En outre, d'autres critères permettent de faire l'évaluation de la salinité tels que : la sodicité (S. A. R), le taux de sodium échangeable (E. S. P) et le pH.

TABLEAU n°13 : la correspondance entre plantes halophytes et plantes cultivées (SIMONNEAU ,1957)

mmhos/cm Extrait .S	Association naturelle par Ordre décroissant de la salinité du sol	Végétaux cultivés correspondants et espèces commerciales
	<i>Salicornia fructosa</i> <i>Scirpus maritimus</i> - <i>Juncus</i> <i>maritimus subulatus</i>	Cultures impossibles sans Lessivage préalable des horizons utilisés par les plantes
> 16	<i>Salicornia fructosa</i>	Extrême limite du cotonnier, petites colonies de <i>Hordeum maritimum</i>
> 14	<i>Salicornia fructosa</i> avec <i>Suaeda Fructosa</i>	Limite du <i>Cynodon dactylon</i> et <i>Polygon monspeliensis</i>
12	<i>Suaeda fructosa</i> avec <i>Salicornia fructosa</i> (rare)	Début de culture productive du cotonnier. Bon résultat avec chou, betterave, nianisation et stérilisation du maïs, extrême limite du blé, org avoine.
9	<i>Suaeda fructosa</i> (pure)	Bons résultats du cotonnier, betterave, artichaut grenadier, avoine, luzerne. Stérilité de l'olivier.
8	<i>Suaeda fructosa</i> avec <i>Calendula algeriensis</i> et <i>Ornithoglossum praecox</i>	Assez bonne végétation du maïs
7	<i>Suaeda fructosa</i> avec <i>Atriplex halimus</i>	Culture possible des tomates, courgettes pastèques, olivier. Mauvais résultats du trèfle d'Alexandrie
6	<i>Atriplex halimus</i> avec <i>Suaeda fructosa</i>	Evolution difficile du lin, bonne végétation de l'olivier
5	<i>Atriplex halimus</i> (pure)	Limite pour pomme de terre, carotte, oignon piment, poivron végétation pénible des agrumes

## I – LES CRITERES D' EVALUATION DE LA SALINITE

### 1.1 - La conductivité électrique (C. E)

La salinité s'apprécie d'après la conductivité électrique d'un extrait du sol ou de l'eau d'irrigation.

DAOUD (1980) la conductivité électrique représente le total des sels solubles.

Le principe de détermination de la C. E consiste à l'utilisation d'un appareil composé d'une cellule de verre à deux électrodes de platine de 1 cm<sup>2</sup> de surface placées à 1 cm l'une de l'autre, reliées à un appareil de mesure (conductimètre).

#### 1.1.5 – Les différentes échelles de salinité

Les différentes échelles de salinité déterminées par DAOUD (1980), SERVANT (1971) sont consignées successivement au niveau des tableaux n° 14 et 15 ainsi que la classification établie par la F A. O (1984)).

TABLEAU n° 14 : Variation de la conductivité électrique en fonction d'un taux de la salinité (DAOUD, 1980) cité par BOURAHILA (1991).

Taux de sels (meq/L)	C. E (mmhos /cm)
< 20	< 2
20 - 40	2 - 4
40 - 80	4 - 8
80 - 150	8 - 16
150	> 16

Dans ce tableau dressé ci- dessus, on remarque que la conductivité électrique (mmhos/cm) augmente en fonction de l'augmentation du taux de sels (meq/l) de la solution.

TABLEAU n° 15 : Echelle de salinité des sols d'après SERVANT (1971)  
in BAIZE (2000).

Classes	CE en mmhos	Somme des ions en meq/l
0: Sol non salé	<2,5	<25
1: Faiblement salé	2,5 à 5	25 à 50
2: Moyennement salé	5 à 10	50 à 105
3: Salé	10 à 15	105 à 165
4: Fortement salé	15 à 20	165 à 225
5: Très fortement salé	20 à 27,5	225 à 315
6: Excessivement salé	27,5 à 40	315 à 620
7: Hyper salé	>50	>620

Dans ce tableau, SERVANT (1971), a établi une classification des sols en fonction de la conductivité électrique. On remarque que l'augmentation de la C. E se fait parallèlement à celle de la somme des ions, d'où, il existe une relation liant la conductivité à la teneur en ions de la solution du sol.

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

- CE 4 mmhos..... Sol légèrement salin ;
- CE 4 - 8 mmhos..... Sol modérément salin ;
- CE 8 – 16 mmhos..... Sol gravement salin ;
- CE 16 mmhos..... Sol à salinité très grave.

### 1.2- La sodocité :

Selon LEGOUIL (1974), le sodium est considéré comme un des facteurs importants de la qualité de l'eau, notamment en raison de son action sur le sol. Il exerce ses principaux effets sur le sol, puis un effet secondaire sur la croissance des végétaux, imputable à la dégradation des conditions physiques du sol.

GAPON (1933), cité par LEGOUPIL (1974) en étudiant les terrains salés d'U. R.S. S a montré qu'il existait une relation entre le taux de sodium échangeable d'un sol en équilibre avec sa solution saline et celui de cette solution.

Cependant, cette relation est donnée sous la formule suivante :

$$S. A. R = \frac{Na}{\sqrt{Ca + Mg / 2}}$$

Le S. A. R est le sodium adsorption ratio, rapport de la concentration en ions  $Na^+$ , à la racine carrée de la demi- somme des concentrations correspondantes en  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  déterminées sur la solution extraite du sol saturé en eau (concentrations en méq./litre). Il demeure un indice de caractérisation de l'alcalinité déterminée à partir de la pâte saturée.

D'après SERVANT (1978), le SAR est utilisé pour classer les eaux d'irrigations.

### 1.3 - Le taux de sodium échangeable (E S P)

**ESP =  $Na^+$  / CEC** = échangeable sodium percentage = pourcentage de sodium échangeable

C'est un paramètre déterminant la concentration des solutions en sodium échangeable pour que l'influence de l'ion  $Na^+$  puisse se manifester, le rapport  $Na^+/CEC$  doit dépasser 15% (DUCHAUFOR, 1983), d'ailleurs en dépassant ce seuil le sodium détruit la structure.

Selon la FAO (1984), la salinité de classe pour l'E. S. P est donnée :

- ESP <5% .....légère alcalinité
- ESP de 5% à 20%.....alcalinité modérée
- ESP de 20% à 40%.....alcalinité grave
- ESP >45%.....alcalinité très grave.

### 1.4 – L'indice du risque de salinité (I. R. S)

Cet indice élaboré par EILERS et *al.* (2001), chercheurs canadiens, correspondant à la possibilité qu'un secteur présente un degré donné de salinisation. Il peut servir à faire des comparaisons inter annuelles selon une modification du



régime d'assolement au niveau de différents secteurs de salinisation. Cependant, d'après ces auteurs cet indice mis au point sera validé et raffiné à mesure qu'on comprendra davantage les facteurs qui causent la salinisation des sols.

### 1.5 – Le pH

Le pH (potentiel en hydrogène) est mesuré dans une suspension de terre fine et d'eau distillée. Le rapport sol/liquide est égal 1/5 est étalonné après deux heures de repos de la solution.

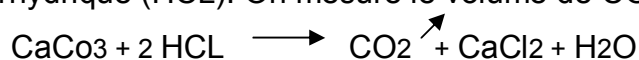
Le pH est le logarithme de l'inverse de la concentration des H<sup>+</sup> dans une solution.

$$\text{pH} = -\log [H^+] = \log \frac{1}{[H^+]}$$

La majorité des sols salés présentent une gamme de variation du pH entre 7 à 9 (BUKMAN et BRADY, 1965) cités par BENNIA et KENICHE (2001).

### 1.6- Le calcaire total

Test très rapide sur le terrain effectué avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique (1/3) sur la terre. Le principe de ce test à l'aide du calcimètre de BERNARD consiste à la décomposition du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) par l'acide chlorhydrique (HCL). On mesure le volume de CO<sub>2</sub> obtenu et on calcule le poids.



100 g CaCO<sub>3</sub> dégagent donc 44 g CO<sub>2</sub>.

### 1.7- Le calcaire actif

Le dosage du calcaire actif par la méthode de DROUINEAU est réservée uniquement aux échantillons contenant plus de 5% de calcaire total. Il s'agit de doser que la fraction chimiquement active du calcaire du sol, ici on pratique une action modérée qui n'intéresse les particules calcaires les plus fines ou la surface des particules grossières.

Le principe du dosage repose sur le titrage par oxydo – réduction qui utilise le permanganate de potassium et l'oxalate d'ammonium.

### **1.8 – Les méthodes de déterminations des bases échangeables et solubles**

On désigne sous le nom de bases solubles les ions tels que  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  qui sont présents dans la terre sous forme de sels (  $NaCl$ ,  $CaCl_2$ ,  $CaSO_4$  ect .) et solubles dans l'eau si la terre devient humide.

L'extraction des bases solubles de la terre se fait par l'eau distillée. Le dosage pour la détermination des cations dans le filtrat du sol, dans l'eau d'irrigation ou l'eau de la nappe s'effectue de la manière suivante :

A – dosage de la somme  $Ca^{++} + Mg^{++}$  par complexométrie ;

B – dosage du  $Ca^{++}$  par complexométrie, puis le calcul du  $Mg^{++}$  par la différence entre A et B ;

C – détermination du  $K^+$  et du  $Na^+$  par photométrie de flamme.

## TROISIEME PARTIE : EXPERIMENTATION

### CHAPITRE IX - EXPERIMENTATION

#### I – LE MATERIEL ET METHODE

Il s'agit de prélèvement d'échantillons de sol au niveau du périmètre de REDJEL en milieu steppique qui est situé à 22 kilomètres à l'Est du chef lieu de la commune de Rechaiga et à 82 kilomètres au Sud Est de chef lieu de la wilaya de Tiaret, dont les coordonnées géographiques sont :

- latitude 35 ° 09' Nord,
- longitude 2 ° 02' Est. Carte LAMBERT (1952).

Au niveau de ce périmètre avait eu lieu l'implantation d'exploitations agricoles de petites tailles (05 hectares) juxtaposées les unes à coté des autres, dans le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole (A .P. F. A).

Depuis leur création ces exploitations agricoles adoptent le même système intensif notamment des cultures maraîchères, utilisent les mêmes techniques d'irrigations (billon et submersion) et l'eau de la même nappe phréatique.

#### 1.1 - L'eau

Les analyses effectuées au niveau du laboratoire de l'eau provenant de cette nappe indiquent que la conductivité électrique (C. E) est de 1,84 mmhos/cm à 25 °C soit 1,17 g/litre de sel. D'après la classification de RICHARD et *al.* (1954) citée par DURAND (1958), cette eau figure de le rang de la classe trois (C<sub>3</sub>) son niveau de salinité est élevé. Elle demeure non souhaitable dans les sols à drainage restreint. Même en présence d'un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité s'avèrent nécessaires néanmoins les plantes ayant une bonne tolérance peuvent seules être cultivées.

Par ailleurs, d'après la classification russe établie par VAN HOOR (1970) cité par LEGOUPIL (1974), la teneur en sel de cette eau est comprise entre 1 à 2g /litre, avec des risques de salinité.

#### 1.2 - Le sol

Pour l'évaluation de la salinité ainsi que son évolution dans le temps (en se basant sur la durée d'irrigation en années) plusieurs parcelles comportant le même

type de sol (pour plus de précision se référer aux analyses pédologiques du profil type) ont été choisies sur la base d'enquêtes réalisées préalablement auprès des agriculteurs.

En ce qui concerne, les prélèvements de sol ont été effectués sur neuf (09) profils regroupant vingt six (n=26) échantillons caractérisant les différents horizons. Les prélèvements d'échantillons de terre au niveau de chaque profil ont été mis dans des sachets en plastique étiquetés indiquant le numéro de parcelle et la profondeur de chaque horizon et ce, en effet, sans omettre les différentes observations.

Les échantillons soigneusement ordonnés en fonction de leur indication ont été séchés à l'air pendant deux semaines et tamisés à 2 mm pour éventuellement séparer la terre fine de la fraction grossière. Subissant les différents traitements d'analyse au niveau du laboratoire, ils donnent les résultats indiqués dans le tableau n° 17.

### **1.2.1 – Le choix des parcelles**

Nous avons effectué des enquêtes auprès des exploitant pour déterminer les différentes périodes d'irrigation des parcelles.

Parcelle N° 1 : représente un sol témoin n'ayant subi aucune irrigation et aucune culture, portant une végétation naturelle (*Peganum hermalia*).

Parcelle n°2 : irriguée pendant deux ans.

Parcelle n°3 : irriguée pendant trois ans.

Parcelle n°4 : irriguée pendant quatre ans.

Parcelle n°5 : irriguée durant cinq ans.

Parcelle n° 6 : irriguée durant six ans.

Parcelle n° 7 : dix ans d'irrigation.

Parcelle n°8 : irriguée pendant douze ans et délaissée.

Parcelle n°9 : irriguée pendant quinze ans.

D'après la classification française C. P. C. S (1967), les sols de la zone d'étude appartiennent au type de sols azonaux, à la classe des sols isohumiques formés sous climat continental caractérisés par une teneur en matière organique progressivement décroissante avec la profondeur. Ils font partie de la sous - classe de sols à pédoclimat frais pendant la saison froide, appartenant au groupe siérozème comportant trois sous groupes.

Le sol qui fait l'objet de notre investigation appartient au sous – groupe : à nodules ou granulés calcaires : constitués d'alluvions calcaires à texture moyenne à fine, d'argile sableuse rouge, alluvions plus ou moins noircies, de sables silicieux sur marne et enfin d'alluvions, colluvion de piedmont plus ou moins caillouteux ; (se référer aux résultats analytiques du profil type du tableau n° 16).

### **1.2.2 – La description macromorphologique**

Profil n°01 (témoin).

Date de description : 17/09/ 2001

Coordonnées : carte topo Zanakhra n°218 – X : 458,00 – Y : 229,00. Echelle : 1/50.000

Géologie : alluvion du quaternaire récente

Géomorphologie : zone d'épandage

Aspect de surface : croûte de surface.

Topographie : plane

Végétation naturelle : *Peganum harmala*

### **1.2.3 – La description morphologique du profil type**

Le profil type comprend schématiquement trois horizons :

- Horizon A (00 –36 cm) : plus ou moins épais, texture moyenne à fine, structure polyédrique subanguleuse peu nette et faiblement développée avec pellicule de battance, début de gradient calcaire, présence de nombreuses racines, transition nette et régulière avec l'horizon sous-jacent ;
- Horizon B (36 - 68 cm) : à amas et nodules calcaires, nettement plus clair, structure peu nette polyédrique subanguleuse à massive, nombreuses racines, transition progressive avec l'horizon inférieur ;
- Horizon C (68 – 90): caractérisé par une structure polyédrique et une forte accumulation de gros amas et nodules calcaires.

#### 1.2.4 – Les résultats analytiques du profil type

Le tableau n°16 comporte les résultats analytiques physiques et chimiques du profil type.

TABLEAU n° 16 : les résultats analytiques du profil type

Horizons	A	B	C
Profondeur (cm)	00-36	36 – 68	68- 90
Argiles (%)	24	20	21
Limons fins (%)	20	21	24
Limons grossiers (%)	19	25	22
Sables fins (%)	20	18	19
Sables grossiers (%)	17	16	14
Calcaire total (%)	18	27	36
Calcaire actif (%)	9	12	24
Matière organique (%)	1,48	1,24	1
Azote total (‰)	10,2	8,4	6,4
C. E mmhos/cm	1,08	1,62	3,45
pH	8,25	8,15	8,10

#### 1.2.5 – Les résultats analytiques des profils

Sur le tableau n°17, nous avons consigné les résultats analytiques des profils représentatifs des parcelles irriguées à différentes périodes.

TABLEAU n°17 : les résultats des analyses chimiques

Profils	Profondeur (cm)	C.E.C méq/100g	Na <sup>+</sup> méq/100g	Ca <sup>++</sup> Még/100g	Mg <sup>++</sup> Még/100g	C.E mmhos/cm	E.S.P	S.A.R	pH	Calcaire Total	Calcaire Actif
1 (témoin)	00 – 36	18	0,32	11,5	3,4	1,08	1,77	0,1172	8,25	18	9,00
	36 – 68	18	0,68	12,6	2,8	1,62	3,77	0,2450	8,15	27	12,00
	68 – 90	17	0,74	12,8	3,3	3,45	4,35	0,2608	8,10	36	24,00
2 (deux ans d'irrigation)	00 – 32	18	1,3	7,5	2,8	1,48	7,22	0,5728	8,25	28	10,82
	32 – 58	17	1,4	8,1	2,7	4,06	8,23	0,6024	7,60	30	12,23
	58 – 86	17	1,6	6,8	3	3,3	9,41	0,7228	8,00	25	10,19
3 (trois ans d'irrigation)	00 – 35	17	1,4	7,8	2,7	1,48	8,23	0,6110	8,25	28	10,82
	35 – 67	16	1,5	7,9	3,1	4,06	9,37	0,6390	7,65	32	12,25
	67 – 95	16	1,8	7,8	3,6	3,3	11,25	0,7539	8,00	25	9,33
4 (quatre ans d'irrigation)	00 – 32	15	2,1	11	2,5	1,2	14,00	0,8083	8,20	20	9,33
	32 – 64	16	1,9	12,3	1,1	2,31	11,87	0,7340	8,15	25	10,16
	64 – 81	17	2,4	10,6	3,10	4,30	14,11	0,9170	7,89	37	13,66
5 (cinq ans d'irrigation)	00 – 30	17	1,8	12,8	3,7	2,10	10,58	0,6266	8,05	18	9,44
	30 – 60	16	1,7	11,5	2,10	3,20	10,62	0,6519	8,00	25	9,36
	60 – 84	16	2	10,3	3,60	4,70	12,50	0,7586	7,85	32	12,45
6 (six ans d'irrigation)	00 – 32	18	1,7	10,2	2,7	4,3	9,44	0,6695	7,80	19	8,74
	32 – 54	19	1,8	11,10	3,4	3,2	9,47	0,6686	7,85	22	8,97
	54 – 86	15	2,4	8,6	3,0	5,8	16,00	0,9965	7,80	34	12,68
7 (dix ans d'irrigation)	00 – 32	17	3,6	9,4	3,8	10,2	21,17	1,4013	7,75	25	11,84
	32 – 67	16	2,8	10,2	2,8	7,5	17,50	1,0982	7,70	39	11,36
8 (douze ans d'irrigation)	00 – 35	17	5,6	8,10	2,0	15,7	32,90	2,4919	8,70	24	10,42
	35 – 64	19	3,2	8,5	4,10	14	16,80	2,2749	7,80	38	10,02
	64 – 95	16	3,2	9,3	3,00	8,6	20,00	1,2903	7,70	18	8,85
9 (quinze ans d'irrigation)	00 – 30	18	10,5	5,1	2,3	16,8	58,20	5,4587	8,95	21	10,50
	30 – 64	16	8,2	6,1	1,9	20,4	51,20	4,1000	8,75	24	12,68
	64 – 90	18	4,10	7,8	3,4	12,5	22,80	1,7325	8,65	18	9,72

## II – L' INTERPRETATION DES RESULTATS

### 2.1 – L'Interprétation des résultats par profil

**Profil n°1** : caractérisant la parcelle témoin n'ayant subi aucune technique culturale et portant une végétation naturelle.

- La teneur en sodium faible comparativement à celles du calcium et du magnésium.
- La conductivité électrique (C. E), l'échelle de salinité établie par SERVANT (1971) nous indique qu'il s'agit d'un sol non salé. Cependant, au niveau de l'horizon C la C. E est plus élevée que celle des horizons supérieurs ; probablement, cela est dû à la formation géologique du Trias qui se trouve à l'amont de la zone d'étude.
- L'E. S. P < 5 (1,77 à 4,35%), d'après la F. A. O (1984), ce sol fait partie de la classe de légère alcalinité.

**Profil n°2** : cette parcelle est irriguée pendant deux ans, culture en place piment doux et se caractérise par :

- Une légère augmentation du sodium au détriment de la teneur en calcium qui diminue
- Une faible salinité mise en exergue par conductivité électrique évoluant progressivement notamment au niveau de l'horizon B, ce qui montre que les sels se concentrent au niveau de la zone racinaire.
- L'E. S. P (7,22 à 9,41%) est compris entre 5% à 20%, à ce niveau l'alcalinité est modérée.

**Profil n°3** : le sol subit une irrigation depuis déjà trois ans, la culture en place piments doux.

- Il y a une légère augmentation de la teneur en  $\text{Na}^+$  et une diminution de  $\text{Ca}^{++}$  par rapport à la parcelle représentée par le profil n°2.
- L'E. S. P (8,23 à 11,25%) valeur entre 5 à 20%, conséquence d'une alcalinité modérée.



**Profil n°4** : ce profil a été aménagé au niveau d'une parcelle soumise à une irrigation depuis quatre années, comportant une culture d'oignon. L'analyse chimique conduit aux constatations suivantes

- Il en découle toujours le même constat : augmentation du sodium et en parallèle diminution du  $\text{Ca}^{++}$ .
- Salinité légère au niveau de l'horizon C appréciée par la conductivité électrique.
- Une alcalinité modérée avec E. S. P (11,87 à 14,11%) d'un taux compris entre 5 à 20%.

**Profil n° 5** : cette parcelle est irriguée pendant cinq ans, la culture mise en place demeure l'oignon.

- Le même constat que le profil précédent pour la teneur du  $\text{Na}^+$  et le  $\text{Ca}^{++}$ .
- La C. E critère d'évaluation de la salinité indique que l'horizon inférieur est légèrement salin.
- La valeur de l'E. S. P varie entre (10,58 à 12,50%) ce taux est compris entre 5 à 20%, alcalinité modérée.

**Profil n°6** : aménagé au niveau d'une parcelle irriguée depuis six ans, portant deux cultures maraîchères l'oignon et le piment.

- même constat pour le  $\text{Na}^+$  et le  $\text{Ca}^{++}$  que pour les profils précédents.
- La C. E son niveau augmente par rapport à celles des parcelles précédentes et indique qu'elle fait partie de la classe de sol modérément salin.
- L'E. S. P (9,44 à 16%) valeur entre 5 à 20%, indique une alcalinité modérée.

**Profil n° 7** : il représente une parcelle qui a été déjà irriguée pendant une durée de dix ans ; laissée à l'abandon depuis cinq ans (ne portant aucune culture).

- Les mêmes résultats ont été relevés quant à l'évolution des teneurs en  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$ , sauf que dans le cas de ce profil le sodium occupe l'horizon supérieur conséquence de l'évapotranspiration.

- La C. E indique d'après la classification établie par SERVANT (1971) que ce sol figure dans la classe des sols moyennement salés ; en revanche la classification établie par la F. A. O (1984), le fait figurer parmi les sols gravement salin.
- L'E. S. P (21,17%) pour l'horizon A est compris 20 à 40%, l'alcalinité prend une dimension plus importante par rapport à l'horizon sous jacent qui avec 5 à 20 %, reste modérément alcalin ; il signale que dans les deux cas l'E. S. P dépasse 15%. En effet, d'après DUCHAUFFOUR (1983) à ce stade, l'influence de l'ion  $\text{Na}^+$  se manifeste négativement et se traduit par la destruction de la structure de sol.

D'après la classification adoptée par la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (C. P. C. S (1967) citée par AUBERT (1975), ce type de sol appartient à la deuxième sous classe comprenant les sols sodiques avec un horizon au moins 20 cm présentant une structure dégradée et une forte compacité sous l'influence de la teneur élevée du complexe en sodium échangeable.

Selon la nouvelle taxonomie américaine (1975), citée par AUBERT (1975), il s'agit bien d'horizon natrique ou argilique caractérisé par une structure prismatique colonnaire.

**Profil n° 8** : ce profil a été réalisé au niveau d'une parcelle ayant subi une irrigation sans interruption depuis deux ans et cultivée en oignon.

- même constat pour l'évolution de la teneur du  $\text{Na}^+$  et Le  $\text{Ca}^{++}$  qu'au niveau des profils précédents, mais n'empêche que le sodium devient important au niveau de l'ensemble des horizons du profil.
- La conductivité électrique se caractérise par un niveau élevée ; d'après SERVANT (1971) et la F. A. O (1984), ce sol reste respectivement classé parmi les classes de sols salés et gravement salins.
- L'E. S. P (20 à 32%) notamment au niveau des horizons A et C, sa valeur est comprise entre 20 à 40%, l'alcalinité est grave.

**Profil n°9** : sol irrigué depuis quinze ans ; culture en place l'oignon.

- La teneur en  $\text{Ca}^+$  indique que ce profil est saturé en sodium et que celle du  $\text{Ca}^{++}$  est faible par rapport à celui-ci.
- La conductivité électrique est importante, selon SERVANT (1971) et la F.A.O (1984) qui indiquent respectivement que ce sol appartient à la classe des sols fortement salé et à salinité très grave.
- L'E. S. P (51,20 à 58,20%), sa valeur surtout au niveau des horizons A et B demeure supérieure à 45%, l'alcalinité est importante de l'ordre de 51,20 à 58,20 %, le pH reste très voisin de 9.

Selon la classification définie par DUCHAUFOR (1983), ce type de sol appartient à la sous – classe des sols alcalins d'ou l'alcalisation par l'ion  $\text{Na}^+$  déclenche la disparition de la matière organique et la dispersion des argiles sodiques.

## 2.2 - Le calcaire

Les normes d'interprétation du calcaire total établies par L'Ecole Nationale des Sciences Agronomiques (ENSA) de Montpellier sont :

- teneurs très faibles.....inférieures à 0,1% ;
- teneurs faibles.....entre 0,1% à 10% ;
- teneurs moyennes .....entre 10%à 30% ;
- teneurs élevées.....entre 30 à 60% ;
- teneurs très élevées.....supérieures à 60%.

Les teneurs enregistrées au niveau des trois horizons de l'ensemble des profils varient entre 18 à 39%, confrontées aux normes sur –citées, les teneurs du calcaire total sont moyennes à élevées.

### 2.3 - Le pH

En ce qui concerne, l'interprétation et l'appréciation du pH des sols étudiés, nous nous sommes servis des normes suivantes :

- supérieur à 8.5.....très alcalin ;
- de 8.5 à 8.....moyennement alcalin ;
- de 8 à 7.5.....légèrement alcalin ;
- de 7.5 à 7.....très légèrement alcalin ;
- de 7 à 6.5.....très légèrement acide ;
- de 6.5 à 6.....légèrement acide ;
- de 6 à 5.5.....moyennement acide ;
- de 5.5 à 5.....fortement acide ;
- inférieur à 5.....très fortement acide.

Pour l'ensemble des échantillons du sol le pH varie entre 7 à 8,75 donc en moyenne légèrement alcalin, cela pourra s'expliquer par la présence dominante du sodium et le calcium. L'alcalinité demeure très marquée surtout au niveau des parcelles irriguées de plus de 12 ans.

Tableau 18 : La matrice de corrélations

Variables	Temps	Horizons	C.E.C	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	C.E	pH	ESP	S.A.R
Temps				r= 0,7597* p= 0,0009*			r= 0,8288 * p=0,0008 *		r= 0,5150 * p=0,0075 *	r= 0,7331 * p=0,0000 *
Horizons							r= 0,4945 * p=0,0104 *	r=-0,4424 * p=0,0242 *	r= 0,5013 * p=0,0091 *	r= 0,6432 * p=0,0003 *
C.EC								r= 0,5013 * p=0,0091 *		
Na <sup>+</sup>					r=-0,6168 * p=0,0016 *		r= 0,8947 * p=0,0004 *	r= 0,6432 * p=0,0003 *	r= 0,4207 * p=0,0320 *	r= 0,9860 * p=0,0000 *
Ca <sup>++</sup>				r=-0,6168 * p=0,0016 *			r=-0,5898 * p=0,0029 *			r=-0,6405 * p=0,0000 *
Mg <sup>++</sup>								r=-0,4199 * p=0,0339 *		
C.E			r= 0,4920 * p=0,0112 *	r= 0,8947 * p=0,0004 *	r=-0,5898 * p=0,0029 *			r= 0,4945 * p=0,0104 *	r= 0,4920 * p=0,0112 *	r= 0,8947 * p=0,0004 *
pH									r= 0,5013 * p=0,0091 *	r= 0,6432 * p=0,0003 *
E.S.P							r= 0,4920 * p=0,0112 *	r= 0,5013 * p=0,0091 *		
S.A.R							r= 0,8947 * p=0,0004 *	r= 0,6432 * p=0,0003 *		

## 2.4 – Les analyses statistiques

Dans le tableau n° 18, nous avons conservé uniquement les corrélations significatives entre les différents paramètres, les cases blanches du tableau représentent celles qui ne le sont pas.

### 2.4.1- Corrélation entre le sodium et le calcium

(n =26)

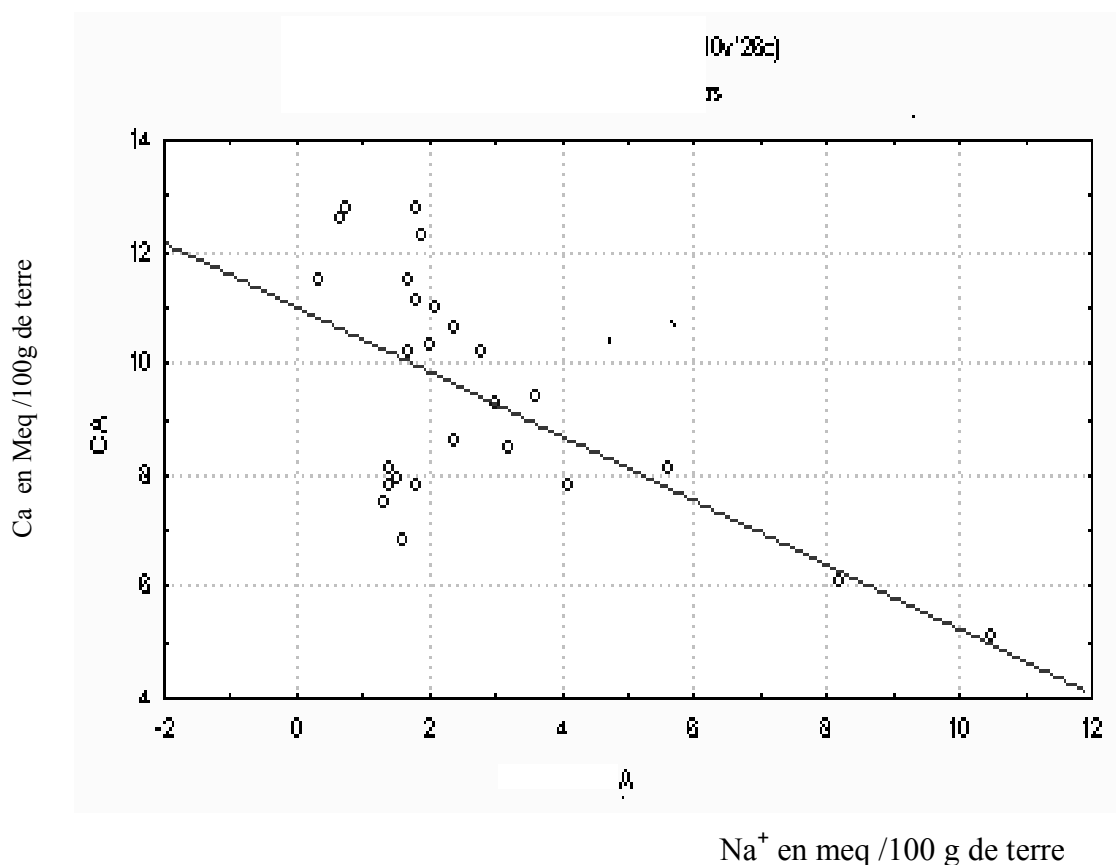


Figure n°3: Corrélation entre le sodium et le calcium

$$r = -0,6168^*$$

$$p = 0,0016^*$$

Il existe une corrélation significative négative entre les teneurs de sodium et du calcium. Dans ce cas, il s'avère que lorsque la teneur du Na<sup>+</sup> augmente, celle du Ca<sup>++</sup> diminue. Cela trouve son explication que les monovalents sont retenus en priorité par le pouvoir absorbant du sol que les bivalents.

## 2.4.2- Corrélation entre la teneur en sodium et la conductivité électrique n= 26

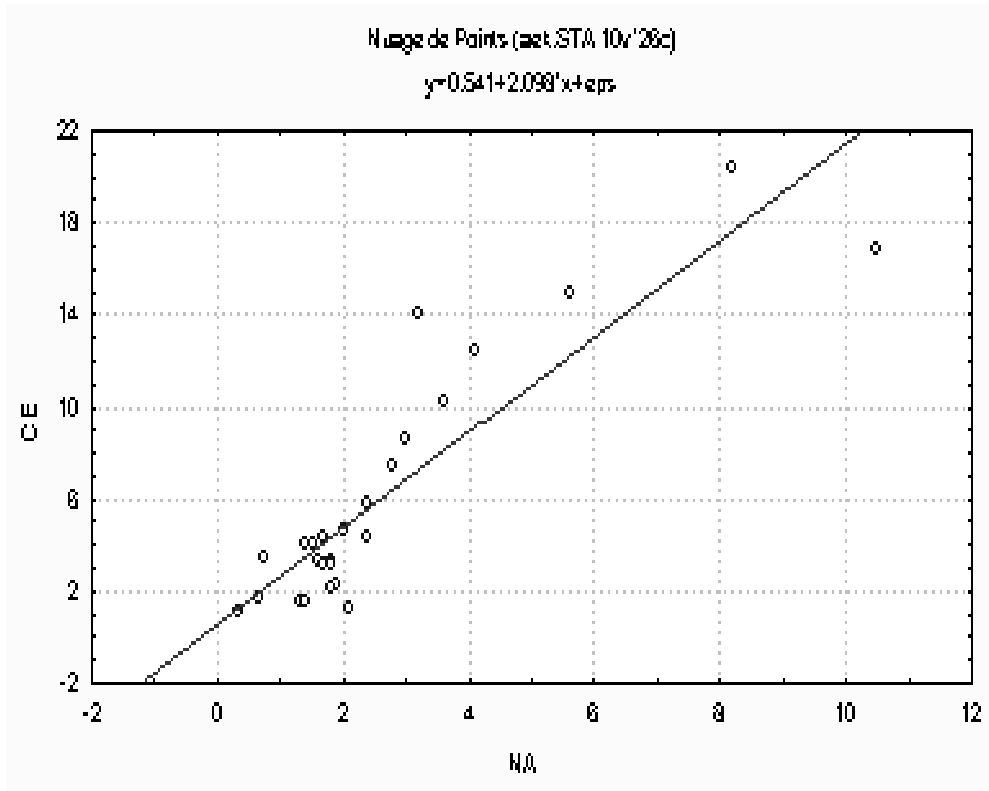


Figure n°4:  
 Corrélation  
 entre la teneur  
 en sodium et la  
 conductivité  
 électrique

$r = 0,89$

$p = 0,000$

La  
 corrélation  
 est  
 significative.

La  
 conductivité  
 électrique

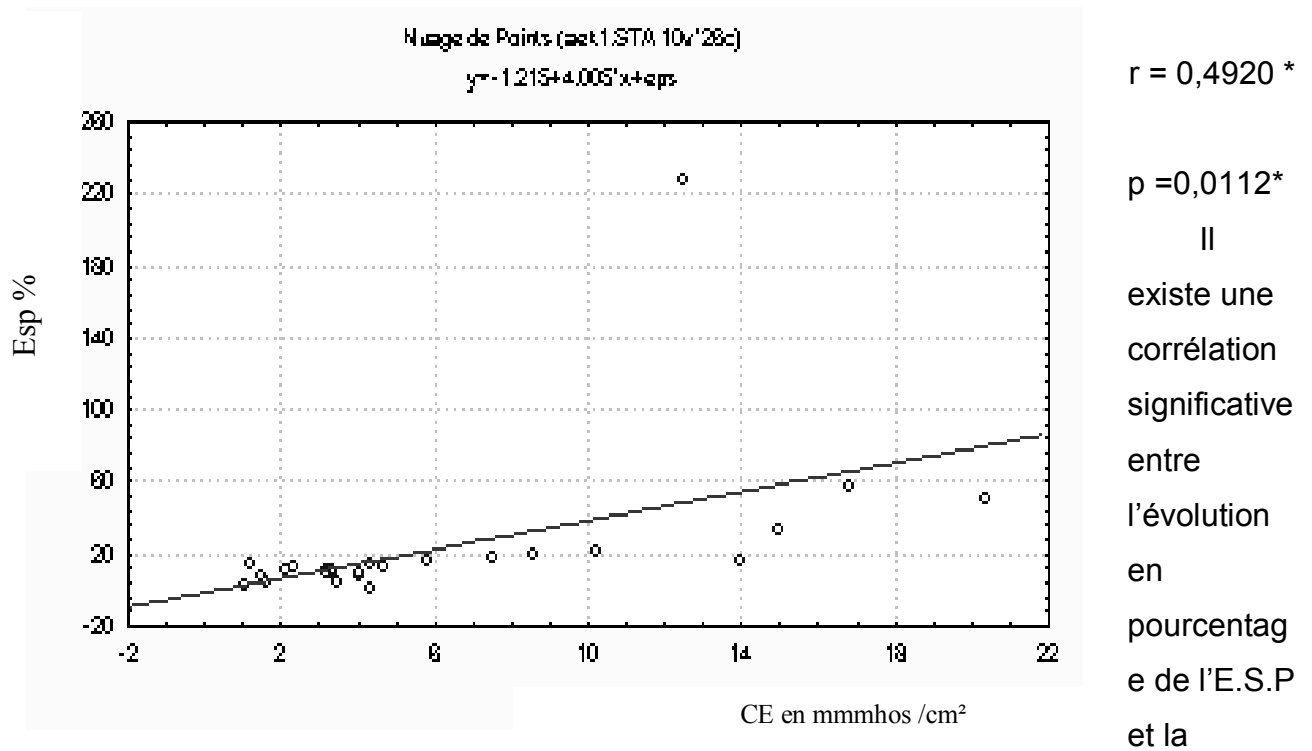
Ce en mmhos/cm<sup>2</sup>

s'élève en fonction de l'augmentation de la teneur du sodium.

## 2.4.3 – La corrélation entre la conductivité électrique et le pourcentage de sodium échangeable (en %)

Figure n°5 : Corrélation entre la C. E et l'E. S. P

Figure n°5 : Corrélation entre la C. E et l'E. S. P



conductivité électrique exprimées en mmhos/cm à 25 °C. Parfois cette dernière peut régresser ou devenir nulle lorsque l'E. S. P évolue.

#### 2.4.4 – La corrélation entre la teneur en Sodium et le temps (année d'irrigation)

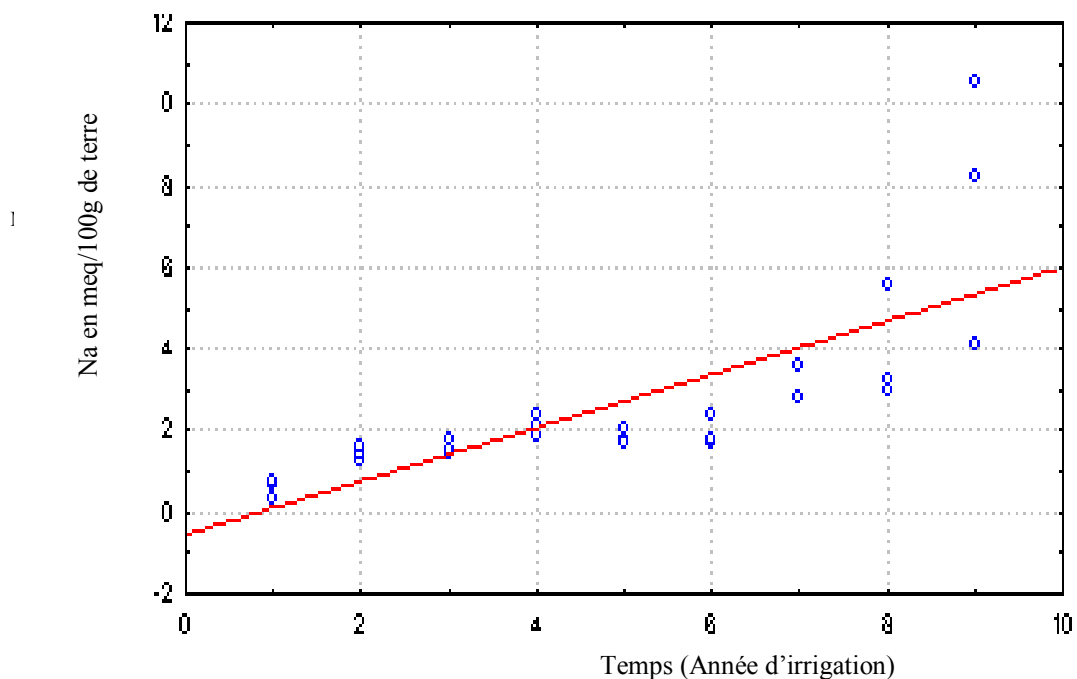




Figure n° 6 : Corrélation entre la teneur en Sodium et le temps

$$r = 0,7597 *$$

$$p = 0,0009 *$$

La corrélation entre la teneur en sodium des différents profils représentant les parcelles irriguées à différentes périodes reste significative. En effet, le sodium devient de plus en plus important au niveau des horizons à mesure que la période d'irrigation (année) est importante.

#### 2.4.5 – La corrélation la conductivité électrique (mmhos/cm à 25°C) et le temps (année d'irrigation)

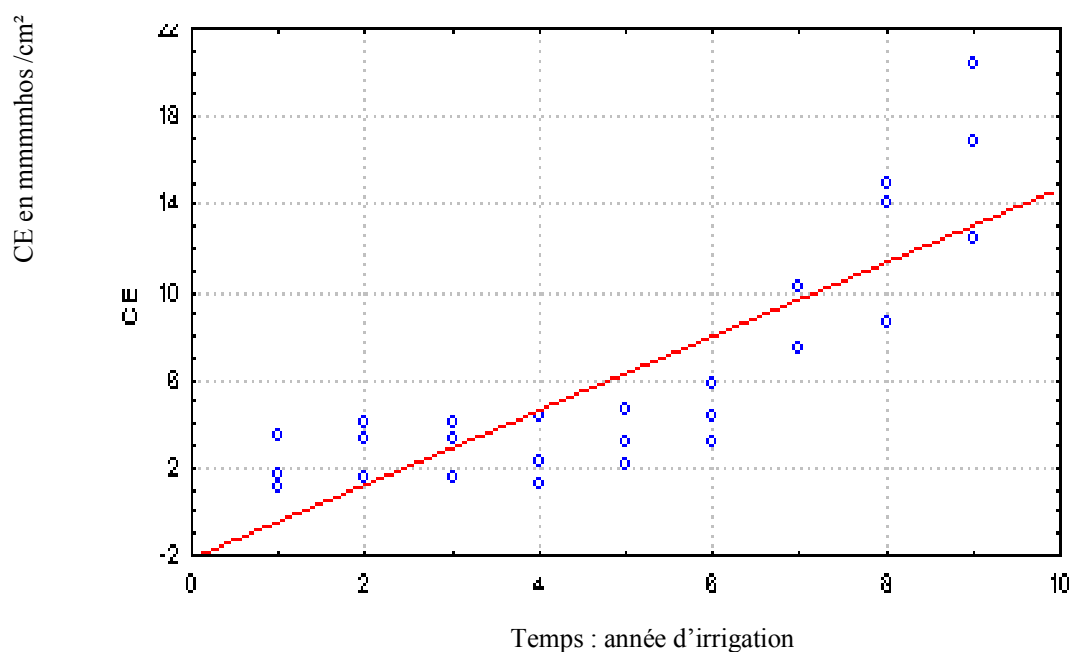


Figure n°7 : corrélation entre la conductivité électrique et le temps

$$r = 0,8288 *$$

$$p = 0,0008 *$$

La corrélation reste aussi significative. Elle s'exprime par l'évolution progressive de la conductivité électrique en fonction de nombre d'années d'irrigation.

## 2.4.6 –La corrélation entre l'E. S P % et le temps (année d'irrigation)

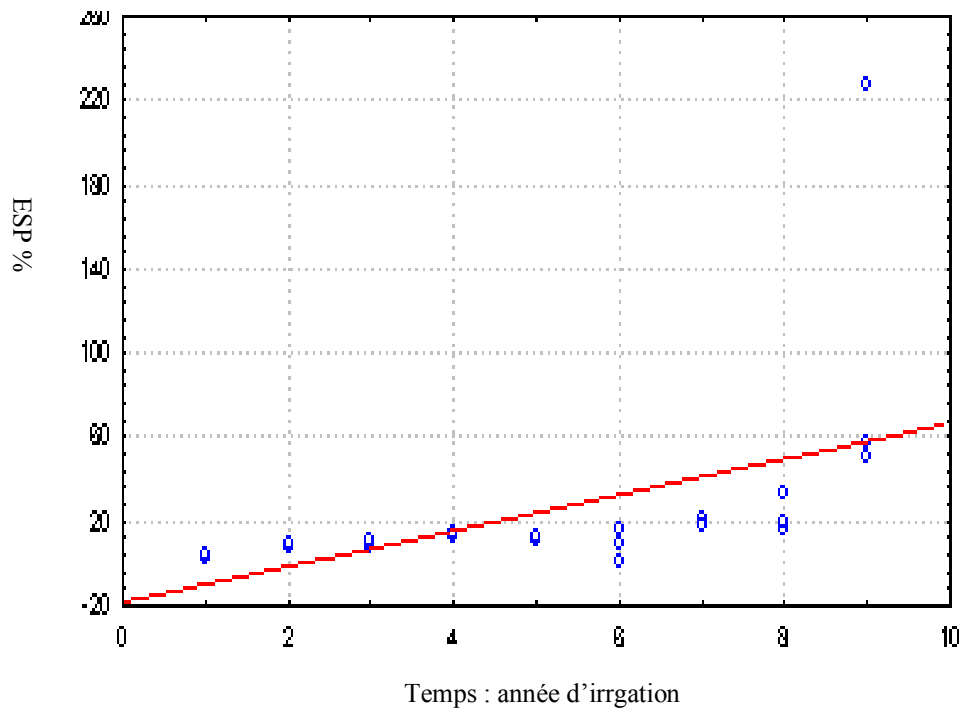


Figure n°8 : Corrélation entre l'E. S. P % et le temps (année d'irrigation)

$$r= 0,5150^*$$

$$p=0,0075^*$$

Il existe une corrélation significative entre l'E. S. P et le temps exprimé en année d'irrigation. Elle traduit l'évolution de la salinité vers l'alcalinité des sols au fur et à mesure que le nombre d'années d'irrigation augmente.

### 2.4.7 – La corrélation entre le S. A. R et le temps (année d'irrigation)

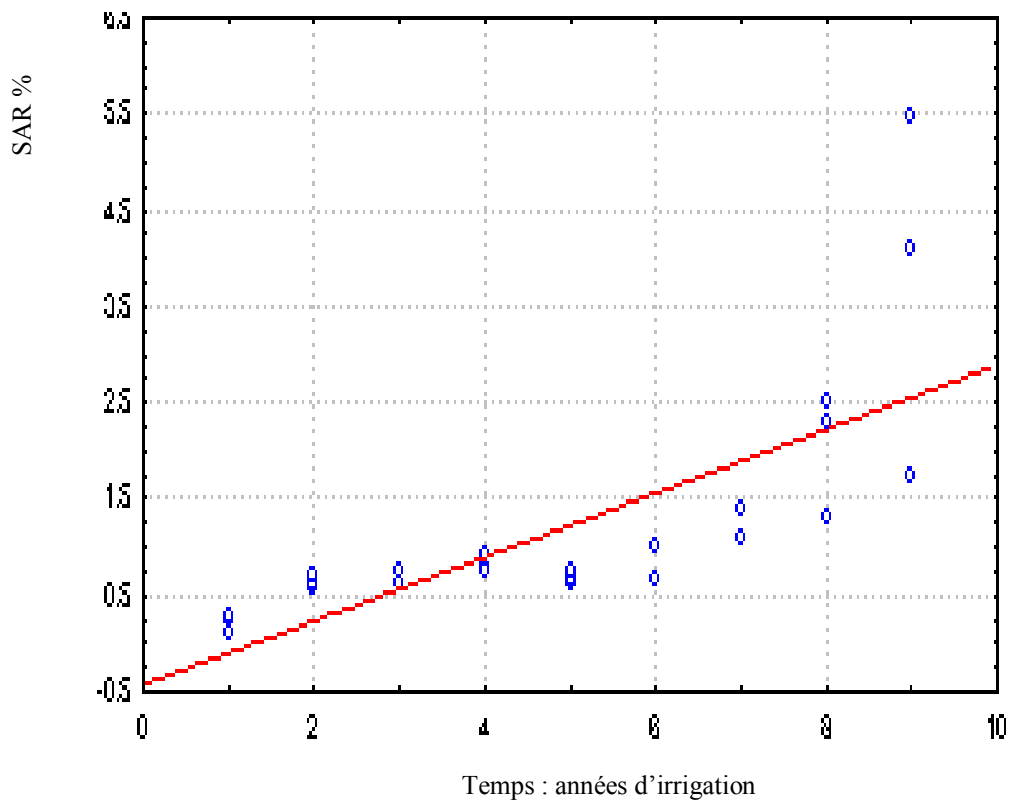


Figure n°9 : Corrélation entre le S. A. R et le temps (année d'irrigation)

$$r = 0,7331^*$$
$$p = 0,0000^*$$

Une corrélation est d'autant significative entre le S. A. R qui traduit les concentrations ioniques de la solution du sol et les années d'irrigation.

## 2.5 – La comparaison de deux moyennes non associées par paires

TABLEAU n° 19 : les résultats de paramètres de test de conformité de moyennes

	$\bar{x}_1$	S.C.E <sub>1</sub>	$\bar{x}_2$	S.C.E <sub>2</sub>	t observé	t <sub>1-<math>\alpha</math>/2</sub> tabulé	Différence
Na <sup>+</sup>	1,634	2,40	4,191	81,13	3,21	2,66	*
Ca <sup>++</sup>	10,13	31,10	8,68	33,25	2,07	2,66	N.S
Mg <sup>++</sup>	2,87	5,89	2,97	6,72	0,0323	2,66	N.S
C.E	2,84	15,54	10,65	309,94	4,97	2,66	*
E.S.P	9,99	104,54	24,56	2613,28	3,43	2,66	*
S.A.R	0,6467	0,29	1,93	23,8	3,07	2,66	*
pH	8,01	0,37	8,09	2,73	0,522	2,66	NS

$\bar{x}_1$  : moyenne des parcelles irriguées entre 0 -5 ans

S.C.E<sub>1</sub>: somme des carrés des écarts (parcelles entre 0-5ans)

$\bar{x}_2$  : moyenne des parcelles irriguées entre 5 -15 ans

S.C.E<sub>2</sub> : somme des carrés des écarts (parcelles entre 5 -15 ans)

t -  $\alpha$  /2 : tabulé à 2(n-1) degré de liberté (tables des distributions F de SNEDECOR, p=5%)

NS : test non significatif

\* test significatif au seuil de 5%.

Pour confirmer les résultats relevés au niveau des parcelles irriguées à différentes, nous avons procédé à l'application de tests statistiques relatifs à la comparaison de deux moyennes : observations non associées par paires. Au crible du tableau n° 19, nous constatons d'une manière générale que la teneur du sol en sodium augmente ainsi que les paramètres d'évaluation de la salinité évoluent progressivement avec les fréquences d'irrigation.

# PLANCHE N° 1 : Les tendances d'évolution de Na<sup>+</sup> et Ca<sup>++</sup> Au niveau des horizons

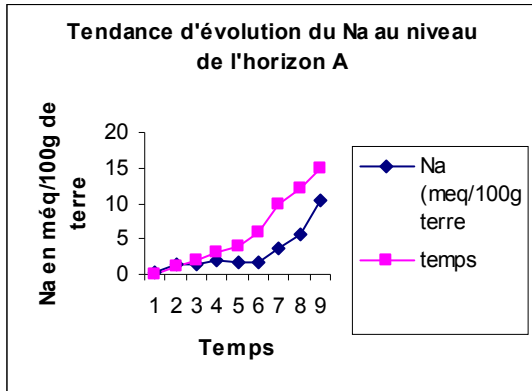


Figure : 1

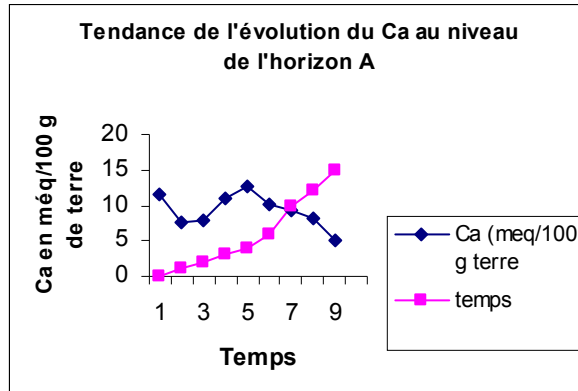


Figure : 4

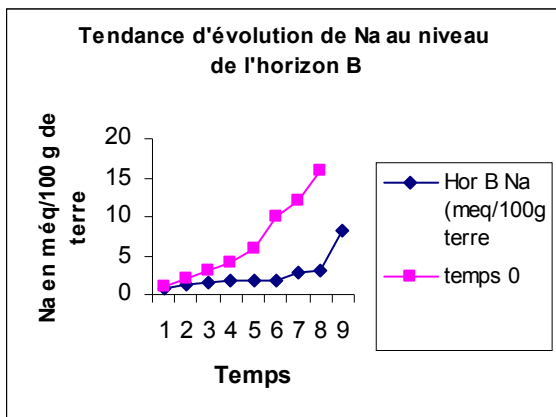


Figure : 2

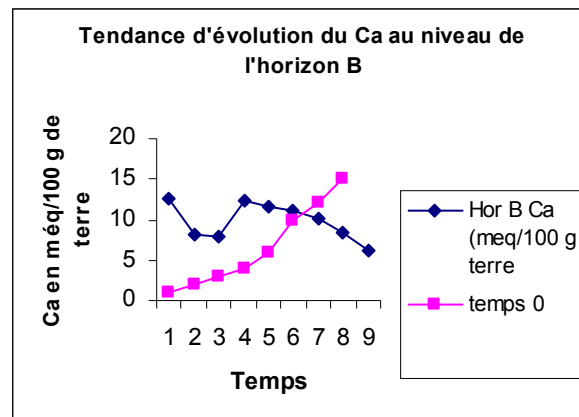


Figure : 5

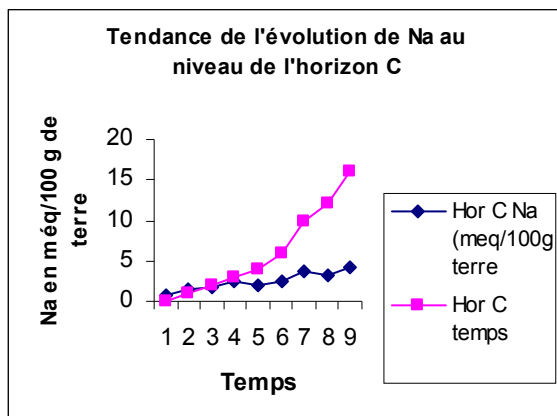


Figure : 3

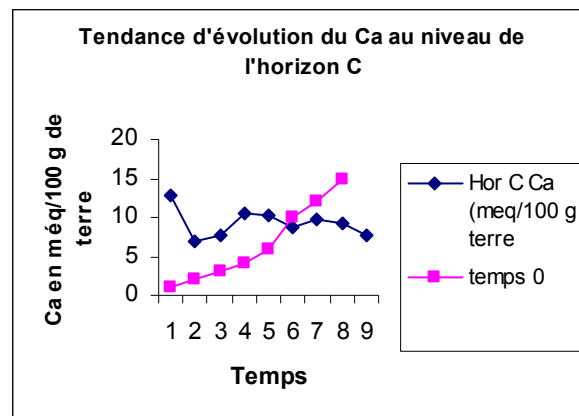


Figure : 6

## PLANCHE N° 2 : Les tendances d'évolution du Mg<sup>++</sup> et la C. E au niveau des horizons

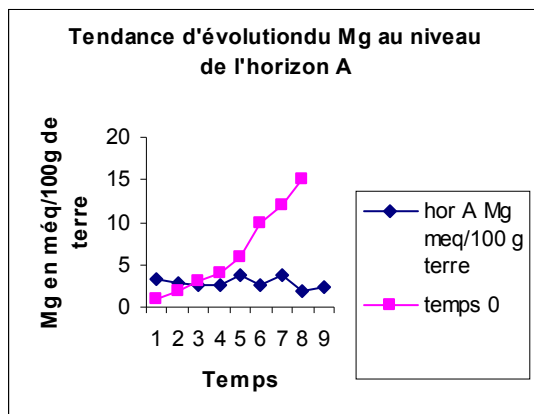


Figure 1

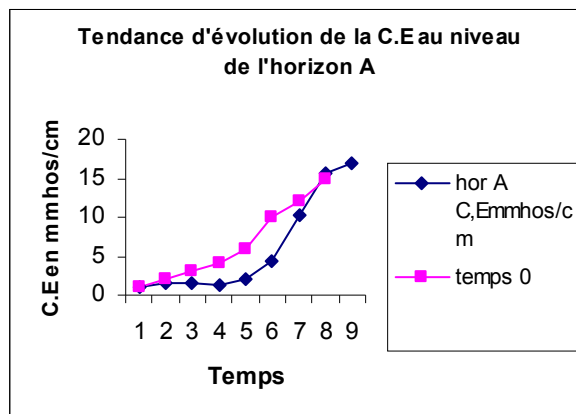


Figure 4

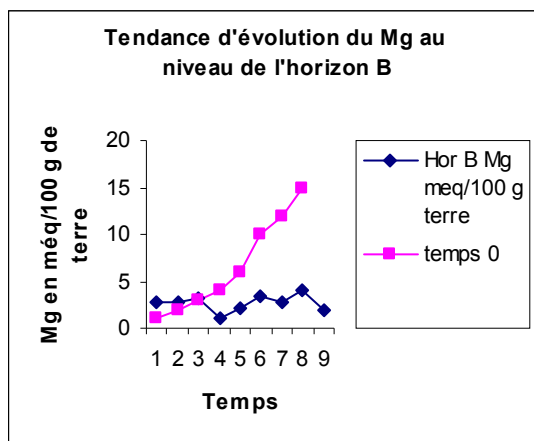


Figure : 2

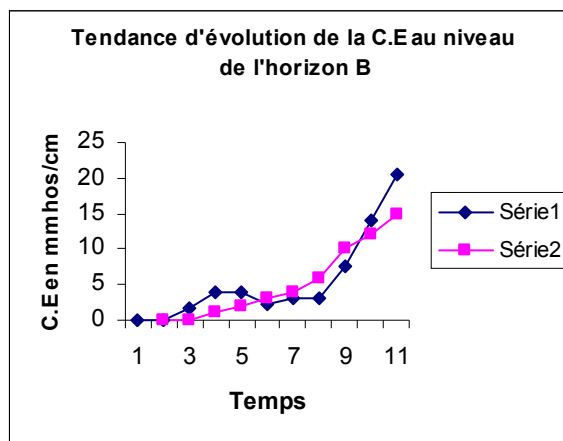


Figure : 5

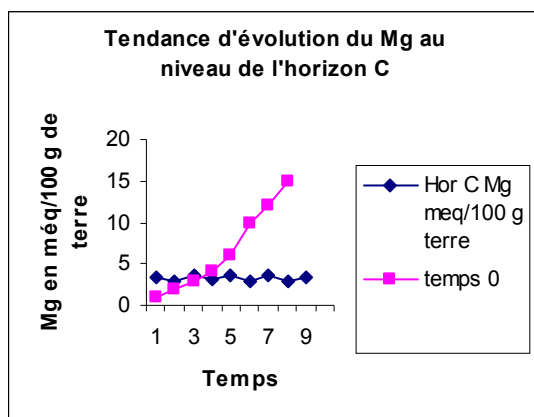


Figure : 3

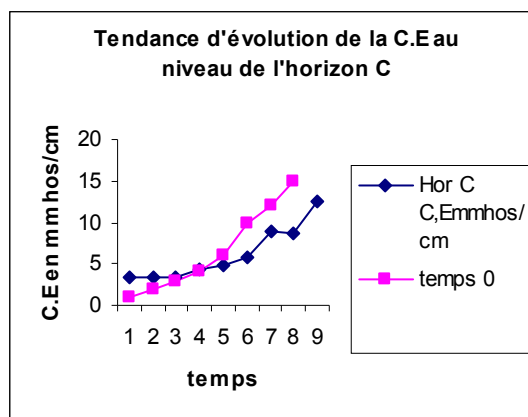


Figure : 6

### PLANCHE N° 3 : Les tendances d'évolution de l'E. S. P et le pH Au niveau des horizons

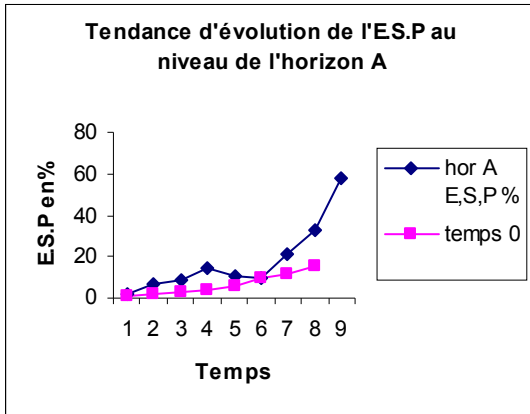


Figure : 1

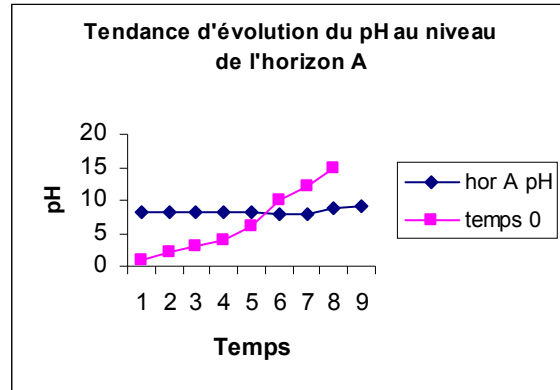


Figure : 4

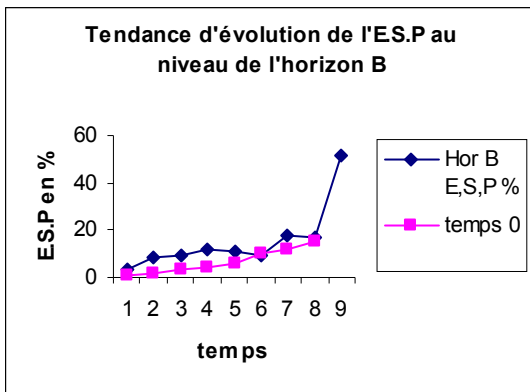


Figure : 2

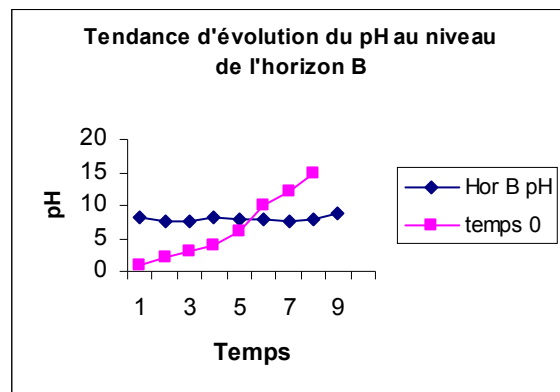


Figure : 5

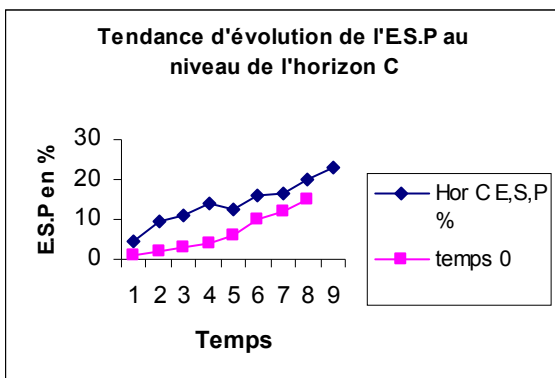


Figure : 3

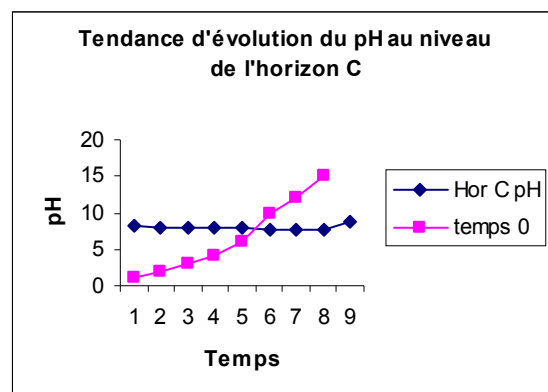


Figure : 6

#### Discussion

Les différents critères d'évaluation de la salinité étudiés en fonction de leur évolution dans le temps prouvent que la salinité devient de plus en plus importante au fil des années

d'irrigation. En effet, au delà, de douze années d'irrigation il y a apparition du processus d'alcalinité des sols qu'est une altération physico – chimique du sol qui demeure malheureusement irréversible.

Dans le cas de la zone d'étude où les caractéristiques écologiques notamment la faible pluviosité, les températures élevées et le milieu édaphique favorisent la salinité voir même l'alcalinité des sols. Ce phénomène d'altération physico – chimique du sol est accentué par l'absence totale de techniques appropriées (méthode d'irrigation et réseau de drainage).

Ce phénomène d'altération physico – chimique due principalement à la salinité ou alcalinité des sols par l'irrigation le confirme les travaux déjà menés par plusieurs chercheurs comme ceux :

- de DURAND (1958), qui attribue la salinité aux sels contenus dans les eaux souterraines ou superficielles utilisées pour l'irrigation qui se traduisent inévitablement par une transformation physico – chimique du sol avec pour conséquence la création d'un milieu stérile vis à vis de la production agricole ;

- de LEGOUPIL (1974), qui pense en plus des facteurs qui interviennent dans le processus de la salinisation (climat, drainage, et l'irrigation), il y'a les techniques d'irrigation favorisent ce phénomène ;

- d' AUBERT (1975), qui note à ce sujet que la salinité des sols est due essentiellement aux conditions arides et semi – aride où l'évapotranspiration est intense et les précipitations pluviales sont limités ;

- de FLORET et PONTANIER (1982), ces deux auteurs attribuent l'augmentation des surfaces stériles par le sel à l'utilisation des eaux saumâtres en zone arides ;

- RAMADE (1981), qui lui pense que le mauvais usage de l'eau, la mise en culture intempestive des terres marginales sont à l'origine des altérations chimiques irréversibles de la structure du sol de certaines régions. Il note également que dans les pays à climat aride, le mauvais drainage ou la proximité de la nappe phréatique conjugués à la forte évapotranspiration ont conduit à une accumulation des sels dans les couches superficielles des sols qui deviennent impropres à toute culture ;



- plus récent les travaux de DELLAL (1994), qui montrent que l'accumulation excessive des sels sont dus au climat aride, à l'irrigation sans drainage, à la forte salinité des eaux et à la texture fine du sol ;

- ou ceux de DIVIGNEAUD (1992), qui pense que ce modèle de développement (irrigation des terres steppiques) tel qu'il est conçu notamment dans le cadre de l'accession de la propriété foncière agricole au niveau de la zone d'étude, épuisera de façon accélérée et irréversible les ressources naturelles en eau et le sol.

Le phénomène de salinisation ou d'alcalinité agit négativement sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et se traduit par la même manière sur les rendements des plantes comme le confirment les travaux menés par des chercheurs tels que :

- SWALFERY *et al.* (1969), qui notent à ce sujet que le sodium diminue les limites de plasticité du sol.
- HENIN *et al.* (1969), qui pensent que l'excès de sodium provoque le gonflement de la terre et sépare les particules argileuses.
- RICHARD (1954) cité par AIT HOCINE (1993), qui souligne les facteurs qui régissent la diminution de la perméabilité sont le gonflement et la dispersion des argiles.
- JEVIT (1966), AUBERT (1986), cités par GASMI (1989), nous font connaître que la disponibilité de l'eau dans les sols salins dépend surtout en saison sèche de leur structure et texture ; elle devient difficile dès que le sol est saturé.
- ANONYME (1982), on note que la disponibilité de l'eau dans le sol diminue au fur et à mesure que la concentration de la solution du sol devient importante. Cela se traduit sur le plan pratique, ainsi plus le sol est salé plus la fréquence d'irrigation est augmentée.

En ce qui concerne, l'effet de la salinité sur les micro-organismes nous citerons les travaux de :

- DURAND (1958), qui pense que la salinité a une action néfaste sur les micros - organismes notamment les nitrificateurs.

- DELLAL (1994), plus récemment a montré qu'il existe une chute brutale de la population microbienne ainsi que le nombre de germes suite à une augmentation de la salinité à partir du seuil de (22 mmhos/cm).

Les autres effets de la salinité sont nombreux qui entraînent une perturbation du fonctionnement de la plante et qui se traduisent inévitablement par diminution de la production. Nous citerons les différentes études concernant les effets sur les rendements menées par SIMONNEAU et AUBERT (1963), RICHARDS (1969), HUTCHINSON (1973) et BERNTEN (1974), montrant qu'aucun végétal ne peut tolérer la salinité au delà de son seuil de résistance. Ils nous font savoir, pour les plantes glycophytes la salinité freine leur croissance, les halophytes diminuent leur production.

Ces effets négatifs ont été constatés sur le terrain lors de notre échantillonnage, où nous avons relevé une disparition progressive de certaines cultures qui jadis, étaient considérées comme des plantes pionnières de cet agro écosystème.

#### CONCLUSION GENERALE

Cette mise en culture sous l'effet des aléas climatiques vient accentuer davantage le phénomène de steppisation. Face à l'évolution régressive des formations végétales il s'instaure une évolution régressive des sols ; des rendzines à des sols isohumiques. La mise en culture de ces sols isohumiques a conduit à leur salinisation/ ou à leur alcalinisation ; ainsi irrigués tendent à évoluer ou aboutissent vers des sols halomorphes. La salinisation affecte les sols à partir de la sixième année d'irrigation. La saturation des différents horizons des profils par le sodium devient de plus en plus compromettante se traduisant par l'alcalinité à partir de la douzième année d'irrigation ; l'E.S.P atteint 58% et le pH demeure très voisin de 9 au niveau de la parcelle déjà irriguée depuis quinze ans.

Par ailleurs, les conditions d'aridité semblent ne pas faciliter la restauration de ces sols gâchés, où l'eau devient une ressource rare pour lessiver et drainer les sels et le lessivage climatique est pratiquement impossible.

En effet, il s'agit d'une confusion entre deux concepts différents, celui d'une mise en valeur qui consiste à valoriser les ressources et garantir leur durabilité et une mise en culture qui leur est incompatible et menaçante.

Vu certains nombres de questions méritent d'être posées :

- Comment va-t-on mettre en œuvre une action de mise en valeur des terres marginales dans des conditions techniques optimales sans perturber l'équilibre de l'écosystème ?

- Comment assurer la durabilité des ressources naturelles et préserver l'écosystème steppe dans le cadre d'actions cohérentes au sein des zones steppiques jugées favorables à la génération d'emplois ?

A la lumière des résultats que nous avons obtenus et les disponibilités en ressources naturelles de la zone d'étude, il est souhaitable de répondre en partie à ces questions par la proposition d'aménagement sur des bases écologiques.

- Dans les endroits susceptibles d'être mis en valeur au lieu d'instaurer un système de culture basé essentiellement sur le maraîchage sous les méthodes d'irrigation traditionnellement pratiquées (billons, sillons) ; il est souhaitable d'investir dans les plantations arboricoles, ainsi que sur l'irrigation goutte à goutte sans omettre les mesures de précaution qui vont garantir la durabilité des ressources naturelles notamment l'eau et le sol. Il est souhaitable également de s'orienter vers la promotion des cultures fourragères menées en irrigué dont leur intégration aux parcours favorisera certainement une plus grande mobilisation des techniques d'élevage et une stabilisation des éleveurs.
- A l'aval des zones d'épandage favorables à l'accumulation de sels, la réhabilitation par les plantations d'arbres et d'arbustes fourragers spécialisés et tolérants aux sels et à l'aridité demeure une solution primordiale (Atriplex, Cactus, Acacias). Ces espèces peuvent constituer des réserves fourragères non négligeables en prévision de disettes, comme elles jouent un rôle d'ordre écologique en préservant le sol contre l'érosion.
- Dans les endroits à encroûtement calcaire portant une végétation naturelle essentiellement dans la zone d'étude dominée par le *Noea mucronata* et moindre par *Artemisia herba-alba* qui se raréfient d'année en année sous les effets conjugués des actions anthropiques et les aléas climatiques ; la restauration par la remontée biologique peut être facilitée et accélérée par la mise en défens, qui est une opération destinée à assurer la protection des zones fortement dégradées. Toutefois, cette opération demeurera stérile, si les principaux acteurs (éleveurs) sont marginalisés.

## BIBLIOGRAPHIE

ACHOURH., HANAFI K., et LOISEL R., 1997 - Caractéristiques édaphiques des formations à *Stipa tenacissima* L de l'Algérie en relation avec la dynamique de la végétation. *Ecologia mediterranea* , n°23 . p33 – 43.

AIDOUD A., et NEDJRAOUI D., 1982 – Evaluation des ressources pastorales dans les hautes plaines steppiques du Sud oranais. Productivité et valeurs pastorales des parcours. *Biocénose* n°2. p 43-62.

AIDOUD A., 1996 – La régression de l'alfa (*Stippa tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Sécheresse* ; 7. p 187 – 93.

AIT HOCINE R., 1993 – Rétention de l'ammonium dans les sols salés de Relizane mémoire, Ing, Agro, INES de Tiaret. 80 pages.

ANONYME ., 1982 – Amélioration des sols salins . Cours , Gembloux. 122 pages.

ANONYME ., 1993 – Memento de l'Agronome. Ministère de la coopération française p 150 –190

AUBERT G.,1975 - Les sols sodiques en Afrique du Nord . Ann INA, vol. VI n° 1 p185- 197

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

BAGNOULS F., et GAUSSEN H., 1957 – Les climats biologiques et leur classification Ann. Géogr. Fr. 355 : p 193 –220.

BAGNOULS F., et GAUSSEN H., 1953 – Saison sèche et indice xérothermique : Extrait du Bull .Soc . Hist . Nat de Toulouse . T. 88, p 193 –239.

BAIZE D., 2000 – Guide des analyses en pédologie. INRA Paris p 205 – 213.

BARGHOUTI S., et Le MOINE., 1991 – L'irrigation et le défi écologique. Une bonne gestion de l'eau peut protéger l'environnement . *Revue, Finance et Développement* , p 32-33.

BENKHETOU A., 1995 – La mise en irrigation des zones steppiques dans le cadre à l'accession à la propriété foncière agricole « Cas de Rechaigua Wilaya de Tiaret Algérie » projet de thèse Mastère ,IAM, Montpellier, 20 pages.

BENGHANIA N., et BELGUENOUNE H., 2001- Contribution à l'étude de l'action anthropique en zone steppique Rechaigua W de tiaret. Mémoire D.E.S , 72 pages.

BENNIA K., et KENNICH Z., 2001 – Contribution à l'étude de la relation sol groupement végétal dans un milieu salé : cas de la plaine de M'lélta (wilaya d'Oran). Mémoire DES INES de Tiaret. 106 pages.

BENZAHI F., 1990 – Caractérisation de la matière organique dans les sols sales de Relizane. mémoire, Ing, Agro, INES Tiaret , 84 pages.

- BERNSTEIN L., 1974 – Crop Groth and Salinity . Agronomy 17, Drainage for Agriculture, American Society of Agronomy, Road, Madison.
- BONTENUS P.H., et ROTILLON G., 1998 – Economie de l'environnement. Ed la Découverte . p 7 –15.
- BOURAHLA L., 1991 – Variation saisonnière de la salinité dans la région de Relizane ( effet de la pluviométrie sur la lixiviation des sels). Mémoire , d'ing agro, univ de Tiaret. 43 pages.
- CHAUMONT M., et PAQUIN C., 1971 - La carte pluviométrique de l'Algérie. Univ, Alger . 4 folios.
- CORNILLON P., et AUGÉ M., 1983 – Salinité et adaptation du piment . I.N.R.A Montfavet. 11 pages.
- C.P.C.S., 1967 – Classification des sols. Travaux de la commission de Pédologie et de Cartographie des sols (1963 –67). Laboratoire de géologie – pédologie, E.N.S.A, Grignon, paris, 87 pages.
- DAGORNE A., KIRECHE O., et DUVIGNEAU G., 1992 – Espaces et sous – espaces identifiables selon les caractères de l'espace – support, l'occupation du sol et les différents aménagements. « Le fonctionnement de l'espace ». 63 pages
- DAOUD Y., 1980 - Contribution à l'étude de la dynamique de l'eau et des sels dans un sol irrigué du haut Chellif. Mémoire, Magistère, I.N.A , Alger.
- DELLAL A., 1994 - Réactivité physico-chimique, fonctionnement physiologique et microbiologique en conditions salines. Thèse d'Etat, Rennes. 223 pages.
- DJEBAILI S., 1978 – Recherche phytosociologique et écologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse d'Etat, univ. de Montpellier.
- DERDOUR H., 1981 – Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le comportement des sols au comptage. Mémoire , Magistère , INA, Alger.
- DUCHAUFOR P.H .,1983 – Pédologie. Pédogenèse et classification T1. Ed Masson, p467 - 483.
- DUCHAUFOR P.H., 1976 - Atlas écologique des sols du monde, éd, Masson, 168 pages.
- DURAND J.H ., 1958 – Les sols irrigables. Etude pédologique. Alger. 190 pages
- DUVIGNEAUD P., 1984 - LA SYNTHÈSE ÉCOLOGIQUE « populations communautés, écosystèmes, biosphère et noosphère » 2ème éd p
- DUVIGNEAU G., 1992 – D'hier à aujourd'hui... La construction de l'espace, Wilaya de Tiaret, les orientations actuelles de l'aménagement du territoire, 19 pages.
- EILERS R.G., EILERS D., PATTAPIECE W.W., et GLEYT G., 2000 - Salinisation du sol. C.R.E.C.O, Canada, 8 pages.

- EMBERGER L., 1955 – Une classification biogéographique des climats. Trav. Inst. Bot., Montpellier,7, p 3-43.
- EMBERGER L., 1957 – Les études phytosociologiques entreprises en Afrique du nord sous contrôle scientifique et technique du service de la carte des groupements végétaux de la France. Bull. Serv. Carte phytosociologique, B, 11, 2 p 15 – 36.
- FEKNOUS N., 1984 – Essais méthodologiques sur la détermination de la CEC et des bases échangeables pour les sols contenant peu de sels solubles. Mémoire, Ing. Agro. INA Alger.
- FLORET C., et PONTANIER R., 1982 – L'aridité en Tunisie présaharienne. Climat, sol, végétation et aménagement Trav , Doc .O.R.S.TO.M , n°150 , 544 pages.
- GASMI A., 1989 – Amélioration des propriétés physiques des sols salés par l'action combinée de la paille de blé et du phosphogypse. Mémoire d'ing agro, Univ de Tiaret.
- GAUSSEN H., et BAGNOULS F., 1958 – Carte des précipitations de l'Algérie. Echelle 1/500.000 I.N.G. Paris.
- GODRON M., 1968 – Quelques applications de la notion de fréquences en écologie végétale. Oecol. Plant, 111, B : p 185 – 212.
- GODRON M., 1984 – Abrégé d'écologie de la végétation terrestre. p 95 –143
- GOUNY P., et CORNILLON P., 1973 – La salinité. Aspects théoriques et pratiques Modes de contrôle .Ann .Agro , 142, 3-7. INRA Montfavet.
- HALIMI A., 1980 – L' Atlas Blidéen. Climats et étages végétaux. OPU. p 399 –448.
- HALITIM A., 1988 – Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U. p 1 –41
- HENIN S., GRAS R., et MONNIER G., 1969.- LE PROFIL CULTURAL. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Edition Masson et Cie. 332 pages.
- HUTCHINSON., 1973 – Irrigation, Drainage, and Salinity, Plant Groth under Saline Conditions . FAO / UNESCO.
- KAOURITCHEV I., et COLL., 1980 – Manuel pratique de pédologie . Etude des principaux types de sols « classification et diagnostic ».Ed .Mir. Moscou. p 53 – 62.
- KAMOUNE I., et HASSANI F., 2001- Contribution à l'évolution des ressources naturelles et des actions de mise en valeur de la zone steppique Rechaigua . de Tiaret. Mémoire de D.E.S en biologie, 46 pages.
- KAOUICHE M., 2000 – Contribution à l'étude de la relation sol-végétation dans la zone steppique de Rechaigua . Mémoire de D.E.S , 46 pages.
- KHELILL A., 1995 - Quel avenir pour l'écosystème steppe. Edition DAHLEB ,184 pages.
- LEGOUPIL J.C., 1974 – Evolution de la salure du sol sous irrigation, aménagement et mise en valeur des sols salés. Doc I.T.A Mostaganem. 139 pages.

- LE HOUEROU H.N., 1995 – Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique. Sécheresse ; 6 : p167 – 182.
- LE HOUEROU H.N., 1995 – Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique « Diversité biologique, développement durable et désertisation ». Option médite, n°10, 287 p.
- MARIH R., 1991 – 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.
- MEZLI S., 1993 – Evolution de la végétation et du milieu dans la région présaharienne des steppes algériennes. Sécheresse ; 6 : page 113 – 116.
- MIHAI G.H., et DINCU L., 1976 – Influence des travaux d'amélioration des caractères des sols à excès des sels solubles. Ann INA, vol. VI n° 1. p 197 –215.
- MOUMENE T., 2001 - Evaluation des Ressources naturelles et la mise en valeur de la partie steppiques de la wilaya de Tiaret « Thèse. Doct. . Etat. (Thèse en cours .université . d'Oran)
- OUADAH S., 1992 – Etude de la population microbienne azotée dans les sols salés de Relizane . Mémoire . Ing d'état. 66 pages.
- OZENDA P., 1982 – Les végétaux dans la biosphère . Ed .DOIN .Paris. p 127 –152.
- PEGUY CH. P.,1970 – Précis de climatologie . édit Masson et Cie. p 264 –284.
- POUGET M., 1980 – Les relations sol-végétation dans les steppes Sud – algéroises. Trav , Doc .O.R.S.TO.M , n°116 , 555 pages.
- RAMADE F., 1981- Ecologie des ressources naturelles. Ed Masson, p 201 –16.
- RAMADE F., 1984 – Eléments d'écologie « écologie fondamentale » p 86 –94
- RICHARDS L.A., 1969 – Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook N° 60, Salinity Laboratory, Riverside, California.
- SELTZER P., 1946 - Le climat de l'Algérie . Imprimerie la typo – liho –Alger. 219 pages.
- SIMONNEAU P., et AUBERT G., 1963 – L'utilisation des eaux salées au Sahara . Ann. Agr. 14, p 859 – 872 .
- SIMONNEAU P., 1957 – Note sur la résistance aux sels de quelques plantes cultivées ; observations faites dans les terrains salés des plaines sublittorales d'Oranie. UNESCO , compte rendu de recherche, 26 pages.