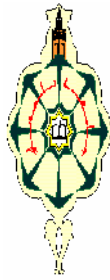


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche Scientifique



UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID-TLEMCEM

Faculté des Sciences de la nature et Sciences de la terre et l'univers

Département d'Agronomie et Sciences des forêts

Option: Amélioration de la production végétale et Biodiversité

**Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Magister en Sciences
Agronomiques**

**Contribution à l'amélioration des rendements des plantes
cultivées en sols salés**

Présenté par le candidat: BENZELLAT Benmahammed

Membre de jury:

Président : Dr AMRANI S.M Maître de conférences à l'université de Tlemcen

Promoteur : Dr ELHAITOUUM. A Maître de conférence à l'université de Tlemcen

Examineur : Dr BENMAHIUL. B Maître de conférence à l'université de Tlemcen

Invités : M CHIKH. M Université de Tlemcen

Dr MOSTFAI. N Université de Tlemcen

Soutenu le :

Année Universitaire : 2011/2012

Remerciements

Nous remercions dieu tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour accomplir ce modeste travail.

*Au terme de ce travail, je voudrai d'abord exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à **Dr ELHAITOU. A**, Maître de conférence à l'université de Tlemcen qui m'a fait profiter de sa riche expérience et a bien voulu diriger ce travail.*

Mes vifs remerciements s'adressent aussi au président et aux membres du jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à toute l'équipe du laboratoire des travaux publique d'ouest.

Je remercie le plus le plus profond à mes enseignant de la faculté des Sciences, département d'agronomie, Université ABBB de Tlemcen.

Toute ma gratitude à mes collègues de promotion ainsi qu'à d'autres étudiants.

De peur d'oublier des noms, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près pour la réalisation de ce travail.

Dédicaces

*Je dédie ce travail à mes très chers parents qui m'ont
affectueusement soutenus tout le long de mes études sans
jamais faillir.*

*La mémoire de mon cher frère ABDELLAH que je ne pourrai
oublier.*

À mes frères et sœur et à toute ma famille.

A mes amis.

HAMAD

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des photos	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1

Partie théorique

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

Introduction.....	3
I-1-Localisation.....	3
I-2-Géologie.....	3
I-3-Géomorphologie.....	4
I-3-2-Dépressions.....	4
I-3-2-1-Sebkhas.....	5
I- 3-2-2-Dayas.....	5
I-3-2-3-Chotts et Mekmens.....	5
1-4-Aperçu pédologique.....	5
1-4-1-Les sols calcimagnésiques.....	5
1-4-2-Les sols gypseux.....	6
1-4-3-Les sols salés.....	6
1-4-3-1-Les sols salés à structures non dégradées.....	6
1-4-3-2-Les sols salés à structure dégradée.....	7
1-4-3-3-Sols hydromorphes ou sols à gley.....	7
I-4-4-Les sols cultivés.....	7
I-4-4-1-La Surface agricole utilisée.....	7
I-4-4-2-Les terres mises en valeur.....	8

I- 5 – Etude climatiques.....	9
I-5-1-Cartes des precipitations.....	9
I-5-2- Precipitations.....	11
I- 5-3- Température.....	11
I-5-4-Les vents.....	12
I-5-5-La gelée.....	13
I-6-Synthèse climatique	13
I-6-1- Amplitude thermique moyenne et indice de continentalité	13
-6-2-Indice de sécheresse estivale.....	14
I-6-3- Indice d'aridité de Demortonne (1923).....	14
I-6-4- Indice d'aridité annuel.....	14
I-6-6-Diagramme ombrothermique de BANGNOULS et GAUSSEN.....	15
I-6-7- Quotient pluviométrique et climagramme d'EMBERGER (1955).....	16
I-6-8-Évapotranspiration (ETP).....	18
Conclusion.....	18
Chapitre II : Les sols salés	
Introduction.....	19
II-1-Les sols salés (définitions et pédogenèse).....	19
II-2-Répartition de la salinité du sol.....	21
II-2-1-Les sols salés dans le monde.....	21
II-2-2-Les sols salés en Algérie.....	23
II-3-Facteurs de la salinisation des sols.....	26
II-3-1–Climat.....	26
II-3-2-Source de sels.....	27
II-3-3-Drainage.....	27

II-3-4- Intrusion d'eau de mer.....	27
II-4-Aspect pédologique de salinisation, salinisation primaire ou secondaire.....	28
II-5-Signes d'un sol salé	28
II-6-Normes d'interprétation de la salinité du sol.....	29
II-7-Classification des sols salés.....	29
II-8- Ecologie des sols salés.....	30
II-8- L'utilisation agricole des sols salés.....	32
II-9- Amendements et mise en valeur des sols salés.....	33
II-9-1-La restauration par lessivage.....	34
II-9-2-Traitements chimiques.....	35
II-9-2-1- Traitement par le gypse.....	36
II-9-2-1-1-Action du gypse sur le sol.....	36
II-9-2-2- Traitement par l'acide sulfurique.....	36
Conclusion.....	36
Chapitre III : les sels dans les sols salés	
Introduction.....	37
III-1- Définition de la fixation ionique.....	37
III-2-Les phénomènes d'échange dans les sols, généralités.....	38
III-2-1-Fixation préférentielle des cations sur les sols.....	39
III-2-2- Les formes et sources de l'ion Sodium.....	39
III-3-Les principaux sels responsables de la salinité.....	40
III-3-1- Les carbonates	40
III-3-1-1- Les carbonates de magnésium	40
III-3-1-2- Les carbonates de sodium.....	40
III-3-1-3- Les carbonates de potassium.....	41

III-3-2– Les chlorures.....	41
III-3-2– 1- Le chlorure de sodium	41
III-3-2– 2- Le chlorure de magnésium	41
III-3-2– 3 - Le chlorure de calcium	41
III-3-3- Le chlorure de potassium	41
III-3-4 – Les sulfates	42
III-3-4 1- Les sulfates de magnésium	42
III-3-4-2- Les sulfates de sodium	42
III-3-4 -3 - Les sulfates de potassium	42
III-4-Les caractères principaux des sels dans le sol	42
III-4-1– La solubilité.....	42
III-4-2- La mobilité.....	43
III-4-2-1- Les mouvements descendants.....	44
III-4-2-2- Les mouvements ascendants	44
III-4-2-3- Les mouvements verticaux et obliques	44
Conclusion.....	44
Chapitre IV: Les problèmes de la salinité	
Introduction.....	45
IV-1- L’action des sels sur les propriétés du sol.....	45
IV-1-1- Les effets des sels sur les propriétés physiques du sol	45
IV-1-2- Les effets des sels sur la stabilité structurale.....	45
IV-1-3 L’effet des sels sur la perméabilité.....	46
IV-1-4-L’action des sels sur la rétention de l’eau.....	47
IV-2- Le stress salin.....	47
IV-2-1-Notion de stress.....	47

IV-2-2- Influences des sols salés sur les plantes.....	48
IV-3-1- L'effet de la salinité sur la croissance.....	48
IV-3-2- L'effet de la salinité sur l'eau et l'Oxygène dans la plante.....	49
IV-3-3-L'effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille.....	49
IV-3-4-L'effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines.....	49
IV-3-5-L'effet de la salinité sur les lipides.....	50
IV-3-6-L'effet de la salinité sur le taux des ions.....	50
IV-3-7-L'effet de la salinité sur les enzymes antioxydantes.....	51
IV-3-8-L'effet de la salinité sur le métabolisme de l'azote.....	51
IV-3-9-L'effet de la salinité sur l'ultrastructure du chloroplaste.....	52
IV-3-10-L'effet de la salinité sur la photosynthèse.....	52
IV-4- L'effet des sels sur la faune du sol.....	52
IV-4-La tolérance des plantes à la salinité.....	53
IV-5- Conséquences de la salinité sur les rendements.....	56
IV-1-5-1-Symptômes morphologiques d'un stress dû au sel.....	56
Conclusion.....	57
Chapitre V – Normes et méthodes de mesure	
Introduction.....	58
V- Analyses chimiques.....	59
V –1- Les caractères d'évaluation de la salinité.....	59
V-1-1- La conductivité électrique (C. E).....	59
V-1-2- Extrait de la pâte saturée.....	59
V-1-3- Les différentes échelles de salinité.....	60
V-1-4- Le taux de sodium échangeable (E S P)	62
V-1-5 – L'indice du risque de salinité (I. R. S).....	62

V-1-6- Le pH	62
V-1-7- Le calcaire total.....	63
V-1-8- Le calcaire actif.....	63
V-1-9 – Bilan ionique dans les sols salés ou gypseux.....	63
V-2- Qualité de l'eau d'irrigation.....	64
V-2-1- La sodocité	64
V-2-2-Normes d'interprétation de la salinité de l'eau	64
V-2-3-La classification des eaux d'irrigation selon la conductivité.....	65
V-2-4-La classification des eaux d'irrigation selon la proportion relative du sodium, du calcium et du magnésium.....	66
V-3- Matière organique.....	67
V-3-1-Actions de la matière organique sur les propriétés physiques du sol.....	70
V-3-2-Actions de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol.....	70
V-3-3-Actions de la M.O sur les propriétés biologiques du sol.....	71
V-4- Mode d'irrigation.....	72
V-4-1-Définition des systèmes d'irrigation	72
V-5- Prégermination.....	73
V-6- Effet des haies brise-vent.....	75
Conclusion.....	76

Partie Expérimentale

I- Etudes du sol et de l'eau d'irrigation.....	78
Introduction.....	78
I-1-Choix de la région d'étude	78
I-2-Localisation de la région d'étude.....	79
I-3-Analyse du sol.....	82
I-3-1-Description du terrain.....	82

I-3-2-Echantillonnage.....	84
I-4-Analyse au laboratoire	86
I-4-1-Les analyses physiques.....	86
I-4-1-1-L'analyse granulométrique.....	86
I-4-1-2-Mesure du pH.....	88
I-4-1-3-Humidité résiduelle.....	88
I-4-1-4-La matière organique.....	88
I-4-2-Les analyses chimiques.....	90
I-4-2-1-Calcaire total (CaCO ₃).....	90
I-4-2-2-Bilan ionique dans les sols salés.....	91
I-4-2-3-La conductivité électrique du sol.....	91
I-5-Analyse de l'eau d'irrigation.....	92
I-5-1-Mesure de la conductivité électrique	92
I-5-2-Analyse chimique de l'eau d'irrigation	92
I-5-3-pH de l'eau d'irrigation.....	92
Essais expérimentaux.....	93
Introduction	
II- Mode expérimentale	95
II-1-Matériel végétal utilisé.....	95
II-1-1-La menthe.....	96
II-1-2-Pomme de terre.....	96
II-1-3- Carotte.....	97
II-1-4-Pastèque	97
II-2- matière organique.....	97
II-3-Mode d'irrigation.....	100

II-4- Prégermination.....	102
II-5- Rôle des haies brise-vent.....	103

Résultats et discussion

III- Résultats.....	105
III-1-Résultats de l'analyse du sol.....	105
III-1-1-Granulométrie.....	105
III-1-2-pH et conductivité électrique des quatre sols.....	110
III-1-3-Humidité résiduelle.....	110
III-1-4-La matière organique.....	111
III-1-5-Taux de calcaire.....	112
III-1-6-Bilan ionique des quatre échantillons.....	113
III-2-Résultats de l'analyse de l'eau d'irrigation.....	114
IV-1-La matière organique.....	116
IV-1-1-Le sol non traité.....	116
IV-1-1-1-Evolution de la structure du sol.....	116
IV-1-1-2- la conductivité électrique du sol témoin.....	118
IV-1-1-3-le rendement.....	120
IV-1-2- Le sol traité par la matière organique.....	121
IV-1-2-1-Le suivi de l'effet de la matière organique sur la structure du sol.....	121
IV-1-2-2-Conductivité du sol traité par la matière organique.....	122
IV-1-2-3- Le rendement.....	124
IV-2- Mode d'irrigation.....	125
IV-2-1- L'irrigation par submersion.....	125
IV-2-1-1- La structure du sol.....	125
IV-2-1-2- Conductivité électrique.....	126

IV-2-1-3- Le rendement.....	127
IV-2-2- Irrigation par aspersion.....	128
IV-2-2-1- La structure du sol.....	128
IV-2-2-2- La conductivité électrique.....	129
IV-2-2-3- Rendement	131
IV-3- Prégémination	131
IV-3-1- Taux de levée des graines prégermées.....	132
IV-4- Rôle des haies brise-vent.....	133
IV-4-1-Evolution de la conductivité d'un sol clôturé par une haie brise-vent.....	133
IV-4-2-Rendement de la pomme de terre	135
V- L'interprétation statistique des résultats.....	136
V-1- Corrélacion entre la CE et l'humidité résiduelle du sol.....	136
V-2- Corrélacion entre l'humidité résiduelle et la matière organique du sol.....	136
V-2-3- Corrélacion entre l'humidité résiduelle et le pourcentage du sable du sol	136
V-2-4- Test de calcul de l'intervalle de confiance pour la différence entre les moyennes (Menthe).....	136
1-Test t et intervalle de confiance pour données appariées.....	137
2-Test t et intervalle de confiance pour 2 échantillons.....	137
VI- Discussion.....	138
Conclusions générales et perspectives.....	140
Bibliographie	

Liste des tableaux :

- Tableau n°1 : Répartition de la S.A.U par commune (31-12-2007)
- Tableau n°2 : Répartition des superficies mises en valeur par commune
- Tableau 03: Répartition moyenne mensuelle des précipitations (mm)
- Tableau 04: Régime saisonnier des précipitations
- Tableau 05: Valeurs moyenne mensuelles des températures
- Tableau N° 06 : Station de Mécheria : Direction des vents selon leurs fréquences en %
- Tableau N°07: Station d'Ain Sefra : Direction des vents selon leurs fréquences en %
- Tableau 08 : Indice de continentalité
- Tableau 9 : Indice de sécheresse estivale
- Tableau 10: Indice d'aridité mensuel de Demartonne
- Tableau N°11 : Répartition moyenne mensuelle des précipitations (mm) températures
- Tableau 12 : Valeur de Q2 et étages bioclimatiques
- Tableau N°14 : le classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la S.A.U:
- Tableau N°13: La superficie affectée par la salinité dans différentes régions du monde :
- Tableau n° 15 : le degré de solubilité
- Tableau n°16: la solubilité des principaux sels selon DURANT (1958)
- Tableau N°17:Classe de tolérance des cultures à la salinité
- Tableau n° 18: nomenclature de cultures : classées de sensibles à tolérantes à la salinité ainsi que leur rendement en fonction de la concentration du sel dans le sol et dans l'eau (CE sol ; CE eau).
- Tableau n°19 : la correspondance entre plantes halophytes et plantes cultivées (SIMONNEAU ,1957)
- Tableau n° 20 : Variation de la conductivité électrique en fonction d'un taux de la salinité (DAOUD, 1980) cité par BOURAHLA (1991).
- Tableau n° 21 : Echelle de salinité des sols d'après SERVANT (1971) in BAIZE (2000).

Tableau N°22:Composition granulométrique des quatre échantillons prélevés

Tableau N°23 : Résultats obtenus de l'analyse du pH et de la conductivité électrique des quatre échantillons.

Tableau n°24 : résultats de l'humidité résiduelle des sols étudiés.

Tableau n°25: les résultats de l'analyse de la matière organique total des sols étudiés

Tableau N°26: Résultats de l'analyse du calcaire total des sols étudiés

Tableau N°27: résultats de l'analyse ionique des échantillons étudiés

Tableau N°28: résultats de pH et la conductivité électrique et l'analyse de sodium, calcium et magnésium et le SAR de l'eau d'irrigation de la zone d'étude

Tableau n°29 : résultats de l'évolution de la conductivité électrique du sol non traité par le fumier

Tableau n°30 : quantité de matière sèche de menthe produite dans le sol salé

Tableau n°31 : résultats de l'évolution de la conductivité électrique du sol traité par le fumier ovin

Tableau n°32:quantité de matière sèche produite par le sol salé traité par MO

Tableau n° 33: résultats de la CE du sol étudié irrigué par submersion

Tableau n° 34: résultats de la CE du sol étudié irrigué par aspersion

Tableau n° 35: résultats de la CE du sol clôturé par une haie brise-vent

List des figures :

Figure n°1 : Pluviométrie moyenne annuelle dans les hautes plaines sud Oranaises

Figure n°2: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la commune de Naâma

Figure n°3: Climagramme pluviométrique d'Emberger de la région de Naâma (1992-2008)

Figure n°4: carte montre les sols salés et sodiques en 17 états de l'union européenne

Figure n°5: carte montre la répartition des sols salins du Nord de l'Algérie

Figure n°6: action du gypse sur la substitution du sodium par le calcium au niveau du complexe adsorbant

Figure n°7: Courbe explique la relation entre la salinité du sol et le rendement.

Figure n°8: Diagramme permettant de déterminer les classes des eaux en fonction de la conductivité et du coefficient d'absorption du sodium.

Figure n°9 : Localisation de la zone d'étude

Figure n°10: Carte satellitaire montre la localisation du périmètre irriguée de la zone d'étude

Figure n°11 : Géomorphologique de terrain d'étude

Figure n°12: Photo représentative d'un tamis utilisé pour l'analyse granulométrique

Figure n°13: Histogramme représente les résultats de l'analyse granulométrique des sols prélevés (4 échantillons)

Figure N°14 : Triangle texturales

Figure N° 15: Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon N°1

Figure N° 16: Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon N°2

Figure N° 17: Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon N°3

Figure N°18 : Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon N°4

Figure n° 19: histogramme montre la corrélation entre la conductivité et l'humidité résiduelle.

Figure n°20: Devenir de la matière organique

Figure n°21 : effet des haies brise-vent sur l'amélioration de la production agricole

Figure n°22 : Les sels s'accumulent dans le sol par le mouvement ascendant de l'eau par capillarité

Figure n° 23: Evolution de la conductivité électrique du sol (non traité par la matière organique)

Figure n° 24: Evolution de la conductivité électrique du sol étudié (traité par le fumier)

Figure n° 25: Evolution de la CE du sol étudié irrigué par submersion

Figure n° 26: Evolution de la CE du sol étudié irrigué par aspersion

Figure n°27: comparaison de la CE de deux sols, l'un clôturé par brise-vent et l'autre sans brise-vent

Liste des photos:

Photo 1: une photo montre la présence de la salure qui élimine la végétation

Photo 2: Cristaux de sels au tour d'une halophyte

Photo n° 3: la dégradation de la structure du sol après l'irrigation

Photo n° 4: photo montre la présence des sels au sol

Photo n° 5: photo montre le profile qui caractérise le sol du périmètre irrigué de la zone d'étude

Photo 6: sédimentation des particules inférieures à 0,08 mm des quatre échantillons

Photo n° 7: la matière organique utilisée dans les essais expérimentaux

Photo n° 8: photo montre l'irrigation par aspersion.

Photo n° 9: photo montre l'Irrigation par micro-aspersion

Photo n° 10: photo montre l'irrigation par submersion

Photo n° 11: Photo montre la dégradation du sol par fissuration après une irrigation

Photo n° 12: photo d'une carotte de la 10eme semaines, qui présente des racines secondaires

Liste des abréviations

ANRH : Agence nationale des ressources hydriques

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

CAH : Complexe Argilo-humique

CE : Conductivité électrique

CEC : Capacité d'échange cationique

DSA : Direction des services agricoles

ESP : Taux de sodium échangeable

ETP: Evapotranspiration potentielle

FL : Fraction lessivée

I.e : Indice de sècheresse

INSID : Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage

MAPM : Ministère de l'agriculture et de la pêche maritime "Maroc"

MO : Matière organique

ONTA: Office national des terres agricoles

PE: Précipitation estivale

RDT : Rendement

SAR : Ration de sodium adsorbé

SAU : Surface agricole utile

UQCN : Union Québécoise pour la conservation de la nature

URFA : Union Régionale des Forêts d'Auvergne.

Introduction:

Les sols salins, qui contiennent ou ont contenu aux premiers stades de leur évolution un excès de sels solubles, sont très répandus dans le Tell algérien (plaines de la Mleta et de l'Habra en Oranie, notamment, où la salinité des sols est le principal problème de la mise en valeur) et dans les Hautes Plaines où ils forment de vastes placages aux alentours des chotts. Ce sont surtout des solontchaks où les chlorures de sodium sont en quantités telles que la végétation naturelle de la région laisse place à une végétation halophile qui disparaît elle-même lorsque la proportion de sels augmente trop.

L'origine des sels peut être variée. Ils proviennent souvent de la décomposition de roches salifères sous l'influence des agents climatiques et des facteurs biologiques. Très nombreux sont les affleurements de roches salifères en Algérie : gypse triasique; grès du Crétacé moyen; marnes sénoniennes dans le Sud-Constantinois; poudingues, grès et limons rougeâtres de l'Oligocène continental (Aquitainien) ; poudingues et grès carténiens; argiles, grès et poudingues helvétien; gypse, marnes et calcaires du Sahélien; grès du Pliocène continental (bassins fermés des Hautes Plaines); formations quaternaires des plaines littorales, des basses plaines oranaises et des dépressions fermées. (Benchetrit M; 1956.).

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Selon la FAO et les estimations les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente.

Pour les chimistes un sel est le produit qui résulte de l'action d'un acide sur une base.

Beaucoup de substances chimiques sont donc des sels. Pour l'agronome, un sel est une substance dont la solubilité dans l'eau est suffisante pour gêner la croissance des plantes. (Jean-Paul Legros; 2009)

Selon G.AUBERT (1976) et de façon générale « les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent principalement d'une action de la mer (pas actuelle) ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le Trias jusqu'au Quaternaire.

En Algérie, il n'est recensé aucune étude cartographique fiable et précise permettant de délimiter les zones touchées par la salinité des terres et la quantification de la teneur des sels dans le sol.

Néanmoins il existe quelques données fragmentaires qui donnent une idée générale sur le phénomène de salinité et de la dégradation des terres.

D'après SZABLOCS (1989) 3,2 million d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient.

Ce phénomène est observé (voir carte) dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra Sig, Maghnia) dans les hautes plaines de l'Est (Constantine,

Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sbkhas (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkha d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc...). (INSID; 2008).

L'effet défavorable d'un trop forte quantité de sel sur les plantes est de deux ordres ; le sel empêche les plantes de recevoir suffisamment d'eau, même lorsque le sol est bien arrosé, Les plantes sont alors rabougries et ont fréquemment une couleur caractéristique bleu-verdâtre. Si le sel est réparti également dans le champ, toutes les plantes seront rabougries. La baisse des rendements peut atteindre jusqu'à 25% ; le sel a un effet toxique direct sur les plantes. La plupart des arbres fruitiers sont sujet à des dégâts lorsque la quantité de sel est élevée. Il en résulte des brûlures caractéristiques des feuilles qui ensuite tombent. Les arbres peuvent mourir lorsque se fait une accumulation d'une quantité de sel nocive de sodium ou de chlorure. (Agency for international development; food production and nutrition; soil fertility, fertilizers, and plant nutrition; 1962)

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

Un sol est considéré comme salé lorsque sa conductivité électrique est supérieure à 4 mmhos/mm à 25°C **(BENNACER et MORSLI ,1988/1989)**

D'une manière générale et quelle que soit la plante, la récolte décroît plus ou moins linéairement avec la conductivité électrique mesurée par exemple, la récolte de la luzerne chute de 7,3 % par mmhos/cm supplémentaire dès que la conductivité dépasse 2,0 mmhos/cm **(Jean –Paul Legros ,2007)**.

Les sols salés peuvent être améliorés au moyen d'amendements chimiques, par lessivage du sol et par l'emploi de pratiques culturales qui rétablissent la structure du sol.

La menace de la salinisation des terres est sérieuse, les sols à réhabiliter sont considérables, même en zone agricole, ce qui justifie la détermination exceptionnelle à entreprendre. Il reste en effet, à dégager les techniques et les méthodes d'interventions des acteurs.

L'objectif de ce travail est d'évaluer le degré de la salinité du sol dans le périmètre irrigué de la région d'étude (qui se trouve dans un Mekmen situé dans le Sud-ouest de l'Algérie, la Wilaya de naama, commune de Mekmen Ben Amar) et contribuer à améliorer les rendements des plantes cultivées dans ces sols par des pratiques culturales (lessivage du sol, amendement organique, prégermination ...).

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

Introduction

Les sols salés ont une grande extension en Algérie, dans les basses plaines et vallées d'Oranie, vallée de la Mina, près de Relizane par exemple, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts comme le Chott Melrhir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions Sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà. Elle est due aux conditions arides ou semi-arides d'une grande partie de ce pays où les possibilités d'évaporation sont considérables et les précipitations pluviales limitées; à la présence fréquente de dépôts géologiques salifères, par exemple du Trias, du miocène, du pliocène ou même du quaternaire... et de nappes phréatiques ou artésiennes salées; à la succession des événements, variations climatiques et phénomènes de sédimentation, au cours des Temps quaternaires. (AUBERT G., 1976)

Dans la région sud-ouest on trouve un grand nombre de dépressions (Chotts, Mekmènes et Dayas) localisés dans l'Est et Ouest de la région oranaise qui présente des sols salés.

I-1-Localisation

La zone concernée par cette étude est la partie sud-ouest des hautes plaines oranaises. Elle se rattache administrativement à la Wilaya de Naâma, Daïra de Mekmène Ben Amar (Géographie Coordonnées : 33° 43' 00" N 0° 43' 37" W Superficie 3 270 km²) où se trouve un périmètre irrigué caractérisé par la salure du sol où les agriculteurs de la région souffrent de la chute des rendements des cultures pratiquées dans ces sols, Dans cette zone nous distinguons les dépressions salées, Chott El Gharbi, les Dayas et les Mekmenes.

I-2-Géologie

La zone d'étude fait partie de la région des hauts plateaux ouest ; C'est une zone steppique à climat semi-aride, Les terrains de Mekmen Ben Amar se situent dans la partie occidentale des hauts plateaux, ces terrains se caractérisent par une structure à deux étages :

-Un Mésozoïque (Jurassique - Crétacé) fortement plissé à la base

-Un étage présenté par la puissante formation néogène-Quaternaire, des couches presque horizontales au sommet.

Après les formations de base qui sont plissées, il y a un arrêt (une période de transgression) c'est la transgression Néogène- Pliocène.

Lithologiquement on peut trouver la formation de base :

- un paléozoïque présent probablement par des schistes Fortement plissés,

- un mésozoïque présenté par des marnes et calcaires du Jurassique inférieur (Aalénien-Toarcien) et par des dolomies grises foncées, compactes du Bajo-Bathonien, surmontées par des grès et argiles jaunes du Callovo- Oxfordien.
- Au dessus vient probablement l'Albien présent par des grès quartzitiques et des argiles sableuses; le Crétacé supérieur est présent par des argiles rouges avec une stratification de calcaires Cénomaniennes ;
- au dessus de ce Mésozoïque reposent des dépôts de remplissage

Du Néogène observe sur tout le territoire, du sable brun à grains fins avec des bancs d'argiles et calcaires lacustres. Dans certains points l'épaisseur du Néogène est de 250 m à 260 m ; les dépôts Quaternaires sont présents par des limons bruns avec une forte croûte calcaire d'origine chimique (Carapace calcaire)

I-2- Hydrogéologie

Certains forages d'exploitation réalisés dans la région de Mekmen Ben Amar, nous ont fait connaître certains horizons aquifères.

1. Un aquifère du Néogène

2. Un aquifère du Crétacé inférieur

- Aquifère du Néogène : Cet aquifère s'est développé certainement dans les conglomérats du Miocène Dans des intercalations de sables à grains fins et les calcaires lacustres suivant le degré de fissuration.
- Aquifère du Crétacé inférieur est observé dans le forage H33 dont la profondeur est de 330 réalisé à Ben Amar a relevé des grès quartzeux et argiles sableuses rouges d'âge Albien (ce forage H33 a traversé, ces grès Albien sur 30 m).

On peut espérer un autre aquifère dans le Jurassique moyen et supérieur présent par des dolomies du Bajo-Bathonien et des grès du Callovo-Oxfordien ; Cette zone est susceptible d'être un bon réservoir d'eau si les dolomies sont fissurées.

I-3-Géomorphologie

La majeure partie de l'espace de la wilaya est occupée par une plaine plus ou moins plane dans l'altitude augmente sensiblement vers le sud (1000 à 1330m). Elle est truffée de nombreuses petites cuvettes de dimension et d'origine différentes (Sebkha, Dayas, cuvettes hydro-éoliennes dénommées localement Mekmene, oplat ou haoud)

I-3-2-Dépressions

Les eaux de ruissellement empruntent les lits d'oueds à fond plat largement encaissé pour s'accumuler finalement dans des dépressions endoréiques. Dans cette zone nous distinguons les dépressions salées (Chott Chergui, Chott el gharbi, Sebkhath) et les dayas et les mekmènes où s'accumulent les eaux de surfaces non salées.

I-3-2-1-Sebkhas

Sebkha, mot arabe qui désigne les plaines salines soumises à des inondations périodiques. Dans les dépressions ne sont occupées que temporairement par de l'eau. Une forte évaporation conduit à la formation caractéristique d'une croûte d'évaporites qui tapissent le fond de ces dépressions.

I- 3-2-2-Dayas

Les dayas sont de petites dépressions peu profondes. Les sols de dayas sont généralement plus profonds par rapport aux glacis encroûtés et ils sont occupés par l'armoise blanche (*Artemisia herba alba* : Chih). Toutefois, la céréaliculture trouve sa place dans ces dépressions ainsi que sur les rebords. Elles sont mises en culture après avoir été défoncées ou routées pour rompre la croûte.

I-3-2-3-Chotts et Mekmens

En arabe lexique, le terme « Chott » désigne le mot français « bordure ». Dans ce sens, le « Chott » comprend uniquement la bordure verte. Etant donné que seule cette partie intéresse le pasteur, la partie de cette même zone humide appelée « Sebkha », équivalente à lac salé, est automatiquement comprise dans le Chott. Ainsi le Chott inclut toujours une sebkha. Mais le contraire n'est pas vrai.

Dans cet espace on trouve deux endoréismes qui constituent la zone, il s'agit du Chott Gharbi (1317 km²) à l'Ouest et du Chott Chergui à l'Est (12216 km²).

Les Mekmens se sont des dépressions beaucoup plus grandes que les dayas et plus petit que les chotts, on trouve une dizaine de Mekmens dispersés entre les deux Chotts à titre d'exemple : Mekmen Ben Ammar, Mekmen Labiahd, Mekmen Laarich...etc.

1-4-Aperçu pédologique

Un certain nombre de travaux déjà réalisés ont été pris en compte (Durand,

1958; S.O.G.R.E.A.H, 1961; Pouget, 1976; Beraud et *al*, 1975; Belouah et *al*, 1974 et Boyadgiev, 1975).

Les sols seront classés en fonction du niveau des sels :

-Les sols calcimagnésiques

-Les sols gypseux

-Les sols salés.

1-4-1-Les sols calcimagnésiques

La nature des sols et leur répartition sont en étroite relation avec les unités géomorphologiques. Une plus grande superficie est occupée par les sols calcimagnésiques.

La classe de sols calcimagnésiques occupe la majeure partie de la zone d'étude. Elle est représentée par plusieurs types de sols : les rendzines, sols bruns calcaires et sols bruns calciques.

1-4-2-Les sols gypseux

Les formations pédogénétiques du gypse sont couramment rencontrées dans les zones arides du Maghreb (Durand, 1953, 1954 ; Bureau et Roederer, 1961 ; Viellefon, 1966 ; Mori, 1967 ; Pouget, 1968 et Dutil, 1971).

Les dépôts gypseux occupent de vastes surfaces et existent dans la plupart des couches géologiques, ils peuvent même continuer à se former à l'heure actuelle mais ils sont les plus abondants dans le Trias, l'Eocène et le Mio-Pliocène.

L'origine des encroûtements gypseux dans la zone steppique est lagunaire, apport par l'eau de ruissellement ou le vent, apport par les eaux de nappes et redistribution au niveau du profil sans intervention de nappes.

1-4-3-Les sols salés

1-4-3-1-Les sols salés à structures non dégradées :

Deux grandes catégories de sols sont présentes dans la zone: les sols à caractère salé uniquement (Solontchak calci-magnésiques, Ca, Mg) et les sols salés et sodiques (Solontchak à complexe sodique, Na, Mg).

Hypersolontchak (Solontchak calci-magnésique) à profil salin ascendant de type A, nappe phréatique à environ 1,5-2m, présence d'encroûtement gypseux).

Cryptosolontchak (Solontchak calci-magnésique) à profil salin descendant de type D, nappe phréatique supérieure à 2m, absence d'encroûtement.

Hypersolontchak à profil de type A, (Solontchak à complexe sodique), nappe phréatique à 2m de profondeur.

Solontchak modaux avec un profil salin de type C, un premier maximum de salinité en surface et un second en profondeur, nappe phréatique à plus de 2m, présence d'encroûtement.

1-4-3-2-Les sols salés à structure dégradée :

Ce sont des sols à alcali qui ont le caractère salé et alcali. On distingue deux types de sols en fonction de la salinité :

Les sols peu à moyennement salés, avec une conductivité inférieure à 10-15 mmho/cm qui augmente en surface.

Les sols très salés, qui assurent la transition avec les sols à complexe sodique.

1-4-3-3-Sols hydromorphes ou sols à Gley :

Se trouvent dans les dépressions interdunaires avec une nappe peu salée, superficies restreintes dans les fonds des dépressions lorsque la nappe phréatique est proche.

I-4-4-Les sols cultivés :

Les terres destinées à la production agricole sont désignées sous deux appellations :

-La superficie agricole utile (S.A.U), qui correspond aux terres agricoles traditionnellement cultivées dans la région ;

-Les terres de mise en valeur, dont la mise en culture remonte aux trois dernières décennies, et plus précisément à la date de la promulgation sur loi relative à l'accèsion à la propriété foncière agricole (A.P.F.A) en 1983 et au lancement du programme de la concession agricole en 1997.

Globalement, ces terres occupent 51 012 ha, dont 30 052 ha de terres mises en valeur (58,91%) et 20 960 ha de S.A.U (41,09%).

I-4-4-1-La Surface agricole utilisée :

La wilaya de Naama s'étend sur une superficie totale de 2 951 414 ha, dont seulement 20 960 ha sont déclarés par les services de DSA comme surface agricole utile (SAU), soit 0,71%. Les surfaces irriguées sont de 12 200ha, ce qui correspond à 58,21% de la SAU. Rapportée à la population totale de la wilaya, cette S.A.U n'est que de 0,18 ha par habitant, ce qui demeure très faible par rapport à la moyenne nationale (0,26 ha en 2003), celle-ci étant elle-même considérée comme très insuffisante comparée à d'autres pays. Par ailleurs, la répartition de la SAU par zone et par commune s'établit comme suit :

Tableau n°1 : Répartition de la S.A.U par commune (31-12-2007)

ZONE	Commune	SAU Totale (ha)	%	Dont SAU Irriguée	%
	Ain-Ben-Khelil	3 684	17,58	1 775	
	El-Biodh	3 239	15,45	1 132	
	Naâma	2 784	13,28	914	
	Mecheria	2 769	13,21	621	
	Kasdir	917	4,38	224	
	Mekmen B. A	850	4,06	260	
S/T		14 243	67,96	4 926	42,48
	Ain-Sefra	2 080	9,93	2 080	
	Sfissifa	1 480	7,06	1 201	
	Asla	1 066	5,08	1 247	
	Tiout	1 058	5,04	1 121	
	Moghrar	653	3,12	660	
	Djenien-Bourezg	380	1,81	360	
S/T		6 717	32,04	6 669	57,52
TOTAL		20 960	100	11 595	100

Source : D.S.A (2008)

Le tableau ci-dessus permet de relever que :

Les six communes de la partie nord de la wilaya (communes steppiques) détiennent 67,96% de la S.A.U totale ; parmi elles, quatre concentrent 59,52% de cette S.A.U totale : Ain Ben Khellil, El Biodh, Naâma et Méchéria ;

Les six communes des Monts des Ksour quant à elles, bien que totalisant une S.A.U plus réduite (32,04%), détiennent 57,52% des surfaces irriguées ;

Les communes dont le potentiel en S.A.U irriguée dépasse 1 000 ha, sont :

Ain Sefra, Sfissifa, Asla et Tiout, pour la zone des monts des Ksour ;

Ain Ben Khellil et El Biodh, pour la zone des plaines steppiques.

I-4-4-2-Les terres mises en valeur

Tableau n°2 : Répartition des superficies mises en valeur par commune

Commune	Superficie totale mise en valeur	Dont en 2007
Ain Ben Khelil	4.265	0
Mekmen Ben Amar	3.286	5
El Biodh	2.794	8
Mecheria	2.552	0
Naâma	2.478	52
Kasdir	869	1
S/T	16.244	66
Ain-Sefra	5.356	255
Asla	2.513	0
Tiout	2.416	82
Sfissifa	2.331	46
Moghrar	741	0
Djenien-Bourezg	451	0
S/T	13.808	383
Total	30.052	449

Source : DSA de la Wilaya de Naama

La mise en valeur des terres répond au souci d'accroissement de la S.A.U et de la production agricole, et de la création d'emplois en milieu rural.

Les surfaces mises en valeur dans ce contexte atteignent 30 052 ha, soit près de 1,5 fois la S.A.U. totale Répartition des superficies mises en valeur par commune

Toutefois, il est à noter que compte tenu des conditions générales du milieu steppique, le défrichement a souvent donné des résultats contraires aux effets escomptés. En effet, il contribue dans une large mesure au processus de dégradation des meilleurs parcours, à l'érosion des sols, et, par voie de conséquence au processus de la désertification.

Les sols de la wilaya, à l'image des sols de l'écosystème steppique sont en général caractérisés par :

La forte présence d'accumulations calcaires réduisant la profondeur et la qualité des sols ;

La faible teneur en matière organique et éléments biogènes ;

Une teneur en sel élevée ;

Une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (érosion hydrique et éolienne).

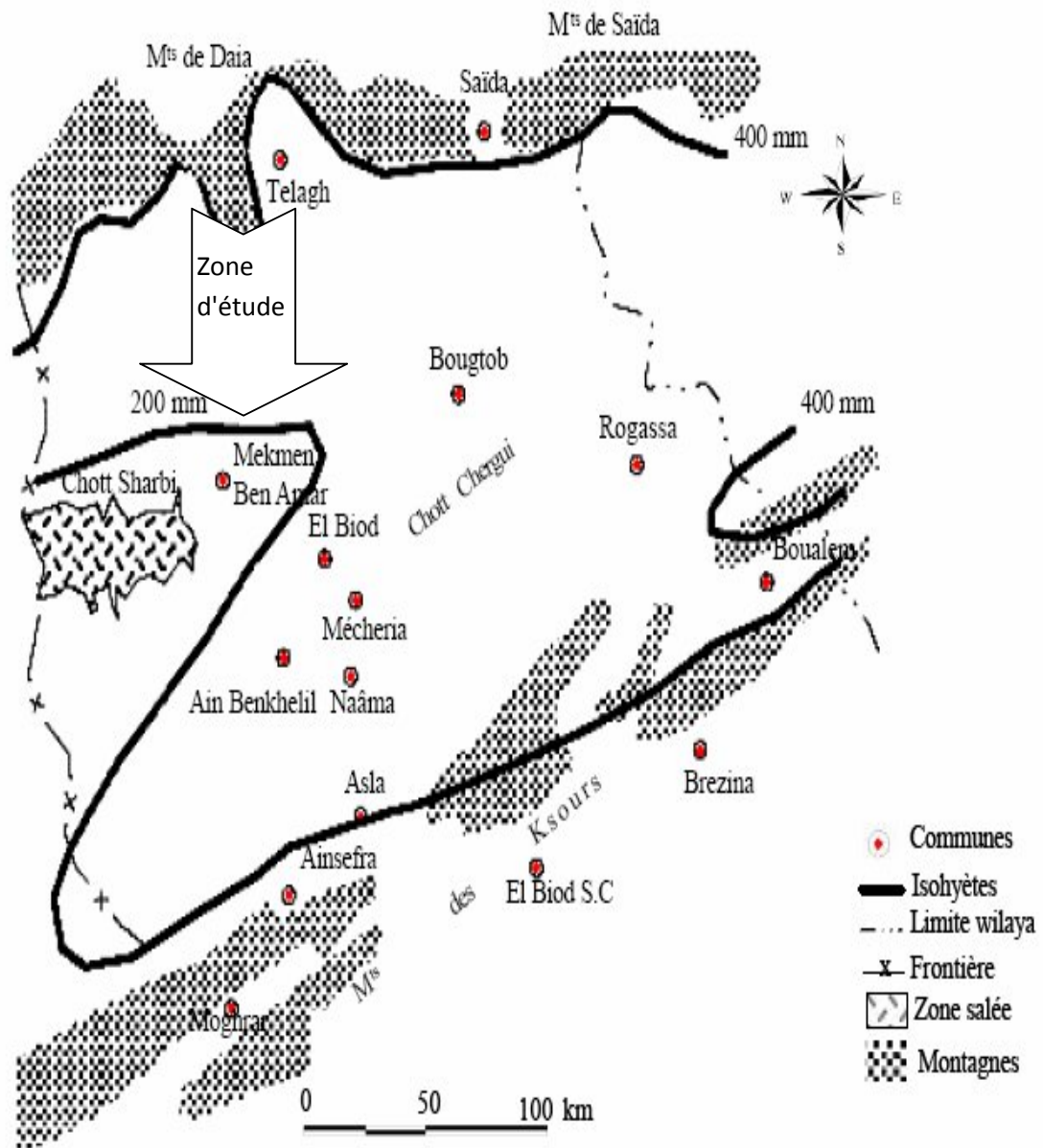
Les terres agricoles sont rares, elles sont circonscrites dans les dayas, pour la zone des hautes plaines steppiques, et au niveau des terrasses alluviales. Aujourd'hui l'Algérie a besoin de terres agricoles productives pour répondre aux besoins de la population qui s'accroît avec le temps, et cette demande exige la mise en valeur des sols salés pour augmenter la S.A.U.

I- 5 – Etude climatiques

I-5-1-Cartes des précipitations

La carte dressée par COUDERC R., (1975) illustre que notre zone est bien encadrée entre l'isohyète 200 et 400 mm. Les deux isohyètes suivent les directions des montagnes. L'isohyète 400 se trouve au nord de la région, son tracé suit bien les lignes des monts de Tlemcen, des monts de Daya et les monts de Saïda. Quant à l'isohyète 200 il est au sud et sud-ouest en suivant les monts de Ksour ainsi que les monts du sud-ouest.

La figure 2 illustre nettement l'influence du relief sur la répartition des pluies. Les deux isohyètes sont relativement rapprochées à l'ouest et à l'est, où l'on passe rapidement du Tell à la zone aride. Ces deux isohyètes divergent en l'absence des montagnes en créant une vaste plaine au centre de la région. Dans cette zone il faut parcourir plus de 200 km pour passer du Tell aux zones arides. À l'intérieur de cette immense plaine, nous remarquons des isohyètes intermédiaires qui illustrent l'influence de l'exposition et des grandes surfaces salées : Chott Chergui (12216 km²) au nord-est et Chott Rharbi (1317 km²) à l'Ouest. En se dirigeant vers le sud, nous montons en altitude et les pluies se raréfient. Vu l'épaisseur et la hauteur de la chaîne Tellienne qui sépare la steppe de notre région, l'influence de la mer méditerranéenne est pratiquement absente.



Source: (COUDERC R., 1975).

Figure n°1 : Pluviométrie moyenne annuelle dans les hautes plaines sud Oranaises.

I-5-2- Précipitations

Les précipitations moyennes annuelles fluctuent selon une fourchette de 150 à 300 mm par an. Le nord des hautes plaines Sud oranaises est plus arrosé par rapport au Sud. De même la pluviosité augmente d'Ouest en Est (gradient longitudinal : 214 mm par an à Naâma et plus de 300 mm par an à El bayadh). Selon NEDJRAOUI N., (ND) ce gradient «est dû à deux phénomènes : à l'Ouest, la sierra nevada Espagnole et l'Atlas Marocain agissent comme écran et éliminent ainsi l'influence atlantique, à l'Est, les fortes précipitations sont attribuées aux perturbations pluvieuses du Nord de la Tunisie».

Tableau 03: Répartition moyenne mensuelle des précipitations (mm) :

	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Station de Naâma période 1992 - 2008	P (mm)	34,5	28,8	27	11,4	10,4	15,1	10,7	30	16,4	15,6	6	12,9

(Source, DSA Naâma 2008)

D'après ce tableau on remarque :

Le minimum pluviométrique apparaît en Juillet avec **6 mm** alors que le maximum en septembre avec **34,5 mm**.

Tableau 04: Régime saisonnier des précipitations

Station	Période	Automne	Hiver	printemps	Eté	Régime
Naâma	1992- 2008	90.37	36.9	57.1	34.23	APHE

I- 5-3- Température

Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat. Dans les hautes plaines sud oranaises, les températures varient normalement dans l'année, élevées en saison estivale et basse en saison hivernale.

La température second facteur constitutif du climat influe sur le développement de la végétation.

Tableau 05: Valeurs moyenne mensuelles des températures

Station de Naâma	MOIS	J	F	M	A	M	J	JT	AT	S	O	N	D
	MIN(°C)	2,12	6,98	9,4	10,16	15,2	19,1	21	21	16	10	2,12	6,98
	MAX(°C)	10,34	10	14	18,9	23,7	30,9	37,2	35	29	24	16	10,1
	MOY(°C)	6,23	8,49	11,6	14,53	19,5	25,01	29	28	22	17	6,23	8,49

Source CFN, DSA Naâma 2008

L'analyse de tableau fait ressortir :

La température moyenne dans le territoire Naama est de l'ordre de 16,63°C, le mois le plus froid reste janvier avec 2,12°C par contre le mois le plus chaud c'est juillet avec 37,2°C.

I-5-4-Les vents

D'une manière générale, la fréquence des vents est importante sur l'ensemble de l'année, et s'établit à une moyenne de 18 jours par mois. Les vents dominants sont de direction nord et présentent les mêmes traits généraux, que lorsque l'on se situe dans la zone de plaine (représentée par la station de Naâma) ou dans la zone des monts des Ksour (représentée par la station de Ain Sefra).

Tableau N° 06 : Station de Mécheria : Direction des vents selon leurs fréquences en %

Direction	N	NE	NO	S	SE	SO	E	O
Fréquence	18	13	17	11	4,4	16	4,6	16
	48			31,4			4,6	16

-les vents dominants sont de direction générale nord (nord, nord-ouest et nord-est), ils représentent : 48% de la fréquence totale ;

-les vents de direction générale sud (sud, sud-est et sud-ouest) représentent : 31,4% ;

-les vents de direction ouest et est représentent respectivement 16 et 4,6%.

Tableau N°07: Station d'Ain Sefra : Direction des vents selon leurs fréquences en %

Direction	N	NE	NO	S	SE	SO	E	O
Fréquence	5	17	22	6	8	21	7	14
Total	44			35			7	14

les vents dominants sont de direction générale nord (nord, nord-est et nord-ouest), ils représentent : 44% de la fréquence totale ;

les vents de direction générale sud (sud, sud-est et sud-ouest) représentent : 35% ;

les vents de direction ouest et est représentent respectivement 14 et 7%.

En conclusion, on retient que les vents, au niveau de cette région sensible et fragile sur les plans physique et naturel, constituent une contrainte à plusieurs égards, car ils :

Favorisent et activent le processus de l'érosion des sols (érosion éolienne) et de désertification ;

Contribue au processus d'ensablement (transport de sable et formation de dunes au contact d'obstacles naturels ou artificiels) ;

Réduisent le taux d'humidité de l'air et par conséquent augmentent l'évapotranspiration des plantes.

Afin de réduire ces effets négatifs, il est impératif d'apporter des solutions adéquates, principalement des brise-vent. Le choix des sites d'implantation de ces derniers dépend de la fréquence et de la direction des vents dominants.

I-5-5-La gelée

La wilaya, à l'instar des espaces Hauts plateaux, subit des gelées importantes et fréquentes en hiver et même au début du printemps. Leur fréquence est évaluée pour la période 1988-1997 (station de Mécheria) en moyenne à 40,4 jours dans l'année.

Ces gelées constituent un facteur limitant pour les pratiques agricoles et un facteur de contrainte pour la végétation naturelle. En effet, elles imposent un calendrier cultural qui doit tenir compte de la période gélive, principalement pour les cultures légumières de plein champ et l'arboriculture à floraison précoce, ce qui restreint leur pratique aux saisons les plus chaudes et les moins arrosées. Quant à la végétation naturelle, elle est retardée dans sa croissance, cette dernière étant étroitement liée à la température.

I-6-Synthèse climatique :

I-6-1- Amplitude thermique moyenne et indice de continentalité :

Tableau 08 : Indice de continentalité

Station	Période	M °C	m °C	(M-m)°C	Type de climat
Nâama	1992- 2008	37,2	2,12	35,08	Continental

La classification thermique des climats proposée par **Debrach** est fondée sur l'amplitude M-m :

- Climat insulaire : $M-m < 15$ °C.

- Climat littoral : 15 °C < $M-m < 25$ °C.

- Climat semi- continental : $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$.

- Climat continental : $M-m > 35^{\circ}\text{C}$.

D'après la classification mentionnée ci-dessus on confirme que le territoire d'étude subit des influences continentales.

I-6-2-Indice de sécheresse estivale :

Selon EMBERGER l'indice de sécheresse estivale (**I.e**) est le rapport entre les valeurs moyennes des précipitations estivales (P.E) et la moyenne des maxima du mois le plus chaud « M » ($^{\circ}\text{C}$). **I.e = P.E/M**

Tableau 9 : Indice de sécheresse estivale

Station	Période	P.E (mm)	M ($^{\circ}\text{C}$)	I.e
Naâma	1992- 2008	34,23	37,2	0,92

Selon la grille de DAGET (1977) notre territoire appartient au climat méditerranéen à sécheresse estivale avancée.

I-6-3- Indice d'aridité de De Martonne (1923) :

Noté I, cet indice permet de déterminer le degré d'aridité d'une région.

Pour le calculer, on utilise la formule suivante :

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

P désigne les précipitations totales annuelles et T la température moyenne annuelle.

Pour un mois :

$$I = \frac{12 P}{T + 10}$$

P désigne les précipitations totales mensuelles et T la température moyenne mensuelle.

I-6-4- Indice d'aridité annuel (I)

$$I = P/T + 10$$

$$P = 218,93 \text{ mm} \quad T = 16,63^{\circ}\text{C} \quad I = 8,22$$

D'après DE MARTONNE $7,5 < I < 10$ donc le climat est steppique (ou aride).

I-6-5- Indice d'aridité mensuel (i) :

Tableau 10: Indice d'aridité mensuel de De Martonne

	Mois	J	F	M	A	M	J	JT	AT	S	O	N	D
Station de Naâma période 1992 - 2008	I	7,68	9,79	5,94	14,67	6,68	5,34	1,84	4,09	12,9	12,7	15,5	7.96

(Source DSA Naâma) (2008)

L'analyse du tableau fait ressortir :

Station de Naâma :

Pour les mois : Janvier, Février, Mars, Mai, Juin, Décembre $5 < i < 10$ ce qui signifie que ces mois présentent un régime désertique.

Pour les mois Avril, Septembre, Octobre, Novembre $10 < i < 20$ ces mois présentent un régime semi aride.

Pour Juillet et Août $i < 5$ ces deux mois présentent un régime hyper aride.

I-6-6-Diagramme ombrothermique de BANGNOULS et GAUSSEN:

Le diagramme ombrothermique de Bagnols et Gausсен permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la pluviosité est double de la température.

Tableau N°11 : Répartition moyenne mensuelle des précipitations (mm) et des températures

	S	O	N	D	J	V	M	A	M	J	J	A
P (mm)	35	29	27	11,4	10,4	1.1	10,7	30	16.4	15.6	6	13
T (C°)	22	17	6.23	8.49	6.23	8.49	11.6	14.53	19.5	25.01	29	28

Source DSA Naâma 2008

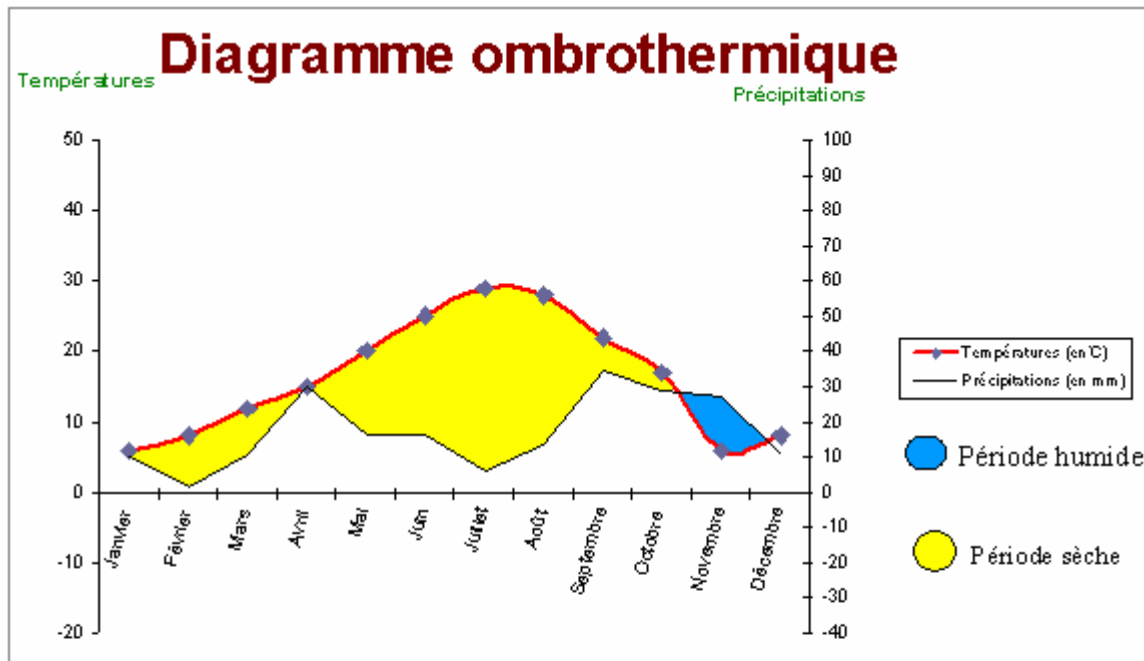


Figure n°2: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la commune de Naâma

Dans notre cas la courbe des pluies passe au-dessous de la courbe des températures, cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année, ce qui confirme l'intensité de sécheresse dans la région.

I-6-7- Quotient pluviométrique et climagramme d'EMBERGER (1955):

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude.

En abscisse la moyenne des minima du mois le plus froid.

Le quotient d'Emberger est calculé par la formule suivante:

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

P: moyenne des précipitations annuelles (mm).

M: moyenne des maxima du mois le plus chaud (°k).

m: moyenne des minima du mois le plus froid (°k).

$$T (^{\circ}\text{k}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273,2.$$

Tableau 12 : Valeur de Q_2 et étages bioclimatiques

Station	Période	P (mm)	M ($^{\circ}\text{C}$)	M ($^{\circ}\text{C}$)	Q_2	Etage bioclimatique
Naâma	1992-2008	218,93	37,2	2,12	21,31	Aride inférieur à hiver frais

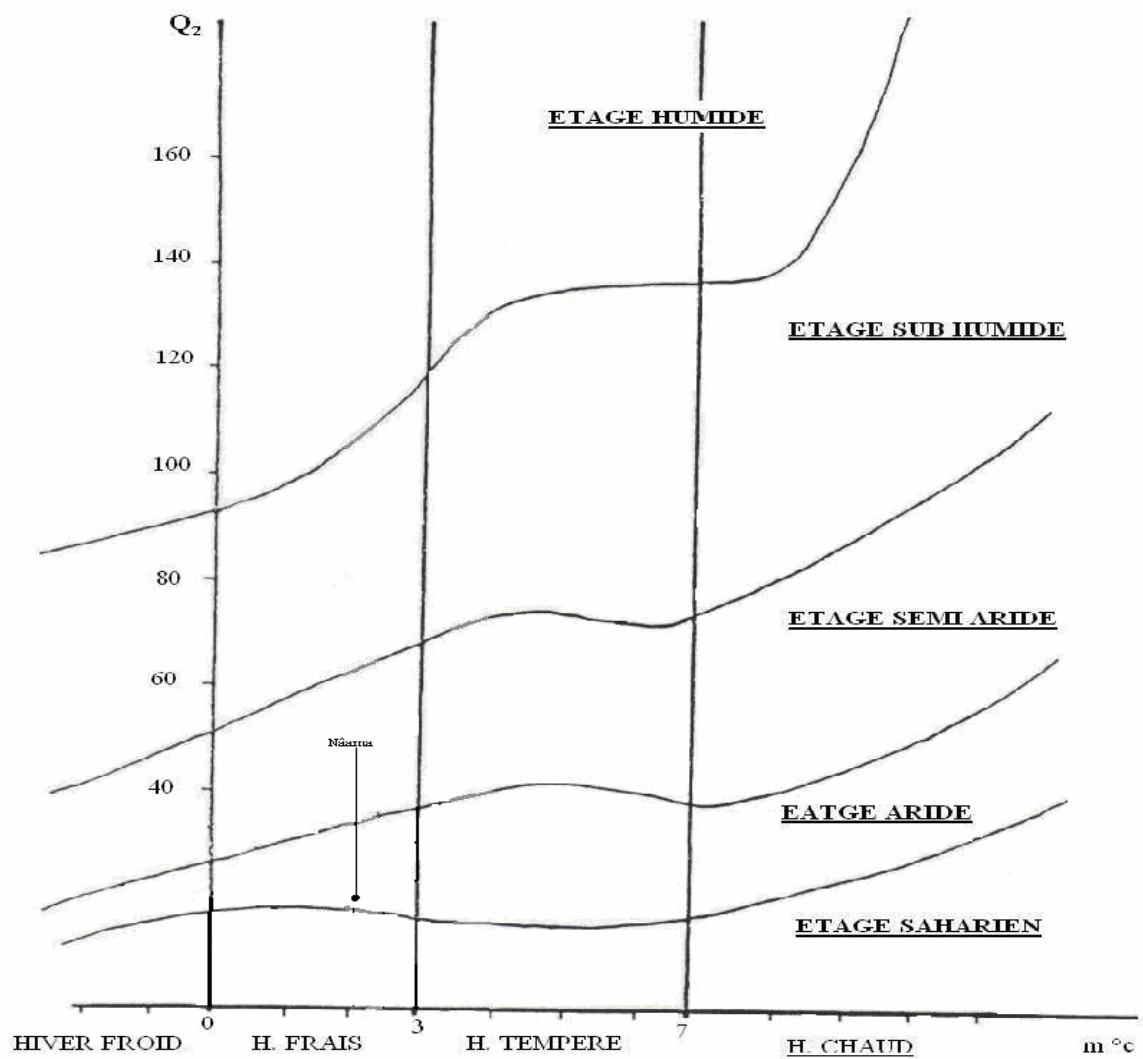


Figure n°3: Climagramme pluviométrique d'Emberger de la région de Naâma (1992-2008)

I-6-8-Evapotranspiration (ETP)

La valeur moyenne annuelle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) est de l'ordre de 1361 mm à Ainsefra, et de 909 mm à Mécheria. Nous avons constaté que l'ETP est nettement supérieure à la pluviométrie ; elle est 15 fois et 7 fois supérieure à la valeur de la pluviométrie à Ain sefra et à Mécheria respectivement. A cet effet, la dominance de l'ETP engendre et/ou favorise le processus de la remontée capillaire de l'eau du sol qui favorise la salinisation des terres agricoles.

Conclusion

L'Algérie est l'un des pays où la salinisation des sols concerne de très importantes surfaces, notamment dans les périmètres irrigués de l'Ouest Algérien. Ce problème est lié le plus souvent à des processus naturels tels que les conditions arides où l'évaporation est considérable, et les précipitations limitées.

Les sols salés sont assez divers, de caractéristiques morphologiques comme chimiques, ou d'origine, où possibilités d'utilisation et très importante. Leur mise en valeur doit être accompagnée par des études approfondies sur le terrain, au laboratoire et en parcelles expérimentales, doivent être encore développés pour mieux les connaître et les comprendre, et, partant, mieux les utiliser.

Chapitre II : Les sols salés

Introduction

On distingue en général la salinisation primaire, liée à la présence naturelle relativement concentrée de sels (proximité de mers ou d'océans, présence de dépôts de sels...), et la salinisation secondaire, dont le développement apparaît étroitement lié à l'irrigation.

La salinisation est l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol. Ces sels sont le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}), le calcium (Ca^{2+}), le chlorure (Cl^-), le sulfate (SO_4^{2-}), le carbonate (CO_3^{2-}), le bicarbonate (HCO_3^-) et le sodium (Na^+). L'accumulation de sodium est aussi appelée sodification. Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent.

Tout d'abord, la salinisation implique une accumulation de sel par des processus naturels du fait d'une forte teneur en sel du matériau parent ou des nappes souterraines. En second lieu, la salinisation est provoquée par des interventions humaines, telles que des pratiques d'irrigation inappropriées, par exemple avec de l'eau d'irrigation riche en sel et/ou par un drainage insuffisant.

II-1-Les sols salés (définitions et pédogenèse)

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

Ces sols ont une grande extension en Algérie. Elle est due aux conditions arides où les possibilités d'exploitation sont considérables et les précipitations pluviales limitées (**Aubert, 1976**).

Les sols salés contiennent des sels plus solubles que le gypse, c'est-à-dire susceptible de passer dans la solution du sol en quantité assez importante pour gêner la croissance des plantes. En conséquence, les sols calcaires ne sont pas des sols salés, même si le carbonate de calcium est un sel comme un autre au plan chimique (**Jean – Paul Legros, 2007**).

La salinisation des sols est généralement associée aux apports de sels dissous, issus de l'hydrolyse du substrat édaphique constitué de roches endogènes ou exogènes (salinisation primaire) ou des activités éoliennes et hydriques: embruns marins, e a u d'irrigation et nappe phréatique subaffleuranse et salée (salinisation secondaire) (**Dièye, 1994**)

La salinité des sols a été définie de manière différente suivant le domaine d'utilisation des sols. Du point de vue agronomique, un sol salin (saline soil) est défini comme un sol qui renferme assez de sels en solution, pour voir sa productivité diminuer (**Richards, 1954**).

La salinité se mesure par la conductivité électrique en siemens S ou mhoms/m.

Sachant que $1 \text{ S/m} = 1 \text{ mhos/m}$ et $1 \text{ mhos} = 1/\text{ohm}$ unité de résistance électrique.

La conductivité de l'eau peut être rapidement convertie en mg de sel par litre par la formule :

$1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mS/cm} = 640 \text{ mg/l}$ de sels.

L'origine des sels solubles dans les sols est très variée. L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, donne des sels souvent solubles, en particulier carbonates et bicarbonates, parfois silicates, de ces métaux. En région aride ceux-ci se concentrent sur place ou dans les dépressions et zones basses du paysage. Parfois en zone endoréique, ils peuvent être apportés par les rivières qui viennent s'y jeter.

L'origine des sels peut aussi se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents (**G. GAUCHER**) Ils peuvent être eux-mêmes roche mères des sols. Ils peuvent aussi fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes phréatiques plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines, ou qui les répandent à leur surface lors des crues.

Enfin le vent peut causer l'apparition de phénomènes de salure sur des sols qui en étaient indemnes, en y déposant les Cléments de pseudosable salés et les cristaux de sels qui y sont mêlés et formés à la surface de sols très salés à alcali en particulier à la bordure de dépressions.

Que les sels solubles soient ainsi mis en place à la surface du sol, dans son matériau originel, dans la nappe phréatique peu profonde ou dans la nappe artésienne sous-jacente, ils sont rapidement remis en mouvement dans l'ensemble du profil par remontée de la nappe ou par phénomènes de capillarité favorisés par l'évaporation directe ou par l'intermédiaire de la végétation. Ou sous l'influence des pluies ou des eaux d'irrigation ou d'inondation. La richesse relative en ces divers sels de chacun des horizons varie dans un même profil du fait des réactions d'échange cationique entre le sol et sa solution, mais aussi par suite des taux et vitesse de dissolution ainsi que viscosité différents des divers ions et sels. (**Aubert, 1976**).

L'activité microbienne peut également provoquer la modification de certains sels tels que les sulfates. Les mouvements ne se produisent pas toujours verticalement, descendants ou remontants, mais parfois obliquement c'est le cas dans les dépressions ou les pentes sont assez fortes.

La *richesse* du sol en sels solubles ou en ions alcalisant tels que le sodium, se répercute dans sa morphologie, en surface et plus ou moins en profondeur.

La *surface* des sols sodiques est parfois couverte d'une véritable croûte saline. Elles ne sont pas épaisses et d'une certaine extension, semble-t-il, que dans les régions de Chotts ainsi que dans certaines dépressions endoréiques et dans certaines oasis des zones Sahariennes.

Le plus souvent ce ne sont que des efflorescences qui apparaissent à la surface de ces sols: salant blanc des sulfates et chlorures parfois bicarbonates de sodium et de magnésium, ou de gypse, ce dernier pouvant y devenir prépondérant.

Lorsque le milieu est riche en calcium et relativement peu en sulfates, le salant blanc de surface peut présenter une forte teneur en chlorures de Calcium et de magnésium en même temps que de sodium. C'est le salant hygroscopique, observé en particulier sur les Hauts Plateaux algériens (**Pouget M, 1976**).

II-2-Répartition de la salinité du sol

II-2-1-Les sols salés dans le monde

La salinité est un des processus de dégradation des sols les plus largement répandus sur la Terre. Les causes techniques les plus importantes à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres irrigués, particulièrement dans les zones arides et semi-arides, ou de désastre sur de grandes surfaces en agriculture pluviale, sont l'engorgement, la salinisation et la sodication. Il est estimé, à partir de diverses données disponibles que :

**Le monde perd au moins 3 hectares de terres arables chaque
minute à cause de la salinité du sol**

Bien que de nombreux pays utilisent les terres salinisées en raison de leur proximité aux ressources en eau et de l'absence d'autres contraintes environnementales, il y a un besoin clair d'une base Scientifique solide afin d'optimiser leur utilisation, de déterminer leur potentiel, productivité et durabilité pour cultiver diverses cultures, et d'identifier les pratiques de gestion intégrées appropriées.

En Europe, on trouve des sols à forte teneur saline en Hongrie, en Roumanie, en Grèce, en Italie et dans la péninsule ibérique. Dans les pays nordiques, le déverglaçage des routes en utilisant du sel peut provoquer une salinisation localisée.

On estime que la salinisation du sol affecte 1 à 3 millions d'hectares de terres en UE. Cette salinisation est considérée comme une cause majeure de désertification et constitue donc une forme grave de dégradation des sols. Ce problème de la salinisation en Europe s'accroît du fait de l'augmentation des températures et de la réduction des précipitations, caractéristiques du climat de ces dernières années.

Tableau N°13: La superficie affectée par la salinité dans différentes régions du monde :

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

Source : Handj et al, 1995 in SINOUSSE, 2001

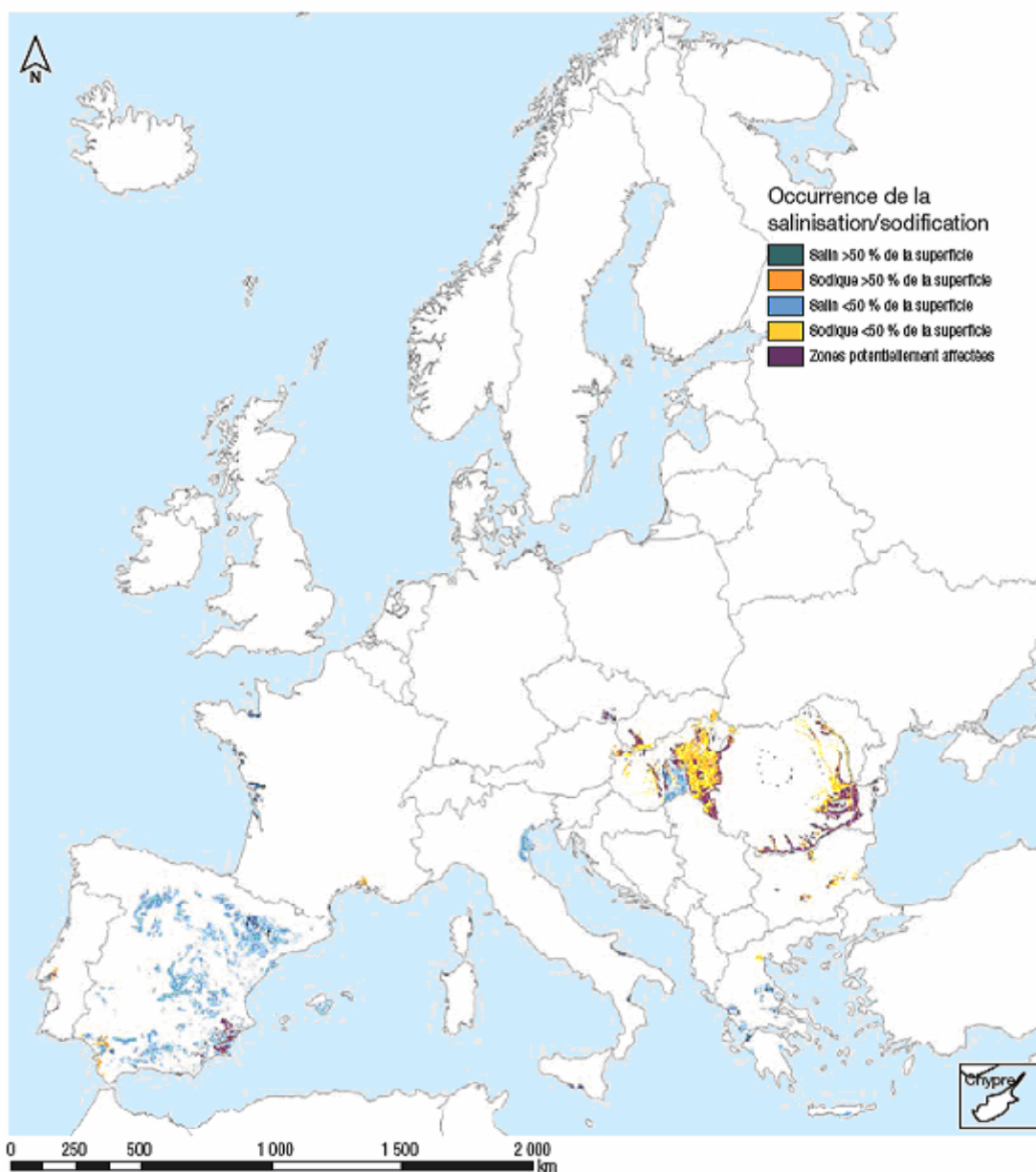


Figure n°4: carte montre les sols salés et sodiques en 17 états de l'union européenne

II-2-2-Les sols salés en Algérie

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

De façon générale « les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent principalement d'une action de la mer (pas actuelle) ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le Trias jusqu'au Quaternaire » 23

En Algérie d'après **SZABLOCS (1989)** 3,2 million d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficient.

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

Tableau N°14 : le classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la S.A.U:

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

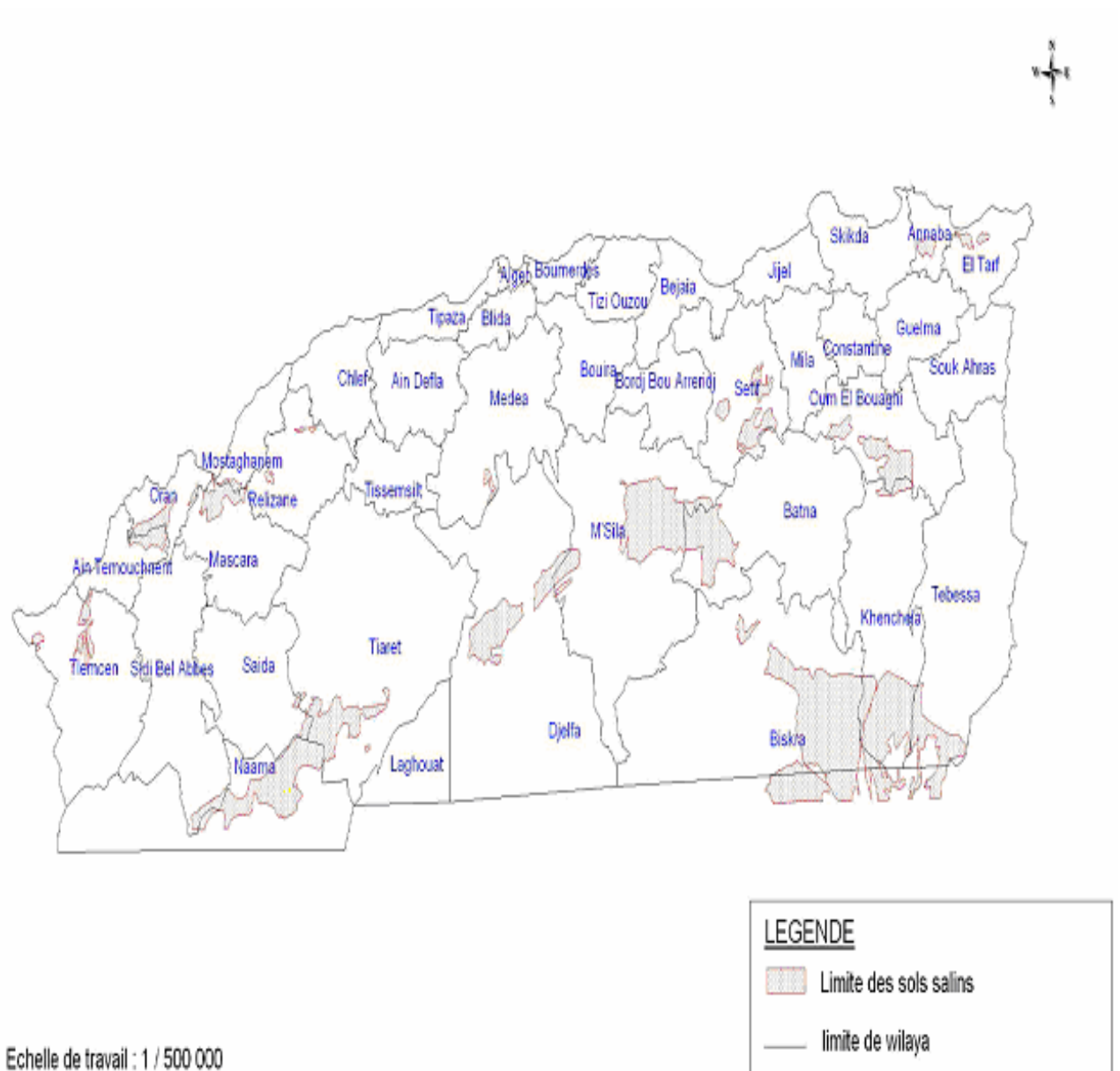


Figure n°5: carte montre la répartition des sols salins du Nord de l'Algérie

II-3-Facteurs de la salinisation des sols

II-3-1-Climat

Dans les régions à climat humide, les sols salins sont pratiquement inexistant ; la profonde percolation des eaux de pluie permet le lessivage des sels solubles. Dans les régions semi-arides, le lessivage et le transport des sels solubles sont faibles.

L'évapotranspiration entraîne une concentration des sels dans la zone racinaire et dans la couche superficielle. Dans ce cas, la masse totale des sels reste constante dans le profil du sol et le volume d'eau diminue ce qui implique une augmentation de la concentration des sels. Un paramètre qui rend compte de l'intensité de l'évapo-concentration est le FL (Fraction Lessivée). (M. Lahlou et al...).

$$FL = \frac{V_{\text{Eau de drainage}}}{V_{\text{Eau d'irrigation}}} \approx \frac{CE_{\text{Eau d'irrigation}}}{CE_{\text{Eau de drainage}}}$$

La concentration des sels dans le sol y favorisée la faible percolation, qui favorise la concentration en sel dans un endroit précis du profil (BENNACER et MORSLI, 1988/1989)

Les fonds de dépressions salées d'Afrique du nord sont nettement hydro-halomorphes. La concentration en sel est principal facteur qui y limite la croissance des végétaux. Pendant l'hiver, quand les oueds amènent de l'eau à ces dépressions, le sel descend mais au cours de l'été, il revient en surface.

L'explication proposée par Kovda et Samoilova (1969) réside dans la solubilité différentielles de ions Ca^+ , Mg^{+2} et Na^+ lorsque la concentration augmente, c'est -à-dire en saison sèche ; les ions les moins solubles précipitent, Ca^{+2} d'abord, puis Mg^{+2} . Dans ces conditions, le complexe absorbe préférentiellement les ions qui restent solubles le plus longtemps : Na^+ surtout secondairement Mg^{+2} .

Les alternances saisonnières jouent dans ces conditions un rôle important, la dynamique des ions étant très différente en saison humide et en saison sèche.

En saison humide :

Altération des minéraux primaires et libération des ions Na^+ , Mg^{++} et Ca^{++} , les uns et les autres sont entraînés vers le bas mais ne peuvent être éliminés en raison de l'insuffisance ou de l'absence de drainage .

En saison sèche :

La remontée par capillarité des solutions du sol sous l'influence de l'évaporation la concentration des solutions augmente, la précipitation des sels intervient, ce qui permet la saturation par le sodium d'une fraction de l'humus et des argiles, qui pourront être entraînés à la période humide suivante (DUCHAUFFOUR .PH, 1983).

II-3-2-Source de sels

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

Les régions humide ; ont généralement une pluviosité suffisamment forte pour lessiver le sel à travers le sol et dans la nappe phréatique qui l'entraîne vers les cours d'eau. Ces derniers le transporte dans les Océans.

L'irrigation apporte au sol de grandes quantités de sels et il est fréquent d'entendre les agricultures refuser l'eau qui leur est proposée sous le prétexte qu'ils ne veulent pas du sel qu'elle apporte.

L'utilisation d'eaux contenant 1g de sels solubles au litre apporte, en culture maraîchère, utilisant 8000 m³/ha tonnes de sels a l'hectare (**DURAND J.H, 1983**).

II-3-3-Drainage

La nécessité du drainage des sols irrigués apparaît dans les conséquences de l'engorgement par l'eau des sols lourds pour les quels l'équilibre hydrique naturel est rompu par l'apport des irrigations.

Le drainage est l'unique solution durable pour maintenir la production agricole .on le pratique pour lessiver les sels en excès et pour abaisser le niveau de la nappe, pour limiter l'effet du sel sur les plantes (**ECHEVARRIA. G**).

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

II-3-4- Intrusion d'eau de mer

Intrusion de l'eau de mer dans la nappe près des côtes est due à une inversion du gradient hydraulique à cause de la surexploitation des nappes souterraines. L'utilisation de l'eau de cette nappe à des fins d'irrigation entraîne l'intrusion de l'eau saline près de la zone racinaire. L'effet est amplifié par la présence d'une surface évaporatrice. Dans ce cas le volume de l'eau et la masse des sels augmentent donc la concentration en sels augmente ou diminue en fonction de la salinité initiale de la zone racinaire. Mais en général le résultat final est une augmentation.

II-4-Aspect pédologique de salinisation, salinisation primaire ou secondaire

Salinisation primaire ou secondaire ; Il faut adopter ces expressions dans leur acception pédologique. Une pédogenèse est primaire quand elle se développe directement sur une roche, elle est secondaire quand elle fait suite à une pédogenèse antérieure.

Transposée dans le domaine de l'allomorphie, cette conception amène à considérer comme une salinisation primaire. Tout processus d'holomorphose qui débute avec la pédogenèse. En somme dans la salinisation primaire, le caractère halomorphe est congénital.

Par contre, si une partie d'une plaine littorale est envahie par la mer, bien que le contact soit direct, la salinisation reste secondaire car le sol était déjà formé et avait acquis une personnalité pédologique avant l'intervention du processus d'allomorphie. Il en est même d'un sol alluvial qui se sale sous l'effet de la remontée d'une nappe chlorurée.

Mais s'il se produit par exemple un dépôt d'alluvions dans une eau salée, (Sebkha ou chott), la salinisation est primaire, car elle est concomitante de la phase initiale de la pédogenèse : elle est bien congénitale (**GILBERT G, SYLVIE B, 1974**).

II-5-Signes d'un sol salé

La croissance des plantes cultivées sur sols salins est généralement médiocre et éparse parce que le sel retarde ou empêche la germination des semences. Si les semences ne donnent pas des germes. Les jeunes plants ne tardent pas à mourir. Il se produit alors des plaques irrégulières dénudées dans le champ. Le peuplement médiocre et épars. Ainsi que ces plaques nues et irrégulières sont généralement entourées par des zones de croissance inégale.

Un autre indice de salinité du sol est la présence d'une croûte blanche à la surface du sol. Cependant. Ce signe peut ne pas être une indication de la salinité car les sols non salins qui contiennent du gypse présentent également des croûtes blanches.

Il n'est pas toujours possible de terminer par inspection visuelle si un champ contient trop de sel. Un meilleur système consiste à analyser les sols suspects.

Les principaux signes de la salinité des sols sont :

-Croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plantes.

-Apparition d'une croûte blanchâtre en surface

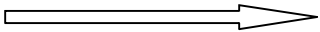
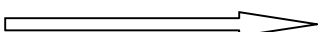
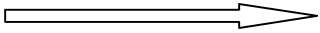
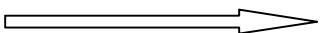
-Apparition des mauvaises herbes tolérantes aux sels, comme : *Spergularia Salina*, *Atriplex halimus*, *Suaeda fruticosa*, *Salicornia fruticosa*.

II-6-Normes d'interprétation de la salinité du sol

En ce qui concerne le sol, le paramètre majeur retenu pour interpréter la qualité saline d'un sol est celle de la conductivité électrique.

La conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sels dissous ; en plus la connaissance de la conductivité est nécessaire pour l'étude du complexe absorbant des sols salés (**Aubert.G, 1986**).

On mesure alors la conductivité électrique de la solution extraite du sol saturé 1/5. On utilisera l'échelle suivante ($\mu\text{S}/\text{cm}$):

- sol non salin		CE<2000
- sol légèrement salin		2000<CE<4000
- sol salin		4000<CE<8000
- sol très salin		CE >8000

II-7-Classification des sols salés

La Classification des sols sodiques est délicate du fait des variations saisonnières ou sous l'action de l'homme qu'ils peuvent subir. En particulier, dans ce dernier cas, elles peuvent être extrêmement importantes comme dans les sols très sableux.

La Classification française insiste sur l'importance des modifications morphologiques et écologiques, même si elles sont variables dans le temps, subies par les sols dont l'évolution est soumise à l'influence d'un excès de sels solubles ou d'ions provenant de leur dissociation et susceptibles de provoquer la modification de leurs caractéristiques physiques. De ces sols elle fait une classe. Celle-ci est définie soit par la présence de sels solubles en quantité suffisante dans un horizon d'au moins 20 cm pour y élever la conductivité de l'extrait de pâte saturée jusqu'à au moins 8 millimhos par centimètre, à 25 °C, soit par la dégradation de la structure d'un horizon d'au moins 20 cm sous l'influence d'un excès d'ions échangeables alcalins (Na/T variable suivant les sols mais toujours supérieur à 10%).

Plusieurs noms lui ont été donnés: Sols salés, Sols halomorphes, Sols sodiques; aucun ne recouvre l'ensemble des sols concernés. La dénomination de Sols Salsodiques que propose **J. SERVANT** paraît bien meilleure. Deux sous-classes y sont distinguées en fonction de la présence ou de l'absence d'un horizon à structure dégradée. Dans une première sous-classe, de sols salsodiques, à structure non dégradée, on peut distinguer deux groupes:

Celui des sols salins à complexe calci-magnésique dont la teneur en sodium du complexe d'échange est inférieur à 15%.

Les sous-groupes peuvent y être les suivants:

- modal, friable et sursalé en surface (hyper-solontchak, profil salin A ou C de J. SERVANT)
- modal, friable en surface, sursalé en profondeur (crypto-solontchak à profil salin de type B ou D de J. SERVANT)
- friable en surface, mais hydromorphe en profondeur,
- à croûte saline en surface (en pratique, toujours hydromorphe).
- à horizon d'accumulation gypseuse (en pratique, toujours hydromorphe).
- à salant hygroscopique,
- à sulfures acidifiants.

La deuxième sous-classe comprend les sols sodiques, dont un horizon sur au moins 20 cm présente une structure dégradée, une forte compacité, sous l'influence de la teneur élevée du complexe en sodium échangeable. Suivant les sols (teneur en argile et type de celle-ci, teneur en matière organique et type de celle-ci) la valeur critique de Na/T varie. Elle est toujours au moins de 10%. Actuellement K et Mg ne sont pas pris en compte: le premier est normalement on quantité faible; l'action du second est encore mal élucidée.

II-8- Ecologie des sols salés

Sur le plan du comportement physiologique les halophytes se caractérisent par leur aptitude à fonctionner activement en présence de fortes concentrations salines grâce à un certain nombre de caractéristiques physiologiques, résumées dès 1922. Leur comparaison montre qu'il existe deux catégories d'halophytes, les halophytes facultatif et les halophytes obligatoires (**BINET, 1970**).

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

Les halophytes dits obligatoires ou halophytes *sensu stricto* (**ADRIANMI .J., 1945**), dont la croissance est maximale en milieu salé, exigent une certaine teneur en sel dans le milieu pour assurer leur plein développement; il y aurait donc chez ces dernières espèces un aspect (exigence en sel) venant s'ajouter aux problèmes posés par la résistance au sel.

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

Certains micro-organismes peuvent tolérer des concentrations en sel dissous extrêmement élevées. En fait, ceux qui sont obligatoirement halophiles ont besoin de fortes concentrations pour assurer leur croissance optimale. Ils paraissent aussi plus spécifiques dans leurs besoins de matières solubles que ceux qui sont facultativement halophiles. Par exemple, ils ont besoin de NaCl plutôt que d'un autre sel. Les micro-organismes adaptés à l'halophilie et à la pression osmotique ont tendance à tolérer des concentrations plus élevées en substances solubles aux conditions de températures, de pH, et de nutrition qui sont optimales pour leur croissance plutôt qu'à d'autres.

L'étude des plantes indicatrices, en milieu salé, a toujours tenté les chercheurs qui pensaient qu'elles pourraient livrer le secret de l'halophytisme et des facteurs de la tolérance au sel. Ces espoirs n'ont pas été déçus, tout au moins en ce qui concerne les principes applicables aux halophytes. A quel des glycophytes ? C'est encore une question non résolue.

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

Selon **HALITIM (1988)**, en fonction d'un gradient de salinité croissante, on voit apparaître des espèces ou groupements végétaux azonaux : *Atriplex halimus*, *Salsola tetendra*, *Suada fructosa*, *Salicornia arabica*, *Suada vermicula* ect...

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-organismes plus difficile (**AUBERT, 1988**).

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

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

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

Les teneurs en sels supérieures à 0.5% nuisent la fixation d'azote par les azotobactères 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 microbiennes particulièrement la nitrification.

Une forte salinité exerce une action d'inhibition de l'activité des micros – organismes dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la maturation de la matière organique (BENZAHI, 1990).

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

II-8- L'utilisation agricole des sols salés :

L'utilisation agricole des sols salés est rendue malaisée par la présence de sels solubles en quantité importante ou d'un horizon sodique à structure dégradée, caractères qui ont une influence néfaste sur le développement de la végétation ou des cultures.

A. Leur mise en valeur dépend de nombreux facteurs:

- intensité et nature de la salure, type de profil salin, degré de dégradation de la structure et des autres propriétés physiques (perméabilité),
- caractères du sol: profil, texture, structure, richesse en ions Ca solubles (gypse - sa cristallinité),
- conditions topographiques et hydrologiques (nappe d'eau: profondeur et mouvement saisonniers, caractères chimiques),
- type de cultures : résistance à la salinité, à l'alcalinisation; rapports entre le cycle de développement et le cycle climatique saisonnière; nature du système racinaire.

L'utilisation des sols salés, par la méthode habituelles, permet d'obtenir certaines récoltes, mais très diminuées par la teneur en sels ou par les mauvaises propriétés physiques.

Cette diminution des rendements devient très importante à partir de certaines teneurs en sels solubles dans le sol. Elles ne peuvent par avoir une même signification pour toutes les cultures; certaines la présentent pour un assez grand nombre.

B. L'utilisation en sec (pluviale) de ces sols est assez limitée. Par eux-mêmes ils s'étendent surtout en zone aride; la présence des sels en excès augmente le caractère sec du sol et la difficulté pour les cultures d'obtenir de celui-ci l'eau dont elles ont besoin; l'alcalinisation du complexe et la dégradation de la structure augmentent la rétention de l'eau par le sol, diminuent sa pénétration et le développement du système racinaire en profondeur.

Un certain aménagement est possible par une préparation du sol facilitant la pénétration ou la circulation de l'eau, par exemple en le disposant en larges ados très travaillés en surface et en utilisant des cultures à système racinaire fasciculé, abondant et peu profond: céréales telles qu'avoine, orge par exemple.

Ce système cultural doit permettre un certain dessalement de l'horizon supérieur par les eaux de pluie pendant la saison des cultures, mais ne peut empêcher la remontée de la salure en été.

C. Leur utilisation en. Culture irriguée est beaucoup plus fréquente. Elle dépend des caractéristiques et des quantités d'eau d'irrigation utilisée; des possibilités de drainage; ainsi que d'une bonne adaptation du cycle d'apport d'eau, avec ceux, saisonniers du climat et du développement des plantes (en particulier espérance pluviothermique).

La quantité d'eau à apporter en plus de celle qui couvre l'évapotranspiration est d'autant plus élevée que la salure du sol l'est aussi. Si le sol n'est pas gypseux, l'emploi d'amendements calciques suffisamment solubles est presque toujours indispensable, surtout si l'eau d'irrigation est très pure.

En milieu salé sous irrigation qui n'est pas toujours suffisante à certaines périodes chaudes des cultures à enracinement profond apparaissent préférables. En milieu alcalisé seulement en surface, il en est de même. Si la dégradation structurale touche l'ensemble du profil, des cultures à faible système racinaire conviendront mieux, mais l'irrigation devra être très régulière. (AUBERT, 1976)

II-9- Amendements et mise en valeur des sols salés

Le sodium représente 2,27 % du nombre d'atomes de la croûte terrestre. Élément mobile sous sa forme soluble, il est nécessaire à la vie des êtres vivants qui l'utilisent pour réguler l'hydratation de leur milieu interne ainsi que pour la transmission des influx nerveux. Dans les sols, le sodium peut s'adsorber sous forme ionique à la surface des argiles et s'accumuler à la faveur de l'évaporation, sous forme de solution concentrée et/ou de cristaux de sels. La salinisation est le processus qui accroît la quantité de sels dans les sols : lorsque celle-ci est trop élevée, la plante subit un stress qui ressemble à celui provoqué par une sécheresse.

L'objectif est de ramener la salinité du sol à une valeur tolérée par les cultures.

En générale la mise en valeur des sols salés implique l'évacuation de l'excédent des sels solubles et de sodium échangeable. Le sodium échangeable est déplacé par le calcium que l'on ajoute sous forme de sel soluble, ou dont on provoque l'apparition en acidifiant pour solubiliser le calcaire qui existe déjà dans le sol, souvent il faut aussi améliorer les propriétés physiques du sol pour obtenir une productivité maxima. Avant tout la première chose à faire était d'assurer un drainage convenable, s'il n'existe pas déjà.

L'élaboration d'un plan d'amélioration des sols salés devrait être confiée à une personne compétente ; le plan devrait normalement :

1-Evaluer le degré actuel de salinisation des sols dans la région

2-Définir les différents types de salinisation des sols et leurs causes

3-Fournir une carte où sont indiquées toutes les zones de salinisation, ainsi les effets de rapport aux plans d'eau, et les effets de la salinisation sur les plans d'eau et les terres avoisinantes.

4-Décrire la relation entre les types de sol et la salinité.

5-Décrire et définir les solutions recommandées pour lutter contre la salinisation des sols

6-Fournir une analyse des coûts des diverses mesures de correction et de prévention

7-Décrire les méthodes de cultures, semis direct ou le travail réduit du sol, les solutions de cultures.

La plupart des sols sodiques ont besoin d'amendements chimiques pour retrouver leur productivité. Il existe un grand nombre d'amendements qui peuvent être utilisés. Le gypse et le soufre sont les plus communs. Comme la plupart des amendements sont coûteux, il est toujours bon de faire analyser le sol pour déterminer le type et la quantité nécessaires.

Il n'est pas toujours indispensable d'apporter des amendements pour améliorer des sols sodiques. Certains sols sodiques, par exemple, contiennent du sulfate de calcium (gypse) et, lorsqu'ils sont lessivés, l'eau dissout le gypse et libère le calcium. Ce calcium dissous remplace le sodium adsorbé. Les sels de sodium formés par réaction peuvent être enlevés par lessivage.

II-9-1-La restauration par lessivage

Les apports d'eau de lessivage doivent être suffisamment importants pour lessiver les sels solubles et les entraîner en profondeur. Généralement deux méthodes sont utilisées :

Le lessivage permanent ;

Le lessivage intermittent.

Dans le cas du lessivage permanent, l'eau est épandue sur le sol et maintenue à une hauteur de 10 cm environ par des apports fréquents. Cette méthode est préconisée lorsqu'il existe une bonne perméabilité du sol, un 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 débarrassée par l'ion Na^+ ou empêchée par des concentrations suffisantes de Ca^{++} fournies par des amendements à base de gypse.

On considère que les plans d'eau proches de la surface et sujets à fluctuations sont à l'origine de la plupart des sols sous la dominance du sel. La condition essentielle de leur mise en valeur, de leur culture irriguée, est de pouvoir contrôler la nappe phréatique.

DURAND a une vue plus optimiste de la question de la nappe phréatique en Algérie. Il dit que le lessivage par une épaisseur de 10cm d'eau fait passer la salure initiale du sol de 2% à moins de 1% et que l'existence d'un plan d'eau à 1,70 m de profondeur n'empêche pas la culture, étant donné d'un seul lessivage maintient la salure du sol à un niveau suffisamment bas pour une année entière.

II-9-2-Traitements chimiques

II-9-2-1- Traitement par le gypse

La plupart des sols sodiques ont besoin d'amendements chimiques pour retrouver leur productivité. Il existe un grand nombre d'amendements qui peuvent être utilisés. Le gypse et le soufre sont les plus communs. Comme la plupart des amendements sont coûteux, il est toujours bon de faire analyser le sol pour déterminer le type et la quantité nécessaires.

Il n'est pas toujours indispensable d'apporter des amendements pour améliorer des sols sodiques. Certains sols sodiques, par exemple, contiennent du sulfate de calcium (gypse) et, lorsqu'ils sont lessivés. L'eau dissout le gypse et libère le calcium. Ce calcium dissous remplace le sodium adsorbé. Les sels de sodium formé par réaction peuvent être enlevés par lessivage.

Dans les sols calcaires, le risque est faible car le calcium se fixe sur le complexe absorbant. On rappelle ici que les divalents, en particulier Ca^{2+} , sont absorbés préférentiellement aux monovalents, en particulier Na^+ .

C'est très important. En effet, la solubilité naturelle de CaCO_3 dans une eau, même très salée, suffit pour que le complexe absorbant soit saturé à 50 % par du Ca^{2+} .

La proportion monte à 80 % si l'eau n'est que faiblement minéralisée. On peut utiliser H_2SO_4 qui acidifie le milieu ce qui favorise la dissolution des carbonates et fournit au milieu des ions Ca. Mais c'est difficile, et la rentabilité n'est pas démontrée (**Jean – Paul Legros, 2007**).

II-9-2-1-1-Action du gypse sur le sol

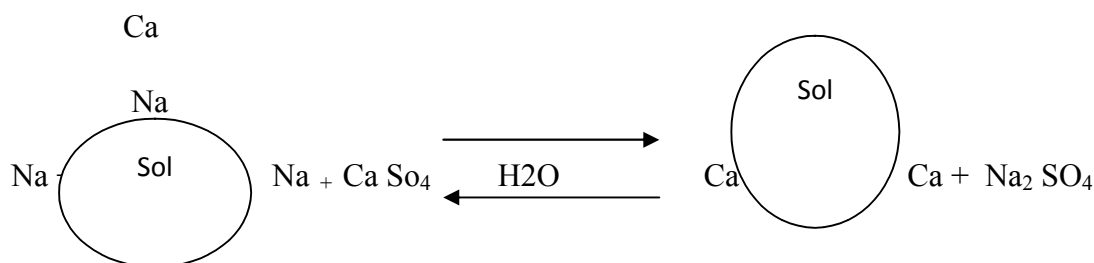
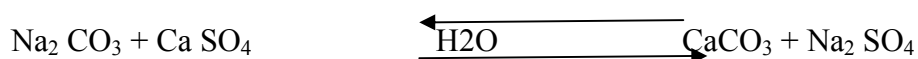


Figure n°6: action du gypse sur la substitution du sodium par le calcium au niveau du complexe adsorbant

Une petite quantité de sulfate de sodium ne constitue aucun danger pour les plantes. Mais lorsque le sol amélioré par le gypse présente un taux de sodium échangeable de plus de 20 %, le sulfate de sodium devient nocif et doit être lessivé.

II-9-2-2- Traitement par l'acide sulfurique

Une autre option est l'utilisation de l'acide sulfurique, quand le sol contient du CaCO_3 , le principe est de dissoudre du CaCO_3 pour libérer du calcium. Cette option, utilisée à grande échelle en URSS et aux Etats Unis, est en cours de développement rapide dans certains pays comme le Maroc, par contre l'Algérie connaît un terrible retard (MESSAR M. F, 2007).

Conclusion

On entend, en général, par salinité Une teneur du sol en sels solubles préjudiciable à la production végétale ; d'une façon plus générale, il y a salinité chaque fois que la présence des sels vient modifier la vie végétale ou les caractéristiques des sols.

La salinité peut constituer une gêne majeure au développement de la production agricole, et même, mener à la stérilité des sols. Elle se rencontre en de nombreuses zones du bassin méditerranéen et, il est de plus en plus fréquent d'entendre évoquer les difficultés qu'elle provoque.

Les sols sodiques présentent une grande importance en algérie. Ils sont assez divers, de caractéristiques, morphologiques comme chimiques, ou d'origine, ou de possibilités d'utilisation.

Beaucoup est déjà connu à leur sujet; des études approfondies sur le terrain, au laboratoire et en parcelles expérimentales, doivent être encore développés pour mieux les connaître et les comprendre, et, partant, mieux les utiliser.

Chapitre III : les sels dans les sols salés

Introduction

Le sol est un milieu hétérogène qui contient un mélange des composés solides, liquides, gazeux. Il fournit l'eau et les sels minéraux nécessaire à la croissance des plantes mais dans les régions arides et semi-arides; les eaux des sols et de surfaces soumissent à une forte évaporation ont tendance à se concentrer et les sols à se saler. Une salinisation trop importante, accompagnée parfois d'une alcalinisation du complexe absorbant des sols, nuit à la mise en valeur agricole des zones cultivables.

III-1- Définition de la fixation ionique.

Un phénomène d'absorption peut être de nature variable, il existe des fixations non polaires (par capillarité par exemple) et des fixations polaires.

Les fixations à la surface des colloïdes sont généralement des réactions d'équilibre, mais les forces de fixation sont plus élevées que dans le cas d'une simple absorption non polaire, et l'action du solvant pur (sauf dans certains cas) peut difficilement renverser l'équilibre.

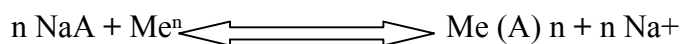
Il existe des adsorptions polaires de type chimique à la surface de certains réseaux, lorsque l'ion adsorbé peut former un composé peu soluble ou faiblement ionisé avec les ions de charge opposée du réseau.

il existe également une adsorption dite "d'échange" sur des surfaces présentant des charges ioniques, si ces charges positives ou négatives peuvent quitter l'adsorbant en nombre égal aux charges positives ou négatives des ions adsorbés. Cette adsorption d'échange a été mise en évidence dans le cas des sols.

Cette adsorption d'échange peut se représenter par une formule :

Soit A le matériel adsorbant et Me le métal de valence n

L'échange entre le sodium monovalent et le métal de valence n, par exemple, obéit à l'équilibre suivant :



L'adsorption d'échange est réversible, la chimisorption est plus difficilement réversible (c'est le cas de certains anions)

En résumé, l'adsorption se manifeste par l'augmentation de concentration d'un ion à la surface d'un solide, la désorption est le processus inverse.

III-2-Les phénomènes d'échange dans les sols, généralités

Le sol est un milieu hétérogène qui contient un mélange des composés solides, liquides, gazeux; la partie solide est formée de minéraux primaires ainsi que d'argiles, de hydroxydes de matières organiques.

C'est surtout l'argile ainsi que les matières organiques qui constituent la partie adsorbante: c'est ce qu'on appelle le complexe adsorbant.

Les charges des colloïdes du sol sont essentiellement négatives et on les met en évidence par l'électrophorèse : elles augmentent par voie de substitution isomorphique ou par ionisation des groupes hydroxydes attachés au silicium sur les angles des couches tétraédriques :



A ces charges s'ajoutent celles des fonctions acides de l'humus COOH^- et OH^- .

Les charges positives viennent des hydroxydes (Fer- Aluminium) ainsi que des couches octaédriques.

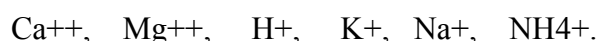
En ce qui concerne la matière organique, les groupes basiques de l'humus sont liés à l'azote.

La charge des colloïdes n'est pas constante, elle varie avec le pH de la solution. Lorsque le pH augmente, les charges négatives augmentent et les charges positives diminuent en raison de l'ionisation croissante des groupes acides et de la décroissance des protons des groupes basiques.

La charge électrique des particules est neutralisée par une quantité équivalente d'ions de charge opposée.

Ces ions sont maintenus à la surface par les forces de **COULOMB**, mais comme nous le verrons plus loin, d'autres forces peuvent intervenir.

Dans les sols, les ions fixés les plus courants sont:



Dans les sols courants le Ca^{++} est dominant, dans les sols très acides Al^{3+} peut être très important, dans les sols alcalins Na^+ peut être en forte proportion.

La capacité d'échange correspond à la quantité totale d'ions fixés par le sol, elle varie avec le type et la quantité de colloïde avec le pH, avec l'affinité de l'ion elle est définie généralement à pH = 7.

Les ions forment un nuage entourant les particules, la concentration des ions est maximum à proximité de la surface puis décroît de façon asymptotique au fur et à mesure qu'on s'en éloigne à l'épaisseur de cette couche diffuse et la répartition des ions dépend de la densité des charges de surface, de la nature des ions, de la concentration des électrolytes en solution, de la température.

L'épaisseur de la couche diffuse diminue lorsque la valence augmente, de même lorsque la concentration de l'électrolyte en solution croît.

En outre les ions sont entourés de molécule d'eau et le diamètre des ions hydratés intervient d'après les forces de **VAN DER WAALS** qui s'ajoutent aux forces de **COULOMB**. Cette répartition des ions dans la couche diffuse intervient dans la force de fixation variable des Cations, ainsi que pour la valeur du pH dont il sera question plus loin.

III-2-1-Fixation préférentielle des cations sur les sols

Du point de vue pratique, la composition et l'origine des solutions du sol à une grande importance pour la mise en valeur des terrains salés. En effet, des échanges d'ions peuvent se produire entre les solutions et le complexe argilo-humique du sol conduisant à une fixation importante de sodium. Donc à l'alcalinisation et à l'imperméabilisation des terrains ou, si les sulfates sont abondants, à leur acidification.

Une étude a montré que des sols alcalinisés par submersion marine en Hollande, pouvaient éliminer le sodium par simple action de l'eau de pluie; il se produit un remplacement de Na par le Ca provenant du CO_3Ca existant dans le sol, ceci montre que le sodium est beaucoup moins retenu par le sol que le calcium.

-Si la concentration de l'ion Na^+ est la même que les ions bivalents dans la solution du sol, le taux de saturation en Na^+ du complexe ne dépasse pas 10 %.

C'est-à-dire qu'il n'y a ni Sodisation ni alcalinisation, si la concentration des solutions en sodium doit dépasser la valeur limite de l'ordre de 70 % de la somme des cations, pour que l'influence de l'ion Na^+ puisse se manifester le rapport Na^+/CEC dépassant 15 % (**DUCHAUFOR, 1983**).

III-2-2- 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**)

III-3-Les principaux sels responsables de la salinité

Les sels proviennent de la combinaison des bases (cations) et des acides (anions). Parmi ces sels, ce sont surtout Na Cl, Na_2SO_4 , Na HCO₃, Ca SO₄, Ca Cl₂, Mg SO₄, Mg Cl₂ 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 (Na^+), le calcium (Ca^{++}), le magnésium (Mg^{++}), ainsi que le chlorure (Cl⁻), sulfate (SO_4^-), carbonate (CO_3^-) et les bicarbonates (HCO_3^-).

III-3-1- 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**)

III-3-1-1- Les carbonates de magnésium : ($Mg CO_3$)

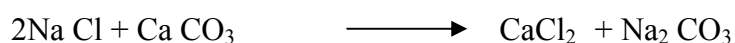
La solubilité de ce sel est très élevée, l'ion Mg^{++} est fixé sur le complexe absorbant qui augmente la fertilité du sol. Cependant, il peut former la dolomie $CaMg(CO_3)_2$ ou bien il réagit avec ($CO_3 + H_2O$) pour donner $Mg(CO_3 H)_2$
(**BOUKHATEM,1987 in GASMI,1989**) donc le $Mg(CO_3 H)_2$ provient 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).

III-3-1-2- Les carbonates de sodium : $Na_2 CO_3$

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 CO_2 est significative, c'est à dire sous l'action des micro-organismes, on a une formation du Na H CO₃



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 et sert à la

neutralité des acides ce qui induit des tâches sur la partie centrale de la feuille (JAVALLIER, 1958 in BOURAHLA 1991).

III-3-1-3- 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).

III-3-2– 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.

III-3-2– 1- Le chlorure de sodium : $Na Cl$

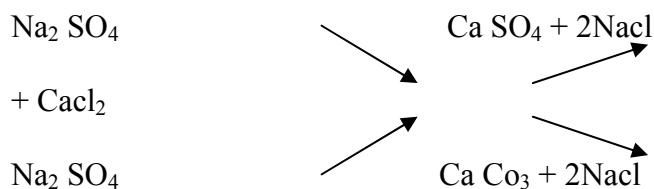
Le chlorure de sodium demeure un composant typique des sols salés, très soluble ($360g/l$) à $20^{\circ}C$, d'après LAX .E (1978) in BOURAHLA (1991), il influe sur la dissolution de certains sels tel que $Ca Cl_2$ qui se dissout à $7g/l$ lorsqu'il y a $131g/l$ de $Na Cl$, alors qu'il se dissout à $2g/l$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

III-3-2– 2- Le chlorure de magnésium : $Mg Cl_2$

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

III-3-2– 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 $20^{\circ}C$.



III-3-3- Le chlorure de potassium : $K Cl$

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).

III-3-4 – Les sulfates

III-3-4 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**).

III-3-4-2- Les sulfates de sodium : $Na_2 SO_4$

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° 15 : 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

III-3-4 -3 - Les sulfates de potassium : $K_2 SO_4$

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. 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**).

III-4-Les caractères principaux des sels dans le sol

III-4-1– 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 (Ca^{++} et 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°16: 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	Na ₂ CO ₃	13,0
bicarbonate de sodium	Na H CO ₃	8,0
sulfate de sodium	Na ₂ SO ₃	13,0
chlorure de calcium	CaCl ₂	400,0
carbonate de calcium	CaCO ₃	0,0018
sulfate de calcium (gypse)	CaSO ₄ 2H ₂ O	0,2
chlorure de magnésium	MgCl ₂ 6H ₂ O	130,0
sulfate de magnésium	MgSO ₄ 2H ₂ O	41,5
carbonate de potassium	CO ₃ K ₂ 2H ₂ O	112,0
chlorure de potassium	K Cl	32,0
sulfate de potassium	SO ₄ 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° 16, nous constatons que le chlorure de calcium est plus soluble donc plus mobile.

III-4-2- 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.

III-4-2-1- 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 (Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++}). Cependant, l'altération de ces minéraux ne présentent pas la même solubilité, les monovalents sont plus mobiles que les bivalents (**DUCHAUFOR, 1983**).

III-4-2-2- 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**).

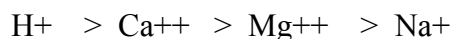
Selon **SOLTNER (2003)**, les concentrations des solutions augmentent, les ions les moins solubles précipitent notamment Ca^{++} d'abord puis Mg^{++} dans ces conditions. Le Na^+ se fixe au complexe absorbant en premier lieu.

III-4-2-3- 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.

Conclusion

Dans le sol considéré, l'énergie de fixation des ions se classe dans l'ordre suivant:



D'une manière générale c'est l'ion H^+ qui est fixé le plus fortement, sauf dans le cas de la kaolinite pure, ensuite viennent les ions bivalents qui sont plus fortement fixés que les ions monovalents.

Les ions de même valence sont d'autant moins adsorbés que le diamètre de l'ion hydrate est plus petit, ce sont les ions de plus fort diamètre qui sont le plus adsorbés, il y a cependant des exceptions.

Chapitre IV: Les problèmes de la salinité

Introduction.

Les halophytes peuvent être définis comme étant des plantes en contact, par une partie quelconque de leur organisme, avec des concentrations anormalement fortes de sel (BINET, 1970). On les oppose souvent aux glycophytes, incapables de se développer sur des milieux très riches en sels solubles. Les observations de terrain et l'étude du comportement physiologique montrent que, sur la base de cette définition assez large, les halophytes constituent un groupe très hétérogène, à l'intérieur duquel on peut faire des distinctions sur la base du milieu (nature du sel, degré de salinité, etc.) ou du comportement physiologique.

IV-1- L'action des sels sur les propriétés du sol

L'effet de la salinisation sur les végétaux est semblable à celui de la sécheresse : à mesure que la concentration des sels dissous augmente, la capacité des racines d'absorber à la fois l'eau et les éléments nutritifs diminue. À des concentrations élevées de sels, la croissance normale des plantes cultivées est limitée et le rendement des cultures est réduit. Par exemple, une salinité modérée à élevée peut réduire d'au moins 50 p. 100 le rendement de la plupart des céréales et des oléagineux. Dans des cas isolés, selon le type de sels présents, la toxicité peut être attribuable au bore, au sodium ou au chlorure.

IV-1-1- Les effets des sels sur les propriétés physiques du sol

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

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

IV-1-2- 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 et le taux d'agrégats stables est décroissant suivant les cations fixés sur le complexe absorbant $Ca^{++} < Mg^{++} < k^+ < Na^+$. La stabilité structurale décroît dans les sols dès que, le

taux de sodium échangeable atteint 12 à 15% (**DUTHIL, 1973**). Le 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^{++}).

Une eau pure n'est bonne pour irriguer que si le sol est dépourvu de sels ou est à la rigueur salin. S'il est sodique et argileux, qu'il peut s'imperméabiliser.

Dans ce cas, une eau fortement minéralisée, par exemple l'eau de mer, peut être utilisée pour éliminer l'essentiel du sodium de la CEC. Après quoi, sur le long terme, on passe l'irrigation avec une eau qui idéalement, est légèrement saline et riche en calcium.

Il vaut mieux éliminer le sodium de la capacité d'échange en plusieurs fois, c'est plus efficace et il faut moins d'eau car, entre deux irrigations lessivant, l'équilibre avec la solution du sol se rétablit, ce qui veut dire désorption du sodium. Alors cet ion en solution peut être éliminé plus facilement par l'apport d'eau suivant (**Jean- Paul Legros, 2007**)

IV-1-3 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.

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.

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

$\text{CO}_3^{--} > \text{HCO}_3^{--} > \text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^-$ **SERVANT (1971)**

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

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

- Le gonflement des particules d'argiles, causant la diminution de la taille des pores larges dans le système ;
- La dispersion des argiles provoque ainsi l'obstruction des pores et des canaux dans le sol.

V-1-4-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.

IV-2- Le stress salin

IV-2-1-Notion de stress

Le mot stress est apparu autour de 1940. Il s'agissait d'un mot anglais, employé en mécanique et en physique, qui voulait dire « force, poids, tension, charge ou effort ». Ce n'est qu'en 1963 que Hans Seyle utilise ce mot en médecine, où il définit « des tensions faibles ou fortes, éprouvées depuis toujours, et déclenchées par des événements futurs désagréables ou agréables ».

Claude Bernard fut le premier à dégager une notion physiologique du stress en 1868. Selon lui, les réactions déclenchées par le stress visaient à maintenir l'équilibre de notre organisme. L'ensemble de ces réactions internes a été nommé homéostasie par le physiologiste américain C.W. Bradford (1915), à partir du grec stasis (état, position) et homoios (égal, semblable à). Il y inclura en outre la notion de stress. Le lien stress-homéostasie-adaptation va perdurer jusqu'à nos jours et les recherches menées concernant ces processus sont à la base d'une littérature abondante.

L'association de ces trois notions constitue l'approche biologique du stress et permet notamment d'expliquer l'influence du stress qui est de permettre, lorsqu'il est appliqué dans certaines limites, l'adaptation à l'environnement, et donc au maintien de la vie.

D'une façon plus générale, on peut dire qu'au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux) (**Levitt, 1980**).

IV-2-2- Influences des sols salés sur les plantes

La Salinisation est définie par la FAO (2001), comme un enrichissement en sels solubles de la surface et de la tranche supérieure du sol lorsque la salinité dans les 20 cm sommitaux dépasse 1 à 2% (20g de sel par Kg de sol).

Les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- Le stress hydrique : une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique.
- Le stress ionique : en dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique.
- Le stress nutritionnel : des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le Sodium entre en compétition avec le Potassium et le Calcium, les chlorures avec le nitrate, le phosphate et le sulfate.

La salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de Na^+ et Cl^- cause le stress salin. Le stress salin a un triple effet: il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbation en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique, l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol.

La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité.

Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. (Parida et Das, 2005)

IV-3-1- L'effet de la salinité sur la croissance

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente. Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000). La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate. le taux élevé de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton.

IV-3-2- L'effet de la salinité sur l'eau et l'Oxygène dans la plante

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence

(Romeroaranda et *al.*, 2001 in Parida et Das, 2005).

Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *S. salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (Lu et *al.*, 2002 in Parida et Das, 2005).

la plante ne pourra plus puiser l'eau qu'à partir d'une certaine concentration en sel où la pression de la plante est égale à la pression osmotique du milieu. Le sel diminue la transpiration des glycophytes et de nombreux halophytes en absence de toute diminution de turgescence.

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

IV-3-3-L'effet de la salinité sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles de l'haricot, du coton et de l'atriplex (Longstreth et Nobel, 1979 in Parida et Das, 2005). La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles (Delphine et *al.*, 1998 in Parida et Das, 2005).

Le stress salin cause (1) le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, (2) le gonflement de la mitochondrie, (3) la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste et (4) la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoea batatas*) (Mitsuya et *al.*, 2000 in Parida et Das, 2005).

IV-3-4-L'effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques et les protéines

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (Agastian et *al.*, 2000). Par contre, des chercheurs ont rapporté que le contenu de la chlorophylle augmente sous les conditions de salinité chez *Amaranthus*. Chez *Grevilea*, la protochlorophylle, la chlorophylle et les caroténoïdes diminuent significativement sous le stress salin, mais la vitesse du déclin de la

protochlorophylle, la chlorophylle est plus importante que celle de la chlorophylle *a* et les caroténoïdes. Les pigments anthocyanines augmentent significativement dans ce cas de stress salin (Kennedy et De Fillippis, 1999 in Parida et Das, 2005).

Le contenu des protéines solubles des feuilles diminue en réponse à la salinité. Les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de salinité et diminuent en hautes concentrations de salinité chez les mûres.

IV-3-5-L'effet de la salinité sur les lipides

Les lipides sont la source la plus efficace du stockage de l'énergie, ils fonctionnent comme des isolateurs des hormones et organes délicats, et jouent un rôle important comme des constituants des structures de la plupart des cellules membranaires.

Ils ont aussi un rôle vital dans la tolérance à différents stress physiologiques chez une variété d'organismes comme les cyanobactérie.

L'insaturation des acides gras contrecarre le stress salin ou hydrique. la composition des lipides soumis à un stress salin dans la membrane plasmique des racines chez *Spartina patens* et ont rapporté que les pourcentages molaires des stérols et les phospholipides diminuent avec l'augmentation de la salinité, mais le ratio stérols/phospholipides n'est pas affecté par le NaCl.

IV-3-6-L'effet de la salinité sur le taux des ions

L'absorption des hautes concentrations de NaCl engendre une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K⁺, ce qui conduit à une déficience en K⁺. Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na⁺ et Cl⁻ et une diminution dans le taux du Ca²⁺, K⁺ et le Mg²⁺ chez de nombreuses plantes (Khan, 2001 in Haouala et al., 2007). La salinité fait augmenter le contenu de Na⁺, Ca²⁺ et Cl⁻ chez *Vicia faba* et le rapport K⁺/Na⁺ diminue (Gadallah, 1999 in Haouala et al., 2007)

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. L'accumulation des ions Na⁺ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K⁺ et Ca²⁺. Il y aurait une compétition entre Na⁺ et Ca²⁺ pour les mêmes sites de fixation apoplasmique.

L'accumulation des ions Na⁺ affecte l'absorption de K⁺ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de Na⁺ en faible concentration peut augmenter l'absorption de K⁺, tandis qu'une concentration élevée en Na⁺ diminue l'absorption de K⁺ chez le riz (Levitt, 1980 in Haouala et al., 2007) et la canne à sucre (Nimbalkar, Joshi, 1975 in Haouala et al., 2007). Cette absorption peut même s'arrêter complètement chez le haricot (Hamza, 1977 in Haouala et al., 2007) et le laurier rose (Hajji, 1980 in Haouala et al., 2007) cultivés en présence de chlorure de sodium (NaCl) à 12 g.l-1.

IV-3-7-L'effet de la salinité sur les enzymes antioxydantes

En cas de stress biotique ou abiotique, on observe chez les plantes une production rapide et massive d'espèces réactives de l'oxygène. De nombreuses études ont été menées, notamment chez les plantes, afin de préciser quels facteurs entraînent ce phénomène.

De nombreuses conditions environnementales ont ainsi été définies : la sécheresse, les stress thermiques (hautes et basses températures), l'exposition aux métaux lourds, aux ultraviolets, aux polluants aériens tels que l'ozone et le SO₂, les stress mécaniques, les carences en nutriments, les attaques de pathogènes, la salinité et les fortes expositions à la lumière (Ben Naceur et *al.*, 2005).

Le stress salin cause un déficit hydrique comme conséquence à l'effet osmotique sur les activités métaboliques des plantes. Ce déficit hydrique cause un stress oxydatif à cause de la formation des espèces réactives de l'oxygène comme les superoxydes, les radicaux hydroxyle et peroxyde.

Les espèces réactives de l'oxygène qui sont le produit des stress hyperosmotique et ionique causent des dysfonctionnements dans la membrane et la mort cellulaire (Bohnert et Jensen, 1996 in Parida et Das, 2005). Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène par l'induction de l'activité de certaines enzymes antioxydantes comme la catalase, la peroxydase, la glutathion réductase et la superoxyde dismutase, qui éliminent les espèces réactives de l'oxygène. L'activité des enzymes antioxydantes comme l'ascorbate peroxydase, la glutathion réductase, la monodéshydroascorbate réductase (MDHAR) et la déshydroascorbate réductase (DHAR) augmentent sous les conditions de stress salin chez le blé alors que l'ascorbate total et le contenu de la glutathion diminuent (Hernandez et *al.*, 2000 in Parida et Das, 2005).

IV-3-8-L'effet de la salinité sur le métabolisme de l'azote

L'activité de la nitrate réductase (NRA) diminue dans les feuilles de beaucoup de plantes pendant le stress salin (Flores et *al.*, 2000). La première cause de la réduction de la NRA dans les feuilles est un effet spécifique associé à la présence du sel Cl⁻ dans le milieu externe. Cet effet de Cl⁻ semble être dû à la réduction de l'absorption du NO₃⁻ et par conséquent une concentration réduite du NO₃⁻ dans les feuilles, bien que l'effet direct du Cl⁻ sur l'activité de l'enzyme qui ne peut être écarté (Flores et *al.*, 2000).

Chez le maïs (*Zea mays*) le taux des nitrates diminue dans les feuilles, mais augmente dans les racines sous le stress salin et la NRA des feuilles diminue aussi dans la salinité (AbdElBaki et *al.*, 2000 in Parida et Das, 2005)

L'exposition des racines nodulées à NaCl des légumineuses comme le soja et l'haricot cause une réduction rapide de la croissance végétale. (Serraz et *al.*, 1998 in Parida et Das, 2005). L'activité de la nitrogénase diminue chez l'haricot par une exposition à courte durée à la salinité.

IV-3-9-L'effet de la salinité sur l'ultrastructure du chloroplaste

Chez les plantes traitées avec le NaCl, la microscopie électronique a montré que la structure du thylacoïde du chloroplaste devient désorganisée, le nombre et la taille des

plastoglobules augmentent et le taux d'amidon diminue (Hernandez et *al.*, 1999 in Parida et Das, 2005). Dans le mésophylle de la patate douce (*Ipomoea batatas*), les membranes des thylacoïdes sont gonflées et la plupart sont perdues sous un stress salin sévère (Mitsuya et *al.*, 2000 in Parida et Das, 2005).

IV-3-10-L'effet de la salinité sur la photosynthèse

Le développement des plantes est le résultat de l'intégration et la régulation des processus physiologiques dont le plus dominant est la photosynthèse. La croissance du végétal autant que la production de biomasse est une mesure de la photosynthèse nette et comme les stress environnementaux affectent la croissance donc affectent la photosynthèse.

Le stress salin cause des effets à long et à court terme sur la photosynthèse.

Les effets à court terme se manifestent après quelques heures jusqu'à un à deux jours de l'exposition au stress, et la réponse est importante ; il y a complètement arrêt de l'assimilation du carbone.

L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement (Munn et Termatt, 1986 in Parida et Das, 2005), aussi on a rapporté qu'il y a suppression de la photosynthèse sous les conditions d'un stress salin (Kao et *al.*, 2001 in Parida et Das, 2005) et qu'elle ne diminue pas mais plutôt stimulée par de petites concentrations de sel (Kurban et *al.*, 1999 in Parida et Das, 2005). La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs : (1) la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂, (2) la toxicité du sel, (3) la réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydroactive des stomates, (4) la sénescence accrue induite par la salinité et (5) le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique. (Iyengar et Reddy, 1996 in Parida et Das, 2005).

IV-4- L'effet des sels sur la faune du sol

La pression osmotique de la solution des sols salés augmente en fonction de la richesse en sels et sa conductivité ce qui rend l'alimentation en eau des plantes et celle des micro-organismes 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).

IV-4-La tolérance des plantes à la salinité

Deux grandes stratégies de résistance au sel étaient connues chez les plantes : limiter l'entrée de sodium au niveau des racines ou séquestrer le sodium au niveau des feuilles. un nouveau mécanisme de tolérance au sel : la plante protège ses feuilles, donc sa capacité de photosynthèse, en ré-exportant le sodium des feuilles vers les racines par le flux de sève descendant, de façon à rendre possible une ré-excrétion dans le sol. Les chercheurs ont identifié le gène qui permet ce transport de sodium des feuilles vers les racines chez l'espèce modèle *Arabidopsis thaliana*. La modification de ce gène affecte fortement la résistance de la plante au sel. Il est donc raisonnable de penser que l'on pourra renforcer cette résistance en augmentant l'expression de ce gène. (Berthomieu et *al.*, 2003)

A l'échelle de la plante entière, les ions chlorure et sodium entrent par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles. Là, ils sont stockés (plantes inclusives), soit au contraire très peu retenus et mobilisés par la sève phloémique jusqu'aux racines (plantes exclusives) (Denden et *al.*, 2005)

La tolérance de la salinité est l'habilité des plantes à croître et compléter leur cycle de vie sur un substrat contenant la forte concentration de sel soluble. Les plantes qui peuvent survivre sur des concentrations élevées de sel dans la rhizosphère et croître normalement sont appelées halophytes. Dépendant de leur capacité à tolérer le sel, les halophytes sont caractérisées par une faible diversité morphologique et taxonomique avec une vitesse relative de croissance qui augmente jusqu'à 50% de l'eau de mer, ou les facultatives sont trouvées dans des habitat de salinité moindre tout au long des frontières entre les montagnes salines et non salines et sont caractérisées par une plus grande diversité physiologique qui leur permet de faire face à des conditions salines et non salines.

Les plantes développent un nombre important de mécanismes biochimiques et cellulaires pour faire face au stress salin. Les stratégies biochimiques comprennent: (1) l'accumulation sélective ou l'exclusion des ions, (2) le contrôle de l'absorption racinaire des ions et leur transport dans les feuilles, (3) la compartimentation des ions au niveau cellulaire et au niveau de toute la plante, (4) la synthèse de solutés compatibles, (5) le changement dans le chemin de la photosynthèse, (6) l'altération de la structure membranaire, (7) l'induction des enzymes antioxydatives et (8) l'induction des hormones végétale.

Les mécanismes de tolérance au sel sont des mécanismes de faible et de haute complexité. Les mécanismes de faible complexité semblent impliquer des changements de beaucoup de voies biochimiques. Les mécanismes de haute complexité impliquent des changements qui protègent les processus importants tels que la photosynthèse et la respiration, par exemple, l'efficacité d'utilisation de l'eau, et ceux qui préservent des dispositifs importants tels que le cytosquelette, la paroi cellulaire, ou les interactions entre la membrane plasmique et la paroi cellulaire (Botella et autres, 1994 in Parida et Das, 2005) et les changements de la structure du chromosome et de la chromatine, c.-à-d., la méthylation d'ADN, polyploïdisation, amplification des séquences spécifiques, ou d'élimination d'ADN (Walbot et Cullis, 1985 in Parida et Das, 2005) Il est cru que pour la protection des processus évolués,

des mécanismes de faible complexité sont induits de façon coordonnée. (Bohnert et Jensen, 1996 in Parida et Das, 2005)

Tableau N°17: Classe de tolérance des cultures à la salinité

Classes de tolérance relative à la salinité	Salinité limitée du sol (CE) Sans perte de rendement
Sensible	<1,3 ds/m
Moyennement sensible	1,3 – 3,0 ds/
Moyennement tolérant	3,0 – 6,0ds/m
Tolérant	6,0 – 10 ds/m
Inapte à la plus part des cultures (sauf si en accepte une baisse de rendement)	>10 ds/m

Tableau n° 18: nomenclature de cultures : classées de sensibles à tolérantes à la salinité ainsi que leur rendement en fonction de la concentration du sel dans le sol et dans l'eau (CE sol ; CE eau).

Culture	Sensibilité à la salinité	RDT des cultures			
		100 %		75 %	
		C.E Sol	C.E eau	C E sol	C E eau
Luzerne	Modérément Sensible	2,00	1,30	5,40	3,60
Carthame	Tolérant				
Sorgho	Tolérant	6,80	4,50	8,40	5,60
Tournesol	Sensible				
Soja	Tolérant	5,00	3,30	6,30	4,20
Betterave Sucre	Tolérant	7,00	4,70	11,00	7,50
Canne à sucre	Modérément Sensible	1,70	1,10	5,90	4,00
Blé	Tolérant	5,70	3,80	10,00	6,90
P. D. Terre	Sensible	1,70	1,10	3,80	2,50
Tomate	//	2,50	1,70	5,00	3,40
Poivron	//	1,50	1,00	3,30	2,20
Haricot	Sensible	1,00	0,70	2,30	1,50
Chou	Modérément Sensible	1,80	1,20	4,40	2,90
Epinard	Modérément Sensible	2,00	1,30	5,30	3,50
Oignon	Sensible	1,20	0,80	2,80	1,80
Agrume (orange)	Modérément Sensible	1,70	1,10	3,30	2,20
Olivier	Modérément Tolérant				
Raisin	Sensible	1,58	1,00	4,10	2,70
Mais Fourrage	// //	1,80	1,20	5,20	3,50
Plein champ		1,70	1,10	3,80	2,50
Arachide	// //				
Coton	Tolérant				
Pastèque	Modérément Sensible				
Orge	Tolérant	8,00	5,30	13,00	8,70
Laitue	Modérément Sensible	1,30	0,90	3,20	2,10
Carotte	Sensible	1,00	0,70	2,80	1,90
Betterave rouge	Modérément Tolérant	4,00	2,70	6,80	4,50
Prunier	Modérément Sensible	1,50	1,00	2,90	1,90
Poirier	//				
Pêcher	//	1,70	1,10	2,90	1,90
Citronnier	//				
Abricotier	//	1,60	1,10	2,60	1,80
Pommier	//				
Amandier	//	1,50	1,10	2,80	1,90
Fève	Modérément Sensible	1,50	1,10	4,20	2,00
Grenadier	Modérément Tolérant				
Aubergine	Modérément Sensible				
Concombre	//				
Citrouille	Modérément Tolérant	4,70	3,10	7,40	4,90
Avoine	//				

IV-5- Conséquences de la salinité sur les rendements

D'une manière générale et quelle que soit la plante, la récolte décroît plus ou moins linéairement avec la conductivité électrique mesurée par exemple, la récolte de la luzerne chute de 7,3 % par mmhos/cm supplémentaire dès que la conductivité dépasse 2,0 mmhos/cm (Jean –Paul Legros ,2007).

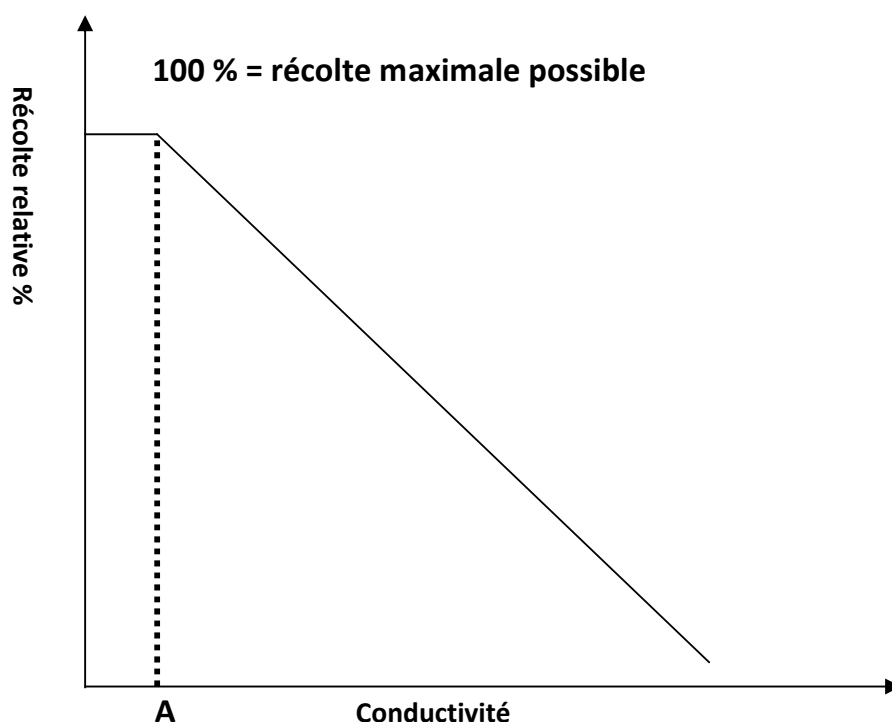


Figure n°7 : Courbe explique la relation entre la salinité du sol et le rendement.

IV-1-5-1-Symptômes morphologiques d'un stress dû au sel

Tout au long du cycle végétatif des plantes cultivées, des symptômes morphologiques dû au stress causé par la salinité peut être observés, l'exemple de ces plantes cultivées est le riz :

Parmi les symptômes causés par la salinité qu'on peut observer chez le riz est les suivant:

Un taux élevé de mortalité pendant la phase de levée (arrêt de croissance ; les jeunes pousses restent vertes mais complètement sèches)

Une réduction de croissance au stade de tallage (les plantes sont petites, système racinaire sous développé)

Une diminution du taux « poids de racines/poids de tige »

Une diminution du volume racinaire

Une accélération de la sénescence des feuilles (la durée de vie des feuilles est raccourcie)

De nombreuses feuilles mortes à la base du pied, le nombre de feuilles vertes est réduit.

Pendant le stade de tallage actif, les plantes stressées par la salinité apparaissent plus vertes et sombres que les plantes non stressées car la croissance est réduite. (Apporter alors une dose de fertilisant est approprié).

La durée entre la floraison et la maturité est légèrement raccourcie. (2 à 5 jours)

Certaines branches paniculaires sont abandonnées (on observe alors des branches paniculaires blanches portant des bourgeons de fleurs stériles)

Un nombre important d'épillets non remplis (Des épillets stériles et vides mais le: glumes restent vivantes)

Une diminution du poids du grain

Une diminution de rendement

Une diminution de l'index de récolte (rendement en grain/ poids total de matière sèche)

Conclusion

La valeur et la productivité des sols à haute teneur en sels diminuent considérablement chaque année à travers le monde, causant d'importants dommages socio-économiques et environnementaux à long terme. L'accumulation de sels par la mauvaise gestion des terres et des eaux est un problème grave à l'échelle mondiale.

Pour enrayer la perte de terres cultivables due à l'accumulation de sels, l'utilisation de méthodes appropriées de gestion des terres est indispensable. Savoir discerner les symptômes des sols salins à l'avance peut éviter à la fois de coûteux efforts de remise en valeur et des pertes de terres supplémentaires

Chapitre V – Normes et méthodes de mesure

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. 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 ;

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°19 : la correspondance entre plantes halophytes et plantes cultivées

mmhos/cm	Association naturelle par Ordre décroissant de la salinité du sol	Végétaux cultivés correspondants et espèces commerciales
Extrait .S		
	<i>Salicornia fructosa</i> – <i>Scirpus maritimus</i> - <i>Juncus maritimus</i> <i>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>Suada Fructosa</i>	Limite du <i>Cynodon dactylon</i> et <i>Polygon monspeliensis</i>
12	<i>Suada fructosa</i> avec <i>Salicornia fructosa</i> (rare)	Début de culture productive du cotonnier. Bon résultat avec chou, betterave, nanisation et stérilisation du maïs, extrême limite du blé, orge avoine.
9	<i>Suada fructosa</i> (pure)	Bons résultats du cotonnier, betterave, artichaut, grenadier, avoine, luzerne. Stérilité de l'olivier.
8	<i>Suada fructosa</i> avec <i>Calendula algeriensis</i> et <i>Ormenis praecox</i>	Assez bonne végétation du maïs
7	<i>Suada 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>Suada 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

V- Analyses chimiques

V -1- Les caractères d'évaluation de la salinité

V-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 (1978) 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 cm² de surface placées à 1 cm l'une de l'autre, relié à un appareil de mesure (conductimètre).

V-1-2- Extrait de la pâte saturée

Cette méthode permet des analyses de série standardisée. De la terre fine séchée est malaxée avec de l'eau distillée et cette pâte est portée jusqu'à sa limite de liquidité. La confection de la pâte nécessite au moins 300 g de terre afin d'obtenir 50 Cm³ de solution d'extraction.

On crée ainsi un rapport terre / eau variable selon la texture (par exemple 1/2 pour un texture argileuse et 1/5 pour un échantillon sableux)

La salinité globale de l'extrait de pâte saturée est déterminée par la mesure de la conductivité électrique (CE) , sur l'extrait de pâte saturée , il est possible de réaliser le dosage des anions et cations solubles : carbonates , bicarbonates , chlorures , sulfates , ainsi que Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ .Les teneurs en anions et cations sont exprimées en milieu équivalentes par litre (**Baize D , 2000**)

V-1-3- 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° 20 : Variation de la conductivité électrique en fonction d'un taux de la salinité (DAOUD, 1980) cité par BOURAHLA (1991).

Taux de sels (meq/L)	C. E (mmhos /cm)
< 20	< 2
20 - 40	2 - 4
40 - 80	- 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° 21 : 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.

L'échelle agronomique mise par l'U.S Salinity Laboratory est graduée selon les valeurs de la CE, de 0 à 16 mmhos/ cm, Au-delà de 8 mmhos/ cm, Au-delà de 8 mmhos, la plupart des plantes cultivées voient leurs rendements nettement affectés par la salinité. Et seuls les végétaux spécialisés peuvent prospérer dans le domaine des CE supérieure à 16 mmhos/ cm il y a une autre échelle, couvrant le domaine des sols très

sellés comme on en rencontre le long du littoral méditerranéens. Cette échelle est exprimée en fonction de la CE et de la somme des anions (corrélation établies sur de nombreuses mesures) (**Baize D ; 2000**).

V-1-4- Le taux de sodium échangeable (E S P)

$ESP = Na^+ / CEC = \text{échangeable sodium percentage} = \text{pourcentage de sodium échangeable}$

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.

V-1-5 – 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.

V-1-6- 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.

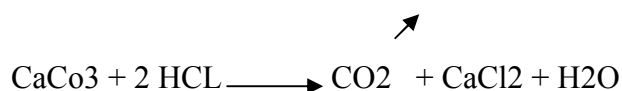
Le pH est le logarithme de l'inverse de la concentration des H^+ dans une solution.

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

La majorité des sols salés présentent une gamme de variation du pH entre 7 à 9.

V-1-7- 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 (CaCo3) par l'acide chlorhydrique (HCL). On mesure le volume de CO2 obtenu et on calcule le poids.



100 g CaCo3 dégagent donc 44 g CO2.

V-1-8- Le calcaire actif

Le dosage du calcaire actif par la méthode de DROUINEAU est réservé 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.

V-1-9 – Bilan ionique dans les sols salés ou gypseux.

Sous l'appellation « sels solubles » sont regroupés un ensemble d'anions et de cations présents dans le sol soit sous forme solide cristallisée, soit sous forme dissoute dans la solution du sol ce qui les oppose aux cations adsorbés à la surface des argiles qui font partie du complexe d'échange du sol et avec lesquels ils sont en équilibre.

Les sels solubles du sol sont souvent assimilés à un ensemble d'éléments majeurs comprenant les cations Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} et les anions Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} .

Principe de la détermination :

La détermination au laboratoire des sels solubles se déroule en trois étapes :

- Leur extraction par l'eau sous différents rapports sol/solution (extraits saturés, extraits 1/1, 1/5, 1/10...)
- La mesure de la concentration globale en sels de l'extrait: conductivité électrique.
- Le dosage des différents anions et cations contenus dans l'extrait par ICP, colorimétrie à flux continu ou titrage.

Il est aussi possible d'effectuer un calcul de spéciation qui permet de connaître la distribution des principaux complexes existant. Dans ce cas, la mesure du pH est indispensable

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.

V-2- Qualité de l'eau d'irrigation

V-2-1- La sodocité :

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.

L'étude des 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.

V-2-2-Normes d'interprétation de la salinité de l'eau

Les principaux éléments qui ont un effet déterminant sur la qualité saline de l'eau d'irrigation sont :

- la concentration totale de sels solubles (conductivité électrique)
- la proportion relative du sodium, du calcium et du magnésium,

Les relations approximatives entre les teneurs en sels et la conductivité: 1 mmho/cm = 1000 micromhos/cm = 10 meq/l = 640 mg/sel/l.

La salinité totale de l'eau ne résulte pas seulement de la présence de sel ordinaire (chlorure de sodium: 1 meq/l = 58 mg/l) mais également de sels de calcium et de magnésium (carbonate de calcium 1 meq = 50 mg/l chlorure de magnésium = 1 meq = 48 mg/l).

V-2-3-La classification des eaux d'irrigation selon la conductivité

Le choix d'une source d'eau pour irriguer les cultures doit dépendre du type et de la concentration des substances qui y sont dissoutes ou en suspension. Il dépend aussi des caractéristiques physiques et chimiques du sol. Bien que certaines sources d'eau soient pures, d'autres par contre contiennent des taux élevés de sels, de microorganismes et d'autres résidus. Ces eaux peuvent causer directement des dégâts aux cultures ou encore influencer les propriétés du sol et causer des problèmes indirects.

En dessous de 0,75 mmhos/cm, une eau est théoriquement de très bonne qualité.

La salinité de l'eau permet de déterminer 4 classes d'eau d'après la relation entre la CE à 25 °C de l'eau d'irrigation et celle de l'extrait saturée du sol.

-Classe 1 : CE, 25°C < 250 micromhos/cm

Eau utilisable pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terres avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol.

Un léger lessivage est nécessaire, mais il se produit en irrigation normale sauf en sol très peu perméable.

-Classe 2 : CE, compris se entre 250 et 750 micromhos/cm.

Eau utilisable avec un léger lessivage, les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité.

-Classe 3 : CE comprise entre 750 et 2250 micromhos/cm

Eau inutilisable pour les sols à drainage restreint .même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées.

-Classe 4 : CE > 2250 micromhos /cm

Eau inutilisables normalement pour l'irrigation exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sol .Les plantes cultivées devront être très tolérante aux sels.

V-2-4-La classification des eaux d'irrigation selon la proportion relative du sodium, du calcium et du magnésium

Parmi les sels dissous dans l'eau, le sodium (Na) requiert plus d'attention. De hautes concentrations en sodium peuvent être dommageables pour les cultures en modifiant les conditions physiques du sol.

L'analyse de la concentration du sodium dans l'eau d'irrigation ne peut être faite seule. En effet, l'influence du sodium dépend des concentrations en calcium et en magnésium. Aussi, plutôt que de parler de concentration en sodium, nous parlons plutôt d'une valeur qui tient compte des effets mutuels du sodium, du calcium et du magnésium. Il s'agit du ratio d'adsorption du sodium par le sol, le SAR (Sodium adsorption ratio).

On utilise le SAR pour classer les risques liés au sodium dans les sources d'eau d'irrigation. L'eau caractérisée par un SAR supérieur à 10 aura tendance à produire une accumulation de sodium dans le sol. Le sodium agit au niveau de la défloculation du sol argileux ce qui entraîne une diminution de la macro-porosité (air) et du taux d'infiltration de l'eau. Cette action sur la structure du sol est particulièrement néfaste pour les cultures.

À l'aide du SAR, on divise les eaux d'irrigation en quatre classes. La classification est basée principalement sur l'effet du sodium sur les conditions physiques du sol :

Classe S1 SAR de 10 et moins bas taux de sodium

Classe S2 SAR de 10,1 à 18 taux moyen de sodium

Classe S3 SAR de 18,1 à 26 haut taux de sodium

Classe S4 SAR au-dessus de 26,1 très haut taux de sodium

Classe S1

L'eau peut être utilisée sur pratiquement n'importe quel type de sol avec un risque minimal d'accumuler du sodium à un niveau dommageable.

Classe S2

L'eau présente un danger appréciable d'accumuler du sodium à un niveau dommageable pour les sols ayant une texture fine et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée. Par contre, l'eau peut être utilisée dans les sols sableux ayant une bonne perméabilité.

Classe S3

Peut produire des niveaux dommageables de sodium dans pratiquement tous les types de sols. L'utilisation d'amendements tels que le gypse pourrait être nécessaires pour échanger les ions sodium. De plus, les pratiques culturales augmentant le drainage seront requises plus fréquemment.

Classe S4

Cette eau est généralement inadéquate pour l'irrigation.

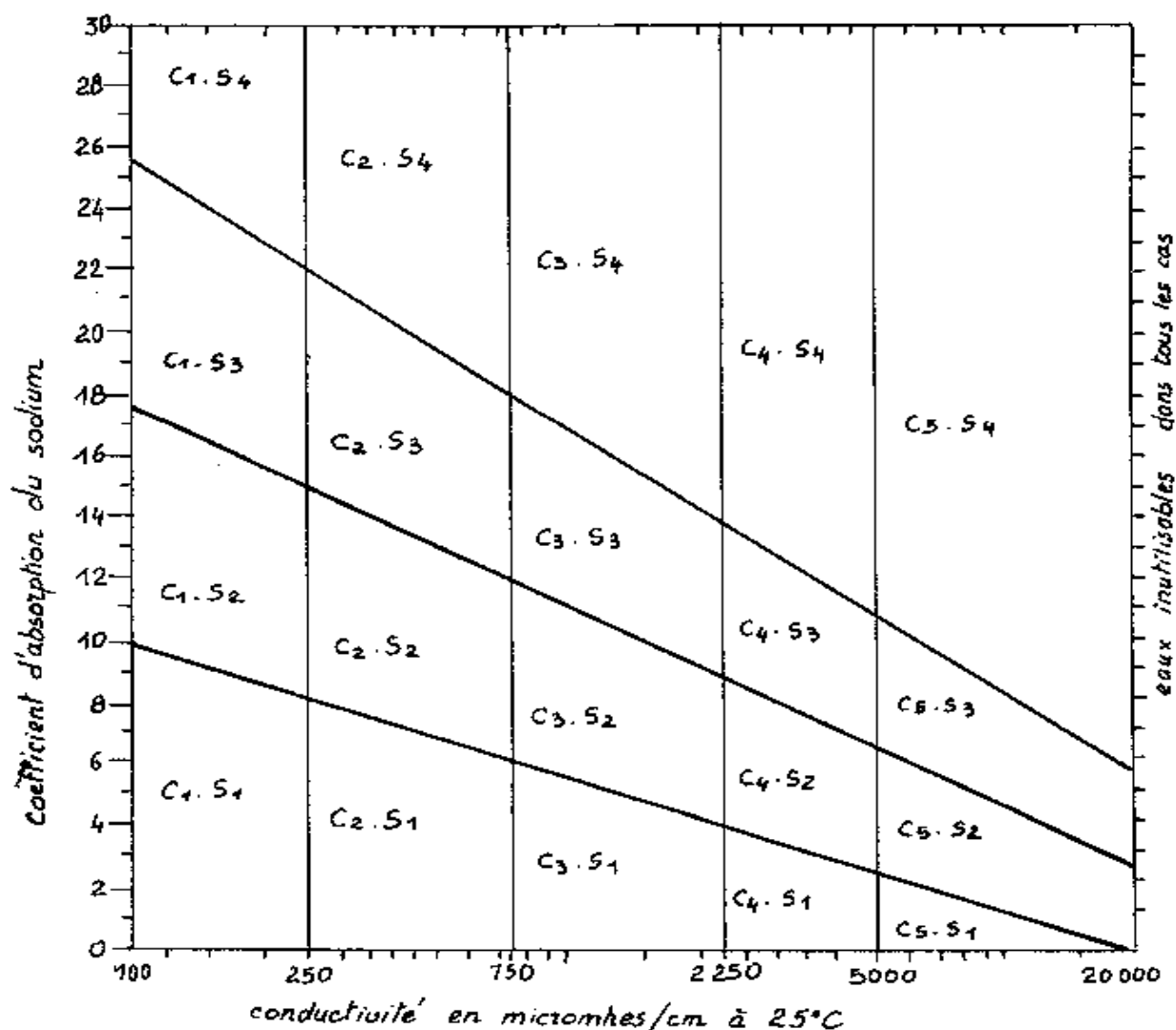


Figure n°8: Diagramme permettant de déterminer les classes des eaux en fonction de la conductivité et du coefficient d'absorption du sodium.

V-3- Matière organique

Les sols salés ont des caractéristiques physiques et chimiques très particulières et posent des problèmes agronomiques (aptitude culturale faible par exemple). De ce fait, il est impératif de raisonner convenablement les apports organiques comme amendement pour améliorer la situation dégradée de ces sols. C'est dans ce contexte que nous avons essayé de déterminer l'effet des amendements organiques sur quelques propriétés physiques et chimiques d'un sol salé.

En Algérie très peu de recherches dans ce domaine ont été menées (surtout dans les régions arides et semi-arides). Il nous a paru donc indispensable de savoir s'il y a 67

vraiment de paramètres du sol qui seront modifiés par l'apport de la matière organique (fumier).

Notre technique d'amélioration des sols salés constitue l'épandage de fumier organique, ce dernier à un avantage avec l'argile pour former le complexe argilo-humique pour adsorber les cations en plus dans la solution du sol et rendre à nouveau l'équilibre entre la solution du sol et le CAH, en plus cet opération qui vise à bonifier la terre de matière organique dans un sens d'améliorer la fertilité du sol et le bilan hydrique de ces sols.

L'humus fait partie des matières organiques du sol. La matière organique fraîche lorsqu'elle est déposée au sol peut subir deux processus soit la minéralisation directe, soit l'humification.

Au lieu de se minéraliser la matière organique fraîche et les produits issus de sa décomposition vont s'agglomérer pour former des grosses molécules stables : l'humus.

La formation de l'humus dépend de plusieurs facteurs :

- La présence dans le sol de bactéries, insectes, etc....
- La nature des déchets et de la matière organique amenés au sol.
- Les conditions du milieu (humidité, température, oxygène...)

Pour avoir une bonne humification il faut certes un milieu humide et une température moyenne, mais une bonne humification dépendra essentiellement de la quantité d'azote présent et de la quantité d'oxygène (nécessaire pour les oxydations). En l'absence d'oxygène nous aurons des réactions de fermentations.

L'humus est un colloïde électronégatif, son pouvoir adsorbant est 10 fois supérieur à celui de l'argile; Il est lui aussi très hydrophile.

La formation du complexe argilo humique permet de stabiliser un sol. En effet l'humus protège l'argile, en retenant l'eau il évite sa dispersion.

L'adsorption est la rétention de composants à la surface d'autres composés sans liaisons. Le complexe argilo humique, chargé négativement sur sa surface peut fixer les cations du sol.

Le CAH fixe les cations d'un sol, essentiellement Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ mais aussi H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} . Ces ions sont les éléments minéraux nutritifs pour la plante. Le phénomène d'adsorption et de désorption (inverse) assure un flux d'éléments minéraux. Cette quantité d'éléments minéraux pouvant être utilisés par les plantes dépend de :

La quantité d'ions effectivement présents dans le sol soit en solution, soit adsorbée sur le CAH.

La mobilité de l'ion c'est à dire la rapidité à laquelle il s'adsorbe et se désorbe du CAH.

Les ions sont soit en solutions soit adsorbés sur le CAH, il existe un équilibre entre la solution du sol et le CAH, lorsqu'une plante prélève des ions en solutions dans le sol

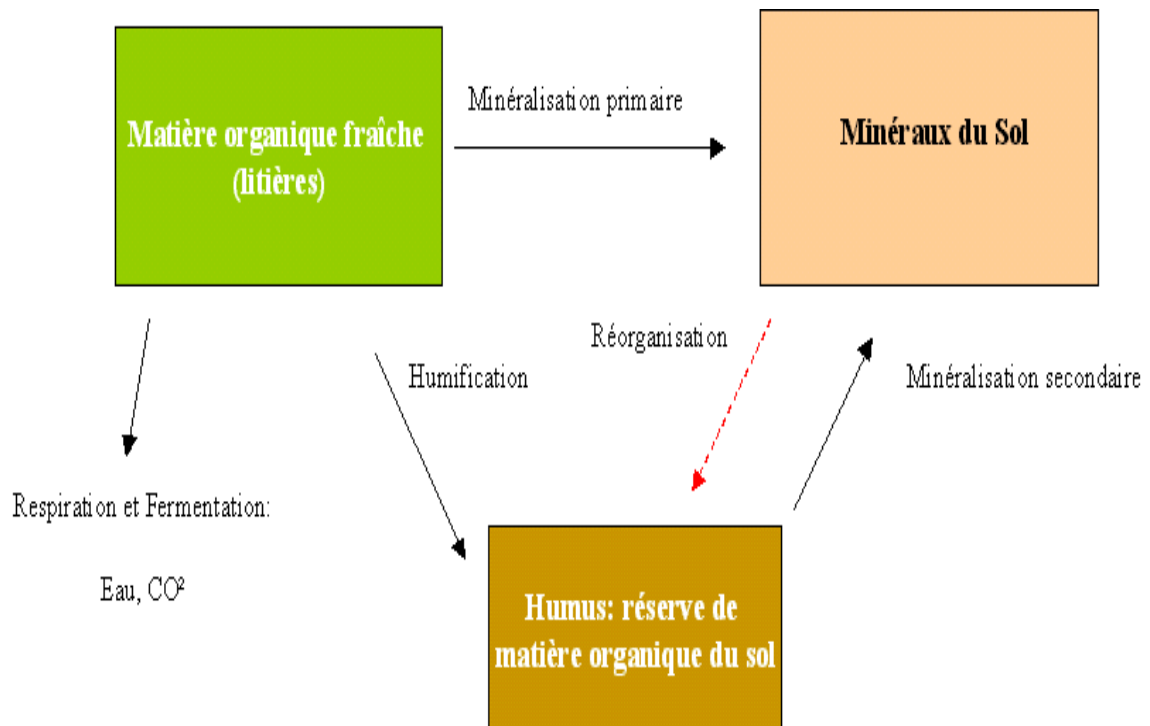


Figure n°20: Devenir de la matière organique

Cet équilibre est détruit. Des cations doivent se désorber du CAH pour rétablir cet équilibre et de nouveau offrir des minéraux disponibles pour la plante.

Contrairement à un engrais minéral dont la composition est connue et stable, qui a un effet sur l'augmentation de la salinité du sol, le fumier a des objectifs agronomiques multiples :

- Fertilisation de la culture
- Amélioration de structure du sol
- Amélioration du pH du sol

Les M.O ont de multiples propriétés qui leur confèrent des fonctions primordiales dans les agro et les écosystèmes et en font une composante de la fertilité. Les

fonctions des M.O participent de façon générale à l'aptitude des sols à la production végétale par l'amélioration de ces propriétés physiques, chimiques et biologiques.

V-3-1-Actions de la matière organique sur les propriétés physiques du sol

La M.O grossière, à la surface du sol, atténue le choc des gouttes des pluies et permet à l'eau pure de s'infiltrer lentement dans le sol ; l'écoulement en surface et l'érosion sont ainsi réduits (**DONAHY, 1958**).

Les M.O assurent la cohésion des autres constituants du sol entre eux et contribuent à la structuration du sol et à la stabilité de la structure. Ceci est dû au grand nombre de liaisons électrostatiques et surtout de liaisons faibles que les M.O peuvent assurer (**BALESDENT, 1996**).

Dans les terres manquant de colloïdes minéraux et où l'absence de phénomènes de gonflement « limons ou sables » l'élévation du taux d'humus coïncide avec une certaine tendance à l'agrégation (**DUTHIL, 1973**)

La teinte foncée des terres riche en M.O favorise l'absorption de l'énergie solaire. Ceci se traduit par un réchauffement plus rapide des sols nus (**DUTHIL, 1973**).

La capacité du sol pour l'eau est en effet liée à la teneur en M.O en raison de l'hydrophilie extrêmement accusée des colloïdes qui la composent (**DUTHIL, 1973**). Cette matière retient d'autant mieux l'eau qu'elle est humifiée, elle régularise le bilan de l'eau dans le sol, son affinité pour l'eau se manifeste par :

- une force de succion élevée.
- des phénomènes de contraction et d'expansions des sols, au cours de leur dessiccation- humectation. La quantité d'eau retenue dans le sol est en fonction de la nature du sol et surtout de la teneur en M.O et son degré d'humification.

V-3-2-Actions de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol

Les M.O contribuent classiquement à la fertilité chimique des sols. Elles sont une réserve d'éléments nutritifs, principalement pour l'azote, le phosphore et le soufre (**BALESDENT, 1996**).

Elles sont dans leur ensemble par leur minéralisation, une source d'aliments de certains éléments nutritifs et la facilité de leur utilisation suite à la libération par oxydation de l'humus et de gaz carbonique.

Selon DUTHIL (1973), cette décomposition progressive est doublement intéressante :

D'une part, elle s'étale sur la quasi-totalité de la période de végétation, ce qui correspond bien à une alimentation régulière et continue et évite des pertes par lessivage ou par insolubilisation.

D'autre part, elle apparaît « complète » que la destruction microbienne des débris végétaux enfuis libère aussi bien N, P, K, Ca, S que d'autres éléments moins connus ou moins évidents Mg, Zn, B, Cu, Fe, Al, Si,.. Etc.

Les colloïdes humiques augmentent la capacité d'échange du sol dont un gramme fixe environ 10 fois plus de cations qu'un gramme d'argile (**SOLTNER, 2003**). Cette propriété rend la M.O dans certains milieux comme les sols légers, la principale réserve des bases disponibles (K^+ et Ca^{++}) (**BALESDENT, 1996**).

V-3-3-Actions de la M.O sur les propriétés biologiques du sol

Les apports organiques facilement fermentescibles permettent d'améliorer l'activité biologique.

Les M.O représentent un véritable substrat énergétique pour les micro-organismes pour synthétiser leurs propres protéines ainsi que pour former des métabolites (**RIBIERO, MOUREAUX, NOVIKOFF, 1976**).

Les matières organiques sont l'aliment des vers de terre et des arthropodes (insectes, acariens...) (1). Les matières organiques jeunes apportent les sucres et les matières azotées nécessaires aux micro-organismes (2). Les matières organiques, en améliorant la structure et l'aération du sol, favorisent le développement des bactéries aérobies, indispensables à la minéralisation et aux échanges dans la rhizosphère (3)

Par son rôle capital dans la fourniture des éléments majeurs et des oligo-éléments, la M.O favorise la croissance et la résistance des plantes aux parasitismes (**SOLTNER, 2003**).

Au contact du substrat minéral, elles ont une grande valeur comme amendement humique, comme « ensemencement microbien » et comme générateur d'enzymes, à ces points de vue, elles sont irremplaçables.

II-5-Origines de la matière organique

La M.O du sol comprend l'ensemble des résidus des organismes vivants, animaux et végétaux incorporés dans le sol, sans tenir compte de leur état de décomposition (**COLLOT et al, 1982**).

Les engrais de ferme ou fumiers, contiennent des quantités plus ou moins importantes de M.O d'origine animale (urine, ..), mélangées ou non à des litières (paille, sciure, copeaux..).

Ces produits ont une double valeur agronomique en tant que fertilisant azotés, phosphorés et potassique et aussi comme amendement organique et basique (**BODET et al, 2001**), notamment en présence de litière.

V-4- Mode d'irrigation

La racine doit, on le sait, pomper dans le sol toute l'eau dont elle a besoin pour alimenter ses feuilles, tenir les stomates ouverts, et donc autoriser l'absorption de gaz carbonique. Or, en sol salé c'est plus difficile de pomper de l'eau, car, les sels en solution déterminent une pression osmotique qui a tendance à jouer dans le mauvais sens c'est-à-dire à faire sortir l'eau des racines. Lorsqu'une plante a sa base immergée dans un sol très salé, inondé par exemple par la mer, elle ne peut plus extraire l'eau, flétrit et meurt de soif.

Dans les régions arides, le climat rend l'irrigation nécessaire à toute mise en culture, ce qui exige une maîtrise des ressources en eaux et en sols. Suivant les cas et en fonction des conditions environnementales, les sols contiennent des éléments minéraux hétérogènes dispersés dans les horizons du profil du sol.

Selon la distribution des sels dans le profil et l'intensité de l'évaporation de la région, le mode et les fréquences convenables à l'irrigation des cultures doivent permettre à la plante de recevoir suffisamment d'eau, et lessivée des sels qui se trouvent dans les horizons superficiels ou d'empêcher la remontée des sels qui se trouve dans les horizons profonds en prenant en compte les conditions climatiques de la région.

L'utilisation d'eau pour l'irrigation des plantes cultivées en sols salés engendre plusieurs problèmes que l'on peut résumer ainsi :

-Une dégradation des caractéristiques physiques du sol : perte de structure, baisse de perméabilité avec les risques d'asphyxie pour les racines qui en résultent.

-Solubilisation des sels par l'eau d'irrigation qui provoque une augmentation de la pression osmotique qui peut freiner voire arrêter l'absorption de l'eau par le végétal.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont, déterminer le ou les modes d'irrigations les mieux adaptés dans les sols salés des dépressions des hauts plateaux où les conditions géomorphologiques des dépressions ne permettent pas l'installation d'un système de drainage.

V-4-1-Définition des systèmes d'irrigation :

Système gravitaire

- irrigation en bassin (plus connue) : l'eau est apportée sous forme d'une nappe dans un bassin (qui peut être cloisonné) aménagé sur un sol nivelé (pente de 0,1 à

1 %) ;

- irrigation à la raie : l'eau est apportée par ruissellement dans des sillons séparés d'une distance de 0,6 m à 1,25 m ; le sol est nivelé (pente de 0,2 à 3 %) ;

- irrigation par siphon ou rampes à vannettes : l'eau est amenée à la raie par des siphons ou des rampes à vannettes qui permettent la réduction de l'érosion en tête de la raie, une meilleure maîtrise des débits et de l'uniformité de répartition de l'eau.

Les systèmes sous pression

- irrigation par aspersion : épandage de l'eau sous forme de pluie avec régulation et uniformité de la dose apportée à condition que la zone ne subisse pas des vents supérieurs à 4 m/s ; les systèmes d'irrigation par aspersion sont soit fixes, soit mobiles;

- irrigation localisée : l'eau circule dans des tuyaux souples de petit diamètre disposés à la surface du sol et sont munis de dispositifs " égoutteurs " qui apportent l'eau au pied des végétaux ; les systèmes d'irrigation localisée les plus répandus sont le goutte à goutte (indiqué pour le maraîchage) et le micro-jet (indiqué pour l'arboriculture).

Les systèmes d'irrigation sous pression engendrent une économie d'eau moyenne de 30 à 60 % par rapport aux systèmes gravitaires. Les systèmes d'irrigation localisée, quant à eux, peuvent engendrer une économie d'eau allant jusqu'à 50 % par rapport aux systèmes par aspersion (limitation maximale de l'évaporation et de la percolation car l'eau est livrée à faible dose, n'humidifie qu'une fraction du sol).

Les systèmes d'irrigation localisée occasionnent les plus-values suivantes : prévention du développement des mauvaises herbes et possibilité de fertigation. Ils ne sont, par contre, pas adaptés si les cultures emblavées sont à enracinement profond ainsi que si les eaux sont trop chargées (sable, limon, matière organique, fer,...qui peuvent obstruer les tuyaux) ou trop salées (pas de lessivage).

L'irrigation par aspersion est recommandée dans les cas de sols à faible profondeur, de sols légers et perméables, en cas de relief trop accidenté ainsi qu'en cas d'utilisation d'eau salée.

V-5- Prégermination

Une étude faite sur l'effet de la salinité sur la germination des graines d'*Acacia tortilis* montre que l'augmentation du stress salin entraîne une réduction non seulement des taux de germination, mais aussi du temps moyen de germination.

Les sols qui contiennent une trop forte quantité de sels solubles, sont généralement floculés, c'est-à-dire que les particules de sol sont groupées ensemble en masse compact, l'eau et l'air dans le sol ne peuvent pas circuler librement à travers le sol, bien qu'il puisse y avoir plus d'ouverture. En conséquence l'imbibition des graines par l'eau devient impossible dans ces conditions qui vont retarder ou inhiber la germination des graines.

Dans les zones à risques de salinité moyens et importants, la méthode de prégermination des semences limitera fortement la mortalité due aux sels dans la phase de germination. Il conviendra pendant la phase de levée (période de forte sensibilité du plant) d'éviter de prolonger l'état sec de la parcelle.

Les écrits publiés sur cette question, soulignent que, dès 1896, des chercheurs du Wyoming et d'ailleurs ont étudiés l'action d'une forte pression osmotique de la solution du sol.

Ces études ont montré que la germination est retardée par les sels en solution et que l'importance du retard de la germination et des dommages aux graines et plantules est en raison directe de la pression osmotique de la solution saline. Avec la plupart des substances en solution employées, l'augmentation de pression osmotique provoquait une diminution du gonflement des graines. Si la pression osmotique était suffisamment élevée, aucune germination ne se produisait; mais il a été noté que les diverses espèces de plantes agricoles montrent des tolérances aux sels différentes pour une concentration saline déterminée.

L'évaluation du taux de salinité qui conditionne la germination des graines sur le terrain est difficile, car l'humidité du sol et la concentration en sels changent continuellement par suite de l'évaporation, des mouvements capillaires de l'eau, des pluies ou de l'irrigation.

Un grand nombre de chercheurs ont étudié les effets toxiques des sels ou des ions sur la germination et le développement de l'embryon et de la plantule.

Harris et Pittman ont constaté que les sels de Cl sont les plus toxiques, que ceux de SO₄ sont les moins toxiques, et que ceux de CO₃ occupent une position intermédiaire; mais ils ont aussi montré que la toxicité de NaCl et SO₄Na₂ semble dépendre de la concentration du sel et du pourcentage d'humidité existant, alors que la toxicité de CO₃Na₂ est plus largement influencée par la présence de matière organique. La toxicité relative des sels solubles s'établit dans l'ordre décroissant suivant : NaCl, CaCl₂, KCl, MgCl₂, NO₃K, (NO₃)₂Mg, CO₃Na₂, SO₄Na₂ et SO₄Mg. En ce qui concerne les antagonismes, il conclut que l'effet de sels mélangés n'est pas aussi grand dans le sol que dans les cultures sur solutions.

Généralement les carbonates basiques sont les sels les plus toxiques, et on signale que SO₄Na₂ est moins nocif que NaCl. Des expériences sur des plantules de maïs, de sorgho, d'avoine, de coton et de betterave à sucre, cultivées en milieu liquide, sont réalisées en utilisant des concentrations critiques de sels de Na et de Mg. Le taux critique était déterminé comme " la concentration pour laquelle la moitié des extrémités des racines des plantules qui y avaient été soumises pendant vingt-quatre heures ne survivaient plus quand on les remettait ensuite dans l'eau ", Ils ont constaté que le maïs est le plus résistant en solutions pures, et le coton le moins résistant, et noté que, sous le rapport de la toxicité, il peut y avoir de grandes différences entre les espèces végétales, même lorsqu'elles appartiennent à la même famille. La présence d'un excès de SO₄Ca diminue considérablement la toxicité des sels de Mg et Na. Rudolfs a étudié la germination de graines de dix espèces différentes, préalablement trempées et soumises ensuite à des sels employés seuls.

Toutes les graines étaient gravement endommagées dans les solutions de CO₃K₂, et des anomalies se produisaient lorsqu'on utilisait ce sel ou SO₄Mg. (NO₃)₂Ca avait un effet défavorable sur la germination et le développement de la racine pour toutes les graines sauf le maïs.

Les études de germination sur le terrain ne peuvent pas conduire à des résultats aussi nets que des expériences de culture en serre faites sur sol et dans l'eau, étant donné que plusieurs facteurs ne sont pas contrôlables. Mais les terrains d'expérience

fournissent d'utiles informations en ce qui concerne la façon de travailler les sols salins. (UNESCO 1957)

V-6- Effet des haies brise-vent

Selon Benabadji.N et Bouazza.M; les vents du Sud qui soufflent surtout au printemps et en automne (secs et chauds), quelquefois en été ils ramènent avec eux une quantité appréciable de sable et de limon. Ces vents provoquent le dessèchement des sols en entraînant une forte évaporation par capillarité essentiellement dans la région où l'on remarque une forte concentration des sels en surface.

Dans les régions semi-arides et arides, la pénurie et la variabilité de la pluie et la forte évaporation affectent l'eau et l'équilibre des sels dans le sol. Les facteurs climatiques sont très favorables à l'ascension des sels, à la concentration de la solution du sol et à la précipitation des sels dans la zone racinaire et l'horizon superficiel entraînant la salinisation. Cette salinisation peut être naturelle ou anthropogénique. La gestion des sols affectés par les sels requiert une combinaison de pratiques agronomiques basée sur une bonne définition des caractéristiques hydro-pédologiques et hydrauliques et des conditions locales incluant le climat, la culture et l'environnement socioéconomique.

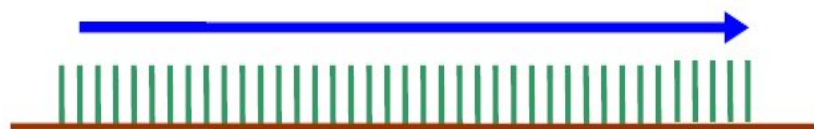
Plusieurs pratiques sont généralement combinées dans un système intégré pour éviter la salinisation excessive et la baisse de la fertilité des sols, pour cela on va étudier l'effet du brise-vent sur la végétation vis-à-vis de la salinisation.

Les haies brise-vent agissent également pour limiter les pertes d'eau utile par évaporation et assèchement des sols et par évapotranspiration des plantes.

Toutes les cultures ont besoin d'eau pour vivre et donner leur pleine mesure à la récolte et dans ce contexte on va proposer les haies brise-vent comme solution à l'évapotranspiration, Les brise-vent agissent sur deux facteurs, la vitesse du vent et la teneur en eau du sol, En réduisant la vitesse du vent et les pertes d'eau par évaporation. Des études sur l'effet des haies brise-vent sur la production agricole ont montré que au pied de la haie, le rendement est diminué (concurrence des arbres pour l'eau et la lumière), mais sur le reste de la surface protégé (15 fois la hauteur de la haie) le rendement est augmenté car les végétaux transpirent moins pour lutter contre le dessèchement par le vent et donc utilisent mieux l'eau pour produire de la biomasse. De plus, l'évaporation du sol est diminuée. En secteurs irrigués ou limités en eau (hauts plateaux et le Sahara) cet impact des haies est important est souvent sous-estimé.

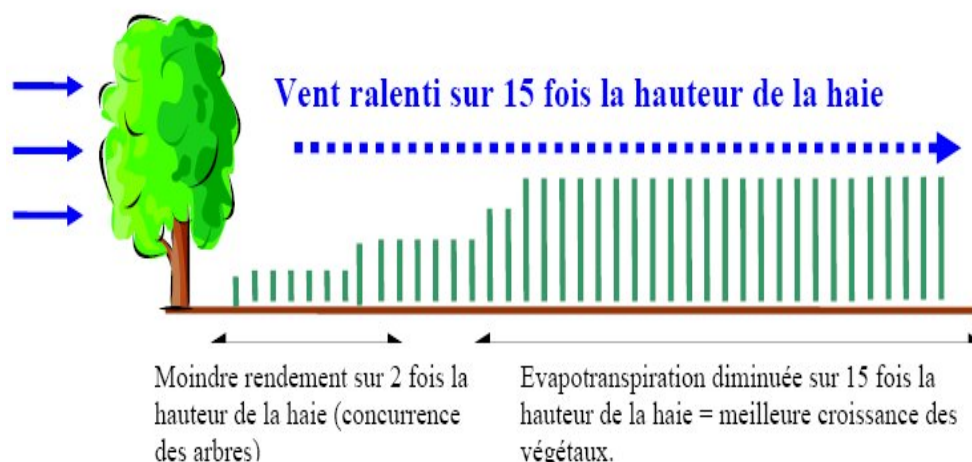
Les brise-vent limitent également les problèmes de verse et déchirement des feuilles en cultures maraîchères. Autre rôle les brise-vent captent la chaleur le jour et la restitue la nuit, permettant de limiter les gelées.

Situation sans haie : Vent non ralenti



RENDEMENT

Avec une haie brise-vent : Vent ralenti



Gain de production

RENDEMENT

Figure n°21 : effet des haies brise-vent sur l'amélioration de la production agricole (URFA).

Conclusion

La Salinisation se traduit souvent par une diminution de la stabilité structurale avec une dégradation de couche superficielle a des effets négatifs sur toute pratique agricole. Encore plus grave, cette salinité ne cesse de gagner du terrain et augmenter en teneur dans les zones irriguées.

La présence de sels solubles en quantité importante est néfastes pour le développement de la végétation ou des cultures et rend difficile voir complexe l'utilisation des sols salés pour la production agricole. Pour lutter contre cette menace, il faut acquérir de nouvelles connaissances et on ne peut le faire que par des recherches parfois inspirée mais le plus souvent ardue et laborieuse pour les exploiter et le rendre utile.

Partie expérimentale

I- Etudes du sol et de l'eau d'irrigation

Introduction

Les éléments minéraux dissous dans la solution aqueuse du sol pénètrent dans la plante par les racines sous la forme d'ions. Chaque espèce végétale a des besoins précis en ions, liés à son métabolisme propre et à des résistances variées aux éléments toxiques. La plante développe des mécanismes particuliers de transport d'ions, réglant ainsi les quantités absorbées selon ses besoins.

Un ion peut être trop abondant par rapport aux besoins de la plante, par exemple le sodium (Na) dans le cas des sols sodiques, la plante peut développer des mécanismes de régulation de l'absorption de ces ions: concentration puis neutralisation, élimination par l'intermédiaire de cellules situées dans les feuilles, adaptation physiologique par mutation génétique, absorption grâce à l'action de champignons symbiotiques des racines (les mycorhizes)... Ces mécanismes influencent la présence et l'abondance d'espèces végétales différentes selon les écosystèmes naturels ou cultivés.

Dans cette partie on va essayer d'étudier le sol de la région d'étude pour évaluer le degré de la salinité de l'eau d'irrigation et du sol, et voire notre sol de point de vue pratique, parce que la composition et l'origine des solutions du sol à une grande importance pour la mise en valeur des terrains salés.

I-1-Choix de la région d'étude

Le choix de la région d'étude est basé sur plusieurs critères, essentiellement d'ordre scientifique. Les plus importants sont les suivants :

- La région est caractérisée par des accumulations de sel.
- La région présente une eau de faible qualité.
- Disponibilité de différentes classes de salinité.
- La région d'étude est occupée par plusieurs types de cultures (céréales, maraîchage,...etc.).
- La création de nouveaux périmètres irrigués de mise en valeur agricole
- La présence des agriculteurs coopératifs.

Potentialités locales importantes faiblement exploitées.



Photo 1: une photo montre la présence de la salure qui élimine la végétation.

Photo 2: Cristaux de sels au tour d'une halophyte

Le site choisi doit en plus représenter une situation géomorphologique, pédologique et géochimique caractéristique d'une région donnée. Les résultats acquis de cette manière sur un périmètre pourront alors être généralisés à d'autres situations semblables.

I-2-Localisation de la région d'étude

Notre région d'étude fait partie de la région des hauts plateaux d'Ouest algérien, qui se localise à la commune de « Mekmen Ben Amar » (la Dayra de Mekmen Ben Ammar la Wilaya de Naama) qui se trouve sur la route nationale N°22 vers Mechria.

Le périmètre concerné par cette étude a une superficie de 200 hectares qui se trouve en amont de la dépression "Mekmen" est irrigué par cinq puis. Les sols se caractérisent par une salinité qui diminue les rendements des cultures pratiquées où parfois les agriculteurs cessent de travailler leur terre à cause de la salinité du sol ou de l'eau.



Zone de nouveau Périmètre irrigué

ancien périmètre irrigué

Sebkha

Figure n°10: Carte satellitaire montre la localisation du périmètre irrigué de la zone d'étude

I-3-Méthodes et matériels d'analyse du sol

I-3-1-Description du terrain

Le Mekmen est une dépression qui se caractérise par une sebkha très salée qui se trouve dans la zone centrale la plus basse (bas fond), et entourée par les escarpements qui favorisent l'érosion hydrique, l'un des facteurs de la formation des sols de textures fines dans la zone basse, cela été signalée par Dr Benabadji (1999), dans ses travaux dans la région du Chott-El-Gharbi.

Pour Benabadji et *al* (1996 et 2004), « les sels très solubles s'accumulent souvent dans les sols à climat aride et dans les bas fonds. Elles apparaissent également sous forme d'efflorescences blanches à la surface du sol, lorsque la texture et la structure permettent la remontée des sels par capillarité».

L'agriculture se pratique dans la ceinture de la dépression où se trouvent des sols exploitables par rapport aux sols où se trouve la sebkha, la géomorphologie de la dépression aide au drainage naturel des sols.

La région est caractérisée par des vents de sable qu'a un double effet néfaste sur les sols du périmètre:

- L'érosion éolienne.
- L'ensablement qui touche surtout la ceinture de la dépression.

Dans chaque grande région géochimique, chaque portion de paysage comprend une partie haute, une partie intermédiaire où se produit l'infiltration et le ruissellement, et une partie basse où s'accumulent les transports solides fins et où s'évaporent les sels. On y trouve la séquence de sols suivants, de haut en bas des versants:

- les sols peu évolués d'apport colluvial à texture grossière.
 - les sols salins non hydromorphes: l'apport colluvial (bas de pente) ou alluvial (terrasses) contient du sel qui migre en profondeur en hiver et remonte en surface en été.
 - les sols salins hydromorphes: ce sont les sols de bas-fonds, présents dans tous les petits bassins versant endoréiques des zones et lorsque la nappe phréatique est à moins de deux mètres de profondeur. Selon la position de la nappe dans le profil, on distingue:
 - les sols dont la nappe varie saisonnièrement: des efflorescences peuvent apparaître mais sans former de croûte ou encroûtement salin en surface en été. En hiver, les sels entraînés vers la nappe sont dilués. C'est le cas des sols salins du Nord.
- L'hydromorphie se concrétise par un pseudo-gley ou un gley de profondeur.

- les sols dont la nappe est constamment proche de la surface: l'hydromorphie se traduit par un gley pouvant comporter des taches d'oxydation surmontant un horizon noir à sulfure

L'accumulation de sels en surface forme une croûte saline blanche.

Cette séquence de sols présente des variantes suivant la zone géochimique concernée,

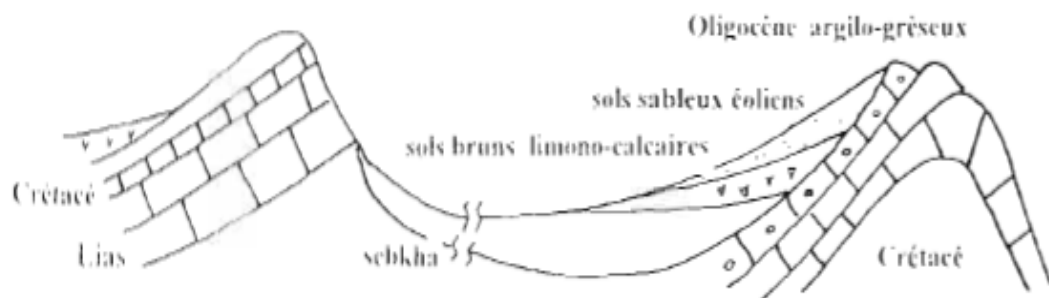


Figure n°11 : Géomorphologique de terrain d'étude

La situation générale du périmètre irrigué

Les parcelles sont grandes, de superficie de 5 ha. Elles sont cultivées en betteraves, menthe, maraîchage et un peu d'oléiculture et de cultures fourragères. La production est moyenne pour certaines cultures et pour d'autres mauvaises à nulle, à cause de la salure des sols.

Les aménagements hydrauliques consistent en un réseau d'irrigation enterré avec une vanne par parcelle de 5 ha, l'irrigation est conduite par submersion chez la plupart des agriculteurs, d'autres agriculteurs ont préféré l'irrigation par aspersion et goutte à goutte.

Les contraintes à la production sont d'abord la texture sablonneuse, ensuite la géomorphologie de la dépression endoréique qui favorise le phénomène de l'ensablement qui ne cesse pas à s'accroître d'une année à l'autre, et l'extension de la sebkha à la faveur des sols cultivés.

Certains agriculteurs ont cédé leurs parcelles.



Photo n° 3: la dégradation de la structure du sol après l'irrigation



Photo n° 4: photo montre la présence des sels au sol

I-3-2-Echantillonnage

L'échantillonnage du sol a été effectué à partir de 4 points différents, choisis pour notre étude sur un transect tout en suivant la pente vers l'aval de la dépression. Les échantillons de sol sont pris sur tout le profil : 0-50 cm.

Les sols étudiés se caractérisent par un profil homogène qui se différencie au niveau de la profondeur de l'horizon supérieur.

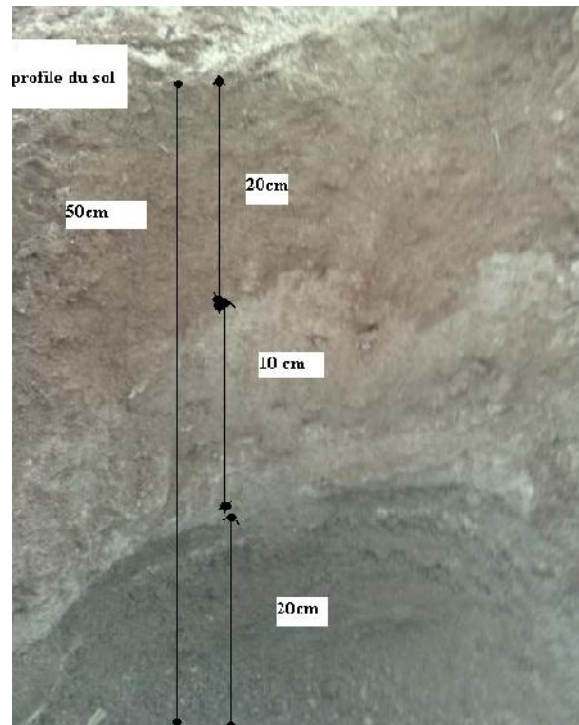


Photo5 : photo montre le profil qui caractérise le sol du périmètre irrigué de la zone d'étude

1. Profil 01 :

-Profil ouvert en plein champ, situé dans la terrasse supérieure.

-Date de prélèvement : 15/04/2011.

-Culture : sol labouré pour une culture de pastèque.

- La texture est sableuse probable.

2. Profil 02 :

-Profil ouvert en plein champ, situé dans la terrasse moyenne.

-Date de prélèvement : 15/04/2011.

-Culture : carotte variété "super Mosca".

-La texture est sableuse, couleur brun clair.

3. Profil 03 :

-Profil ouvert en plein champ, situé dans la terrasse moyenne.

-Sol inculte.

-Date de prélèvement : 15/04/2011.

-La texture est sableuse de couleur brune.

4. Profil 04 :

-Profil de plein champ.

-Date de prélèvement : 15/04/2011.

-Situation : terrasse inférieure.

-culture : Olivier.

-Texture limono-sableuse de couleur brun foncé.

I-4-Analyse au laboratoire

I-4-1-Les analyses physiques

I-4-1-1-L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet d'obtenir la répartition des particules minérales contenues dans la terre fine selon leur taille. Comme la plupart des analyses, elle est réalisée sur la terre fine, c'est-à-dire sur les éléments qui font moins de 2mm de diamètre. Cela suppose au préalable de passer les échantillons de sols dans des passoires retenant les éléments supérieurs à 2mm.

Différentes méthodes de laboratoire peuvent être utilisées. La plus courante, car simple et fiable, est la méthode de la pipette de Robinson. Elle se base sur la loi de Stokes selon laquelle « plus une particule est grosse et plus elle tombe vite dans l'eau » (BAIZE. D, 2000.).

L'analyse granulométrique comprend deux étapes : le tamisage et la sédimentométrie.

a- Le tamisage :

Un tamis est constitué d'une toile métallique ou d'une tôle perforée définissant des mailles de trous carrés.



Figure n°12: Photo représentative d'un tamis utilisé pour l'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique par tamisage permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat. Pour cela l'analyse consiste à séparer et classer à l'aide de tamis ces grains selon leur diamètre. Les grains ainsi isolés peuvent être pesés pour déterminer la proportion de chacun dans le granulat. La représentation graphique de l'analyse permet d'observer et d'exploiter ces informations très simplement.

Les masses cumulées des différents refus sont exprimées en pourcentage par rapport à la masse initiale de l'échantillon de granulat. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités soit numériquement soit graphiquement. Cela permet d'observer la proportion de refus cumulé ou de tamisât jusqu'à un diamètre de grain par rapport au granulat.

b-Sédimentométrie

La sédimentométrie est un essai qui permet l'étude de la granulométrie des éléments inférieurs à 0,1mm. Elle est basée sur la loi de STOCKS qui exprime la relation entre la vitesse de la décantation d'une particule sphérique dans un liquide et le diamètre de cette particule. Ainsi, en appliquant cette loi aux particules d'un sol qui ne sont jamais sphériques, on n'obtiendra que des diamètres équivalents, pour simplifier l'exposé, on n'en utilisera pas moins l'expression diamètre des particules (**BAKKOUCH et al...1994/1995**).

Lorsque les particules ont une dimension inférieure à 0,08 mm, le tamisage n'est plus possible, on a alors recours à la sédimentométrie. Le but de cette dernière est donc de déterminer les proportions relatives en poids des divers éléments d'un sol dont les dimensions sont inférieures à 0,08 mm, ou de compléter le tamisage pour un sol qui contient des éléments dont le diamètre se situe de part et d'autre de la borne. Pour effectuer cette détermination de proportion on utilise le densimètre.

La procédure consiste à prendre 30 cm³ de défloculent dilué dans de l'eau distillée pour obtenir un volume totale de 200 cm³. Une moitié de cette solution a été versée dans une éprouvette de 1 litre et complétée avec de l'eau distillée jusqu'à 1000 cm³ pour servir d'éprouvette témoin.

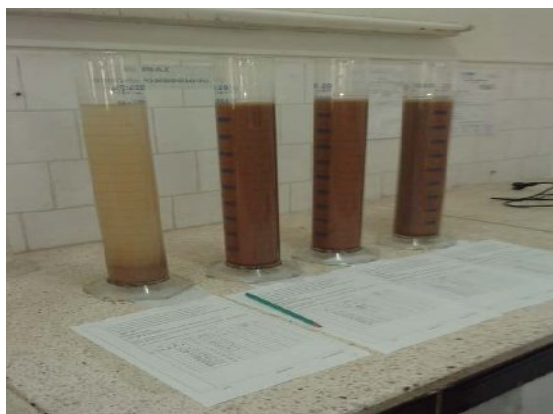


Photo 6: sédimentation des particules inférieures à 0,08 mm des quatre échantillons 87

I-4-1-2-Mesure du pH

La mesure du pH s'effectue sur une suspension de terre fine. Le rapport liquide/poids de terre doit être constant (1/5 par exemple). En utilisant la méthode électrométrique à électrode de verre. On peut également mesurer la valeur du pH par une pâte de sol saturée d'eau distillée.

Avant de procéder à la mesure de pH, on a procédé à l'étalonnage du pH-mètre (électrode combiné type CONSORT). On a introduit l'électrode dans la solution, on a remis en suspension toute la terre à l'aide de l'agitateur durant 20 min.

La lecture du pH se fait après stabilisation de la valeur affichée sur l'appareil. Après chaque mesure, on procède à un lavage des électrodes avec de l'eau distillée.

I-4-1-3-Humidité résiduelle

La détermination de l'humidité des échantillons de sols s'applique à tous types d'échantillons de sols, à savoir :

- Échantillons bruts pour essais: échantillons dont l'humidité est celle de leur lieu de prélèvement
- Échantillons pour essais: terre fine après séchage à l'air.

Principe

Les échantillons sont séchés à l'étuve à $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante. Une nuit, soit environ 15 heures, suffit généralement. La différence entre le poids avant et après séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon initial.

I-4-1-4-La matière organique

Détermination à partir de la teneur en Carbone. En admettant que la composition moyenne de la matière organique du sol soit constante en carbone (58 %), il suffit de déterminer la teneur en cet élément pour en déduire la quantité de matière organique présente.

La méthode la plus exacte est sans aucun doute le dosage par voie sèche, mais dans la pratique elle ne peut servir que de méthode de référence; restent donc les méthodes par voie humide. Elles sont basées sur la transformation du carbone en gaz carbonique, sous l'action d'une quantité connue de solution oxydante dont on détermine l'excès.

Cette oxydation se fait le plus couramment par action du bichromate de potassium en milieu sulfurique, soit à chaud (Méthode de Anne), soit à froid (Walkley et Black).

Réactifs :

- Bichromate de Potassium environ normal : 39 g par litre

- Sel de Mohr (Sulfate de Fer et d'Ammonium) : 250 g par litre
- Permanganate titré 0,2 N (solutions en ampoules titrisols ou fixanal).

Mode opératoire

S'effectue sur terre fine tamisée à 2 mm.

Le poids de terre est fonction de la richesse du sol en matière organique, On doit opérer sur un échantillon tel que le carbone présent soit inférieur à 25 mg. (Compte tenu du titre des solutions on devra verser moins de 40 cc de permanganate, sinon recommencer sur un poids moindre).

-un témoin (V1)

- Introduire un poids p de terre dans un erlenmeyer de 500 CC.

- Verser 10 cc de Bichromate de Potassium à la pipette automatique

-Verser 15 cc d'acide sulfurique

-Agiter et laisser reposer une demi-heure.

Ajouter environ 200 cc d'eau puis, a la pipette automatique, 20 cc de sel de Mhor afin de réduire le bichromate en excès,

-La solution prend une teinte verte.

-Titrer l'excès de sel de Mhor par du permanganate 0,2 N jusqu'à apparition d'une teinte bleu gris caractéristique (V2).

$$MO = 104,5 (V2-V1)/p$$

I-4-2-Les analyses chimiques

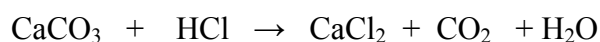
I-4-2-1-Calcaire total (CaCO₃)

Le but est de déterminer le pourcentage de carbonate de calcium contenu dans un sol par méthode chimique du calcimètre de BERNARD.

La méthode de détermination du pourcentage de carbonate de calcium dans un échantillon de sol consiste à provoquer sa réaction avec de l'acide chlorhydrique (HCl) dont on mesure le gaz carbonique dégagé.

On a introduit un gramme de terre séchée et tamisée dans une fiole conique reliée à une burette volumétrique. Dans cette même fiole, on a disposé un tube contenant de l'acide chlorhydrique dilué.

On a basculé ce tube, le calcaire est attaqué par l'acide chlorhydrique et le gaz carbonique formé se dégage selon la réaction suivante:



On a mesuré le volume de gaz dans la burette à la pression atmosphérique. Enfin, il suffisait de multiplier par 0,4 le volume lu sur cette burette (en centimètre cube). Pour obtenir la teneur en calcaire de la terre examinée en pourcentage.

L'appareil employé " Calcimètre BERNARD " est présenté sous forme d'un coffret transportable, ce coffret contient le tube mesureur gradué de 0 à 100cm³ avec son statif et son ampoule de niveau, deux fioles coniques à réaction de 100 cm³, les bouchons, dont l'un est muni d'un thermomètre à alcool coloré, un petit tamis en cuivre pour préparer la terre, tube rond d'environ 5cm³ et une pince brucelles:

Pour l'utiliser il faut en outre:

-De l'acide chlorhydrique.

-Un trébuchet simple pour la pesée de la terre

Après le séchage préalable, le matériau a été broyé dans le mortier afin d'obtenir une poudre passante en totalité à travers un tamis d'ouverture ou égale à 0,4 mm, le séchage du matériau a été poursuivi à une température de 105°C jusqu'à que sa masse ne varie pas de plus de 2/1000 entre deux pesées successives espacées de 1h.

Après homogénéisation, on a prélevé des prises d'essai de 1g (en absence d'information sur la teneur en carbonate de calcium).

Mode opératoire:

On a pris la fiole de calcimètre muni d'une expansion latérale en tube à essai 5 ml de HCl au 1/2 N Suivant la teneur en calcium, on a pesé 5 g de terre finement broyée.

Puis on a humidifié la terre avec de l'eau distillée sans excès.

On a fermé juste après la fiole en la raccordant au calcimètre et on a lu le volume V_1 .

Avant de fermer le robinet du calcimètre, on s'est assuré que le niveau du liquide est arrivé à la hauteur du repère zéro.

On a fermé le robinet, puis on a incliné la fiole pour faire couler l'acide sur la terre.

Puisque la terre contenait du carbonate de calcium, il s'est produit un dégagement rapide de gaz carbonique refoulant l'eau dans la colonne du calcimètre.

Lorsque le dégagement de CO_2 a été terminé on a attendu quelques instants pour que l'équilibre thermique entre l'appareil et l'atmosphère ait été réalisé.

Enfin, on abaissé l'ampoule du calcimètre jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans cette dernière ait été dans un même plan horizontal celui de l'eau située dans la colonne.

Et on a lu le volume V_2 de gaz carbonique qui a été dégagé à la pression atmosphérique et à la température du moment de l'expérience.

I-4-2-2-Bilan ionique dans les sols salés

Sous l'appellation « sels solubles » sont regroupés un ensemble d'anions et de cations présents dans le sol soit sous forme solide cristallisée, soit sous forme dissoute dans la solution du sol ce qui les oppose aux cations adsorbés à la surface des argiles qui font partie du complexe d'échange du sol et avec lesquels ils sont en équilibre.

Les sels solubles du sol sont souvent assimilés à un ensemble d'éléments majeurs comprenant les cations Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} et les anions Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} .

I-4-2-3-La conductivité électrique du sol

Pour le mode opératoire de la mesure de la conductivité électrique, on a mélangé de la terre fine séchée est malaxée avec de l'eau distillée.

La confection de la pâte nécessite au moins 300 g de terre. La salinité globale de l'extrait de pâte saturée est déterminée par la mesure de la conductivité électrique.

A l'aide d'un conductimètre on a mesuré la conductivité de l'extrait de pâte saturé de chaque horizon du profil du sol.

Les analyses du sol ont été effectuées au niveau du laboratoire de travaux publics d'Abou Tachfine (Tlemcen).

I-5-Analyse de l'eau d'irrigation

La région est caractérisée par l'irrégularité des pluies, avec une pluviosité moyenne de 220 mm par ans qui est insuffisante aux cultures pluviales, et avec la salure la culture irriguée est un choix fatal tant en culture céréalière, maraîchère que fruitière.

Le périmètre irrigué par quatre puits et un puit fermer à cause de la qualité médiocre de l'eau.

I-5-1-Mesure de la conductivité électrique

L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour plonger la sonde de l'appareil.

Aussi bien, avant d'effectuer toute mesure, il faut procéder à l'étalonnage. Une fois la mesure terminée, éteindre l'instrument et, si nécessaire, nettoyer la sonde. Après chaque série de mesures, rincer l'électrode à l'eau distillée.

I-5-2-Analyse chimique de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

Le SAR (Degré d'Adsorption du sodium) de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminé par une analyse chimique en laboratoire. Les éléments les plus importants pour déterminer le SAR de l'eau sont les suivants : sodium, calcium, magnésium. Ces derniers ont été dosés par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH)

I-5-3-pH de l'eau d'irrigation

On peut également mesurer la valeur du pH de l'eau par la méthode pH-métrique à l'aide d'une électrode combinée de type CONSORT. Un étalonnage au préalable est recommandé.

II- Essais expérimentaux

La salure du sol est un facteur de la chute des rendements des plantes cultivées. On peut résumer l'effet des sels sur les plantes en deux ordres:

Les sels empêchent les plantes à recevoir suffisamment d'eau, les plantes sont alors rabougries, la baisse des rendements peut atteindre jusqu'à 25% sans symptômes apparents.

Le sel a un effet toxique direct sur les plantes.

Comment peut-on améliorer la productivité des plantes cultivée en sols salés ?

L'agriculteur se préoccupe à la fois de l'environnement physique, chimique et biologique des plantes qu'il cultive. Les paramètres physiques de l'environnement végétal concernent le travail du terrain assurant une structure et une texture convenables au sol, support de la plante, ainsi qu'une capacité d'alimentation minérale et hydrique correcte pour elle.

Aussi bien l'ingénieur que l'agriculteur, cherchent depuis toujours à augmenter la production. Cette dernière est généralement tributaire d'un certain nombre de facteurs dont l'eau peut être citée en première place.

La régulation et l'augmentation des rendements sont donc directement liées à la bonne maîtrise de l'alimentation des plantes cultivées en eau, car tout apport excessif ou déficitaire se répercute négativement sur la production.

Les sols de la région d'étude comportent essentiellement des limons et des sables dans l'horizon supérieur, avec un horizon en gypso-salin qui se trouve en profondeur.

Ces sols sont, compte tenu de leurs caractéristiques physiques, très défavorables à l'agriculture. Pour améliorer les propriétés du sol il faut trouver des techniques adéquates, afin d'en augmenter leur réserve en eau et lessivé les sels en excès.

Le drainage est indispensable dans l'amélioration des sols salés, les sols de notre périmètre caractérisés par une bonne infiltration de l'eau, mais avec la présence d'une texture sablonneuse, la remonté capillaire est un facteur primordial à la présence des sels dans la surface du sol, on a remarqué qu'en période hivernal la remonté des sels s'absente à cause des températures basses, dès la rentrée de la période estivale on a remarquer une couche blanche de sels à la surface des sols irrigués qui a un effet néfaste sur la croissance des plantes surtout dans les parcelles basses de la dépression.

A partir de ces données et avec l'aide des agriculteurs du périmètre on va contribuer à améliorer la production des plantes cultivées dans ces conditions.

Il apparaît, à la lumière de l'examen que nous venons de faire des techniques de mise en valeur et d'application d'amendements, que si l'on considère essentiellement les sols halomorphes du point de vue de leur morphologie, les techniques dont il s'agit visent surtout à modifier les caractéristiques physiques pour aboutir à un profil plus normal.

L'amélioration de la structure doit suivre, soit comme conséquence de l'évolution chimique, soit provoquée par des pratiques culturales supplémentaires, souvent ce sont les facteurs économiques qui jouent un rôle décisif dans le choix de la méthode d'amélioration.

Les contraintes climatiques comme dans notre région, venteuse à climat semi-aride qui compliquent la production végétale, en ajoutant les contraintes édaphiques qui aggravent la situation, les principales contraintes auxquelles se heurte l'agronome sont les contraintes naturelles, c'est-à-dire celles que la nature fixe et qu'il n'est pas possible d'éviter.

Certaines d'entre elles peuvent être corrigées au prix d'investissements qui sont le plus souvent très coûteux.

La relation entre la conductivité de l'extrait de saturation et la pression osmotique a fait l'objet d'une étude critique de plusieurs chercheurs qui ont étudié des sols de serres à tomates, normales et montrant une influence défavorable due à la salure. Ils ont trouvé une corrélation très étroite avec $r = 0,996$.

Il faut connaître l'évolution de la salure des sols pour prévoir les aménagements nécessaires au maintien de la productivité des sols dans les périmètres irrigués. Cette évolution dans le temps ne peut se prévoir que si la répartition des sels dans l'espace, c'est à dire verticalement dans le profil et horizontalement sur toute l'étendue du périmètre est connue.

Selon les estimations de la FAO et de l'UNESCO, la moitié des périmètres qui utilise des systèmes habituels d'irrigation dans le monde est plus ou moins affectée par la salinisation, l'alcalinisation, l'excès d'eau (engorgement).

Ce phénomène est très courant non seulement dans les vieux systèmes d'irrigation mais aussi dans des systèmes où l'irrigation a été récemment introduite. Plusieurs millions d'hectares de terres précédemment fertiles sont ainsi abandonnés de manière précoce, sans possibilité de production agricole, par suite de l'accumulation saline et de la perte de productivité agricole.

Le nivellement mal réalisé, les méthodes d'irrigation, de drainage, de gestion de l'eau et du terrain sont en cause dans ces pertes en sols potentiellement affectés par les sels.

Un certain nombre de pratiques agricoles peuvent également être considérées comme solution pour lutter contre la salure des sols.

Après une évaluation de la salure de nos sols, on va procéder au suivi de quelques pratiques culturales et amendements organiques pour améliorer le développement des plantes qui craignent la salinité du sol, et par conséquence avoir des rendements optimaux dans ces conditions de salure.

- 1- La matière organique
- 2- Le mode d'irrigation
- 3- Prégermination
- 4- Rôle des brise-vent

Afin d'optimiser les rendements des plantes cultivées en sols salés, l'agriculture raisonnée doit être penché vers les pratiques culturales comme solution pour la production agricole dans ces conditions hostiles qui empêchent la maximisation des récoltes.

La présente initiative de travail dans ce contexte à pour but de valoriser les terres salées par des moyens non coûteux par rapport au système de drainage qui demande des grands moyens.

II- Mode expérimentale :

II-1-Matériel végétal utilisé

La menthe, la pomme de terre, la carotte et la pastèque sont des plantes importantes et les plus demandées dans le marché agricole algérien, ces plantes présentent une sensibilité à la salinité, mais nos agriculteurs qu'ont des sols infectés par les sels acceptent des rendements faibles de les remplacer par d'autres cultures qui tolèrent la salinité.

Pour cette raison on a choisi ces plantes comme plantes modèles à nos essais expérimentaux.

Selon l'INSID (2008) les plantes choisies pour cet essai (la pomme de terre, la menthe, les carottes, et la pastèque) présentent une sensibilité à la présence des sels dans le sol.

La sensibilité de la pomme de terre apparaît au delà de 1,7 dS, et on peut avoir une perte de rendement de 25% à une conductivité de 3,8 dS.

La carotte est une plante sensible à la présence des sels, à une conductivité de sols égale à 1,00 dS cette sensibilité est apparue par la chute des rendements, avec l'augmentation de la conductivité à plus de 2,80 dS, on peut avoir une chute de 25% du rendement de la plante.

La menthe et la pastèque sont deux plantes modérément sensibles à la salinité du sol et qui consomment beaucoup d'eau, pour leurs croissance, mais dans les conditions de salure les rendements des deux plantes sont réduits à cause de l'augmentation de la concentration de la solution du sol qui influence sur la disponibilité de l'eau.

Le rendement de la pastèque est influencé a partir d'une conductivité électrique avoisinante de 3,00 dS/m, et on peut avoir une chute de 25% à une conductivité de

l'extrait de la pâte saturé entre 2,7-9,5 dS/m. dans un sol où la conductivité est égale ou supérieure 16 dS/m, cette culture est incultivable dans ces conditions de salure.

II-1-1-La menthe

La menthe (*Mentha viridis*) est une plante vivace de la famille des labiées. Elle est originaire de la Méditerranée. Elle est connue depuis longtemps en Algérie pour l'aromatisation du thé. La menthe verte est disponible tout au long de l'année mais avec une baisse sensible de l'offre en hiver.

La culture est pratiquée partout en Algérie, sur des petites parcelles presque au niveau de toutes les exploitations agricoles. La croissance végétative de la menthe est fortement diminuée en période froide.

La menthe nécessite une grande quantité d'eau durant la saison de croissance, soit environ 1500 mm/an. La fréquence des arrosages est fonction de la réserve en eau utile du sol. On considère que l'irrigation devrait avoir lieu chaque fois que les 10 premiers centimètres de profondeur sont secs.

La menthe est par ailleurs sensible à la salinité du sol, l'utilisation des sols salés pour la culture de la menthe, permet d'obtenir certaines récoltes, mais très diminuées par la teneur en sels ou par les mauvaises propriétés physiques de ces sols.

La récolte de la menthe consiste à couper la plante à ras. Les échanges gazeux (transpiration et photosynthèse) sont nécessairement réduits à zéro. Le développement de jeunes pousses se fait en puisant dans les réserves accumulées dans les stolons, les racines et la base de la tige. Il est judicieux de choisir la fin de l'hiver ou le début du printemps pour planter la menthe.

Ainsi, et pour une plantation de février, la 1^{ère} coupe a lieu après 60 à 70 jours; par la suite, on effectue une coupe tous les 40 jours en saison chaude. En hiver, la menthe entre en repos végétatif.

Le rendement de la menthe est de l'ordre de 4 à 6 tonnes de matière sèche à l'hectare avec une moyenne de 4 à 5 coupes/an. (MAPM; 2008).

Il faut signaler que la première coupe est généralement faite pour stimuler la plante à produire plus de matière verte.

II-1-2-Pomme de terre

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) appartient à la famille des Solanacées, genre *Solanum* (Quezel et Santa, 1963), comprend 1000 espèces dont plus de 200 sont tubéreuses, on pensait autrefois que la pomme de terre était issue d'une plante sauvage unique, l'espèce *Solanum tuberosum*, dès 1929, les botanistes avaient montré que cette origine était plus complexe et que l'on retrouvait parmi les ancêtres des espèces de pomme de terre cultivés, des plantes sauvages différentes. La plante est une espèce herbacée vivace par ces tubercules mais cultivée en culture annuelle. (HIMOUR Sara; 2008)

II-1-3- Carotte

La carotte (*Daucus carota*) est une plante bisannuelle de la famille des ombellifères (anciennement ombellifères), largement cultivée pour sa racine pivotante charnue, comestible, de couleur généralement orangée, consommée comme légume. Le terme « carotte » désigne aussi ce légume. C'est un légume riche en carotène. La carotte est un tubercule d'hypocotyle, c'est-à-dire un tubercule formé en partie par l'hypocotyle et en partie par la région supérieure de la racine, et qui s'est tubérisé.

La carotte est une plante herbacée bisannuelle qui peut atteindre 30 centimètres de haut, à racine pivotante, épaisse et allongée. Les feuilles sont profondément divisées et couvertes de poils.

La racine de la carotte est pivotante sensible à la salinité, à partir d'une conductivité électrique de sol égale à 1,00 dS (INSID 2008), cette culture pratiquée par la plupart de nos agriculteurs; mais les agriculteurs qui ont des terres salées acceptent de la cultiver malgré la mauvaise qualité et quantité produite dans ce type de sol.

II-1-4-Pastèque

La pastèque ou melon d'eau (*Citrullus lanatus*) est une plante herbacée de la famille des cucurbitacées, originaire d'Afrique, largement cultivée pour ses gros fruits lisses, à chair rouge, jaune, verdâtre ou blanche et à graines noires. Le terme désigne également ce fruit. Le fruit pèse généralement, à maturité, entre 5 et 20 kg. La pastèque est une plante annuelle à tiges rampantes pouvant atteindre 3 mètres de long. Les feuilles, de forme générale triangulaire, sont très découpées, avec des lobes arrondis, profondément incisés mais aux sinus également arrondis. Certaines sont transformées en vrilles permettant à la plante de s'accrocher et de grimper sur des supports variés. Les fleurs, à corolle jaune pâle sont, comme sur la plupart des cucurbitacées soit mâles, soit femelles, mais toutes sont présentes sur le même pied (plante monoïque). Les fruits sont des baies particulières, des péponides, de forme sphérique, plus ou moins oblongue, de couleur vert foncé souvent marbrée de blanc.

Les pastèques aiment l'eau (leur nom anglais est d'ailleurs *water melon*) mais leurs feuilles sont petites et recouvrent peu le sol, elles n'entretiennent donc pas une humidité suffisante. Dans des sols salés la plante de la pastèque a besoin d'une quantité très élevée en eau sous forme d'irrigation, sauf si on accepte des faibles rendements.

II-2- matière organique

La mise en place des essais est réalisée le 13 février 2011 suivant le dispositif expérimental adopté.

Pour atteindre et voire l'effet de la matière organique sous forme de fumure de couverture sur notre sol salé un essai en plein champ a été conduit dans notre périmètre irrigué de la zone d'étude avec la collaboration des agriculteurs de la région; Pour notre expérimentation nous avons opté pour que l'expérimentation déroule à l'air libre vu les avantages qu'elle offre. Le matériel végétal utilisé pour cet essai est la menthe.

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.

Après épandage et malaxage de fumier (bien décomposée, bien précisément fumier ovin) avec le sol, la quantité de matière organique employée dans cet essai est de l'ordre de trois brouettes (brouette \approx 30 à 36kg) sur une planche de superficie de 6 m² (2mX3m) c'est-à-dire 60 tonnes par hectare.

On bouture les stolons de la menthe en ligne, dans des planches, à des distances de 15 à 20 cm. L'irrigation de toute la saison de la culture se fait par submersion.

La date et la dose de semi, la fertilisation et le traitement contre les maladies sont identiques pour les mêmes planches, ces mêmes techniques ont été appliquées au niveau des planches, à part l'amendement organique.

Durant cet essai, il s'est avéré que sous l'effet des amendements organiques, les propriétés physiques et chimiques du sol salé paraît améliorer.

En suivant la conductivité électrique et le comportement des plantes cultivées dans ces parcelles d'essai vis-à-vis de la salinité du sol, et n suivant l'effet de la matière organique sur la structure du sol et ces variations le long de la saison de la culture et ces répercussions sur les rendements de ces plantes en comparaison avec une parcelle "témoin" non traitée par la matière organique.

L'expérimentation de l'effet de la matière organique sur l'amélioration de la salinité et la sodicité des sols, dans des conditions naturelles où plusieurs facteurs agissent ensemble sur l'évolution de la salinité du sol reste encore mal étudiée.

Plusieurs études ont montré que la matière organique a un effet bénéfique sur l'amélioration de la conductivité électrique des sols salés, mais ces études ont été faites dans des conditions contrôlées, dans des laboratoires, mais reste encore l'exploitation de ces résultats dans le plein champ où les agriculteurs souffre de la chute de leurs récoltes dans ces sols.



Photo n° 7: la matière organique utilisée dans les essais expérimentaux

En ce qui concerne la dose de la matière organique, nous nous limiterons à dire que la dose de 3 brouettes dans chaque planche va donner les meilleurs résultats.

L'irrigation par submersion étant indispensable pour certains sols dans les régions arides, celle-ci peut, si elle est raisonnée, contribuer à résoudre le problème de l'augmentation de la salinité, mais à condition que la surface irriguée soit bien drainée.

Prélèvements du sol

Pour chaque planche d'essai, l'échantillon est prélevé (les premiers 30 cm de la surface du sol) de manière à avoir un échantillon homogène et représentatif du sol. Les échantillons sont ramenés au laboratoire dans des sacs, puis séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm pour être analysés.

Dates des prélèvements

Prélèvement	Date
P1	25 mars
P2	17 avril
P3	22 mai
P4	19 juin
P5	12 juillet
P6	13 août

II-3-Mode d'irrigation

Dans cette partie on va exposer des sols salés cultivés, par la carotte de la même variété qu'est la super Mosca, à deux modes d'irrigations différentes (irrigation par aspersion ou micro-aspersion et irrigation par submersion).

Parce qu'il est difficile d'apprécier les profils hydriques en tout point du sol, et que la répartition des sels est hétérogène, l'interprétation basée sur les mesures et les suivis de la conductivité électriques de ces parcelles le long de la période de la culture, en suivant aussi le comportement de la plante cultivée "carotte dans ce cas" face au stress hydrique.

Pou rationaliser et programmer les irrigations dans les sols salés, il faut bien connaître les effets du mode d'irrigation sur les propriétés physico-chimiques et hydriques du sol de toute la saison de la culture, surtout dans les sols salés, car tout apport excessif ou déficitaire se répercute négativement sur la production et/ou l'économie de l'eau.

Pour ce là on va suivre l'effet du mode d'irrigation sur les propriétés physiques des sols cultivées.

L'analyse des rendements de notre culture de carotte à pour but d'avoir l'effet de mode d'irrigation sur l'augmentation de la production de biomasse de cette culture et voire l'évolution de la salinité et ces répercutions sur le choix du mode d'irrigation dans nos sols.



Photo n° 8 : photo montre l'irrigation par aspersion.



Photo n° 9 : photo montre l'Irrigation par micro-aspersion



Photo n° 10 : photo montre l'irrigation par submersion.

Prélèvement du sol

La régulation et l'augmentation des rendements dans les sols salés sont directement liées à la bonne maîtrise de l'eau et du matériel végétal.

Les prélèvements des échantillons de sols cultivés en carotte dans les deux essais expérimentaux se font pendant toute la période de la culture.

La confection de la pâte nécessite au moins 300 g de terre, dans chaque prélèvement d'un échantillon on va prendre 1/2 kg de sol des parcelles cultivées par la carotte. Les deux prélèvements d'échantillons sont ramenés au laboratoire dans des sacs mentionnés, puis séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm pour déterminer la CE.

Dates des Prélèvements

Prélèvement	Date
P1	25 mars
P2	17 avril
P3	22 mai
P4	19 juin
P5	12 juillet
P6	13 août

II-4- Prégermination

Face à ces conditions on va proposer la solution de la prégermination pour produire un taux élevé de graines germées, la culture d'essai est la pastèque, cultivée sous irrigation de goutte à goutte pour avoir une irrigation continue pendant toute la saison de culture.

On fera tremper les graines dans l'eau pendant 48 heures, puis on les entoure par un tissu de coton ou de laine humidifiée pendant une semaine jusqu'à l'apparition des racines, et les feuilles cotylédonaires, puis on les sème en paquet de trois graines dans un trou de profondeur égale à trois fois l'épaisseur de la graine germée, dans la terre est déjà préparée.

L'irrigation conseillée dans ces conditions est l'irrigation goutte-à-goutte qui assure des apports d'eau continue autour des racines de nos plants de pastèques. Notre but est d'étudier les limites de toxicité des sels dans les sols de la région d'étude en ce qui concerne le taux de levée de la pastèque et l'évolution de notre culture.

La parcelle de la pastèque étudiée est de superficie d'un hectare, l'écart de semis est de 1 mètre entre les lignes et de 60cm entre les plantes.

Le nombre de graines prégermées semées dans cette superficie est de trois graines multiplier par le nombre de trous.

Dans cette essai on va calculer le taux de levée de toute la superficie de la parcelle, on compte le nombre de graines levées dans ces conditions pédoclimatiques.

Le nombre de graines prégermées utilisées dans cet essai est de l'ordre de 49800 graines prégermées. Le mode de semis employé dans cet essai est le mode en paquet avec trois graines prégermées dans un trou.

II-5- Rôle des haies brise-vent

Il faut savoir qu'une haie constituée d'arbres et d'arbustes feuillus bien denses (haie pleine sans trouée) protège une surface équivalente à 15 à 20 fois la hauteur des haies.

L'effet brise-vent a également un impact favorable sur le rendement des cultures (augmentation de 5 à 30 % par rapport à une situation sans haie).

Notre démarche est de voir l'effet de l'évolution de la salinité d'un sol clôturé par rapport à une situation sans haies.

Pour cela on va faire une comparaison de l'évolution de la conductivité électrique de deux sols salés, l'un est clôturé par une haie et l'autre nu.

On a choisi une parcelle bien clôturée par une haie brise-vent, la plante utilisée comme haie est le roseau, dense et de bonne taille (6 ans). La culture témoin pour cet essai est la pomme de terre. On va suivre le rendement de la pomme de terre dans deux situations, culture de pomme de terre clôturée par un brise-vent et une culture de pomme de terre pratiquée en condition d'absence du brise-vent.

Résultats et discussion

III- Résultats

III-1-Résultats de l'analyse du sol

III-1-1-Granulométrie

Les compositions granulométriques des quatre échantillons sont représentées par les pourcentages de l'argile, limon et le sable, et sont mentionnées dans le tableau suivant:

Tableau N°22:Composition granulométrique des quatre échantillons prélevés

E/sol	Argile (%)	Limon (%)	Sable fin (%)	Sable grossier (%)	Gravier (%)	Cailloux (%)
E1	5,90	9,77	32,61	29,5	19,02	3,02
E2	5,35	9,5	35,98	46,73	2,44	00
E3	0,46	21,01	37,36	27,73	13,42	00
E4	17,35	36,55	33,91	11,36	0,83	00

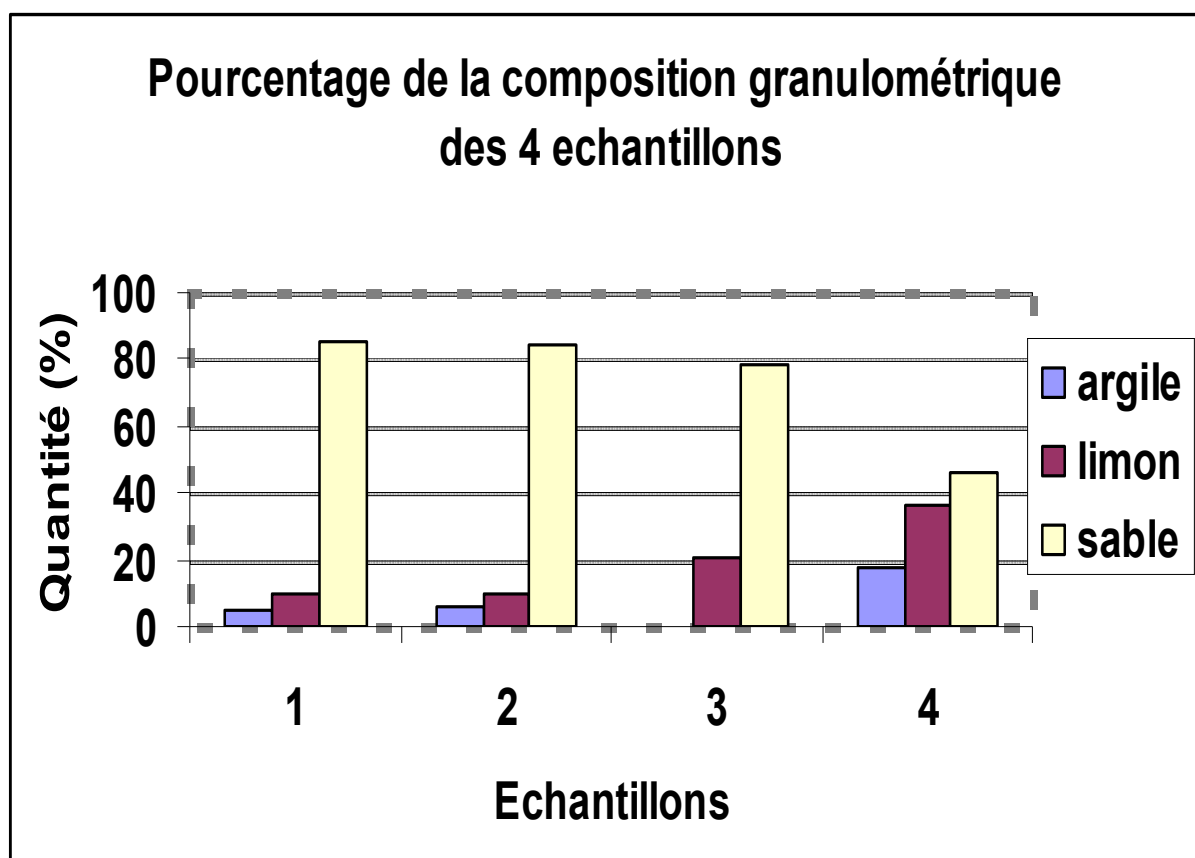


Figure n°13: Histogramme représente les résultats de l'analyse granulométrique des sols prélevés (4 échantillons)

Selon le diagramme triangulaire des textures figure n° 14, et d'après les résultats de l'analyse granulométrique, nos sols sont de textures suivantes:

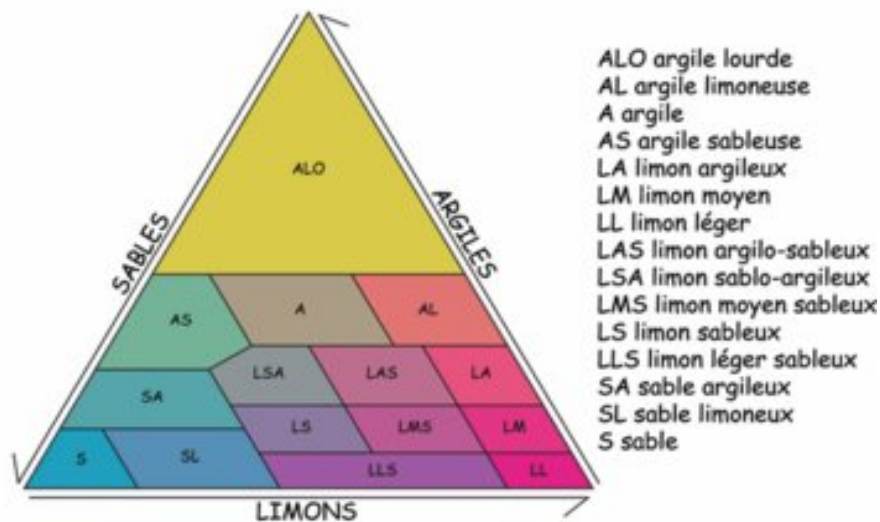


Figure N°14 : Triangle texturales

- E1 A texture sablonneuse
- E2..... A texture sablonneuse
- E3..... A texture sablo- limoneuse
- E4 A texture limono-sablonneuse

Ces résultats montrent que les sols des parcelles étudiées sont légers, et que les eaux de pluie emportent les particules fines et les sels dissous, suivant la pente jusqu'à le bas-fond de la dépression là où se trouve la sebkha.

En général, la texture est liée à la teneur en argiles, limon et sable. D'après les résultats nos quatre échantillons de sols (E1, E2, E3, E4) sont de texture sablonneuse à limono-sablonneuse; Du fait que ces éléments ont une influence sur la remontée des eaux par capillarité, provoquant une accumulation des sels à la surface; Et leurs abondance va influencer négativement sur la stabilité structurale des sols et la capacité de rétention de l'eau, toute l'eau d'irrigation, soit s'infiltrer, soit s'évaporer.

La granulométrie est dominée par les sables fins et la teneur en argile est très faible, probablement du fait de son origine éolienne.

D'une manière très abrégée, La zonation géochimique s'accompagne d'une différenciation des sols salés suivant leur position géomorphologique dans le paysage. On trouve généralement la séquence de sols suivants: les sols peu évolués d'apport 106

colluvial constituant, les sols salins non hydromorphes enfin les sols salins hydromorphes de bas de pente présents dans les bassins versants endoréiques.

La capacité de rétention de l'eau de ces sols salés est très faible avec un climat semi-aride et des vents secs rendre l'exploitation de ces sols très difficile. On peut résumer les problèmes de ces sols en trois points:

Capacité de rétention en eau très faible

Définir la classe de salinité suivant la pente

Les sols des régions arides posent d'une manière générale d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent une salure très vulnérable et sont sujets à une salinisation secondaire, ils sont très sensibles à l'érosion éolienne dès que sa couverture protectrice disparaît.

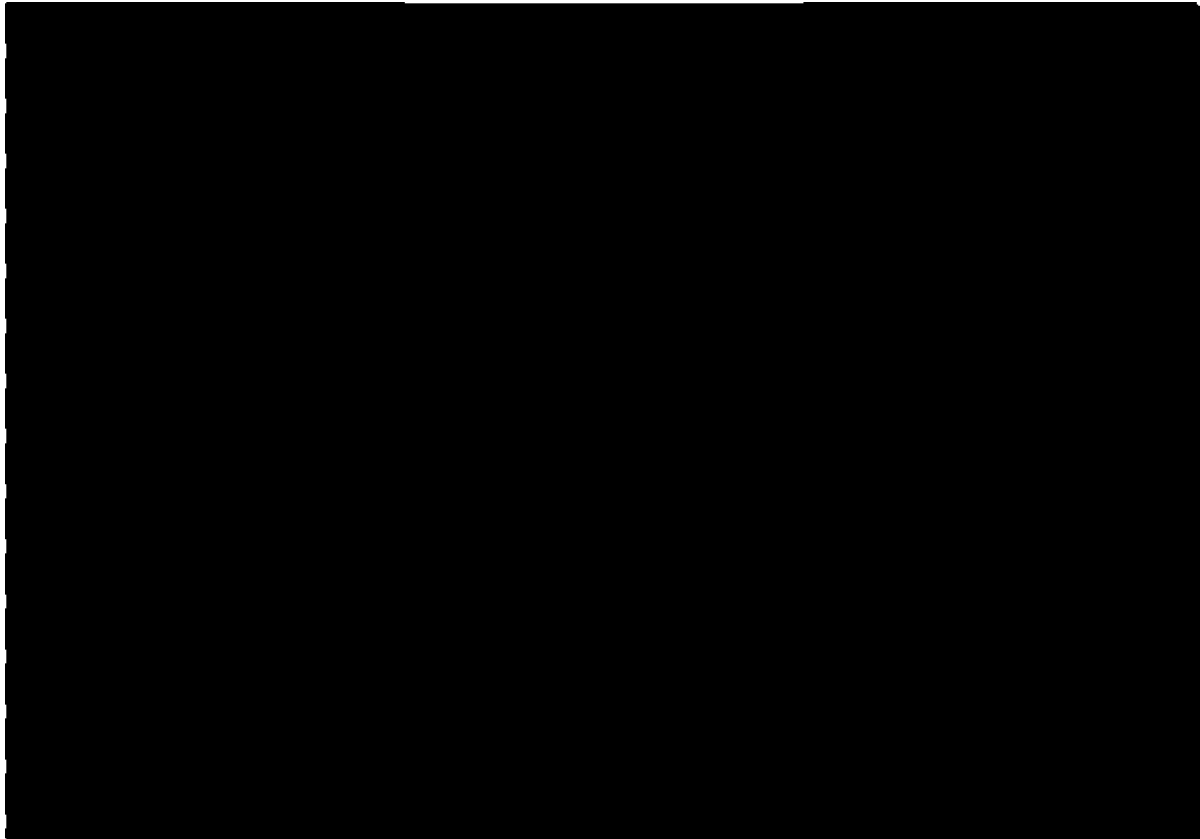


Figure N° 15: Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon N°1

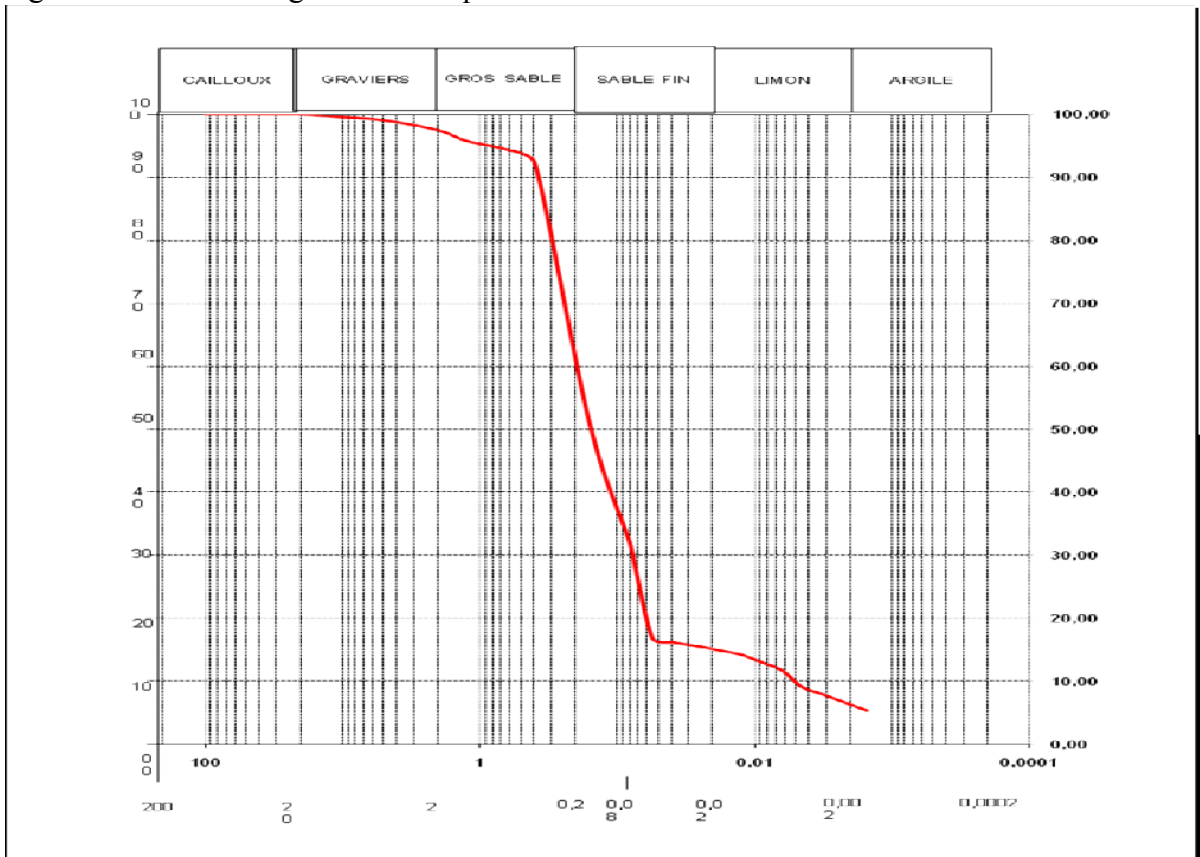


Figure N° 16: Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon N°2

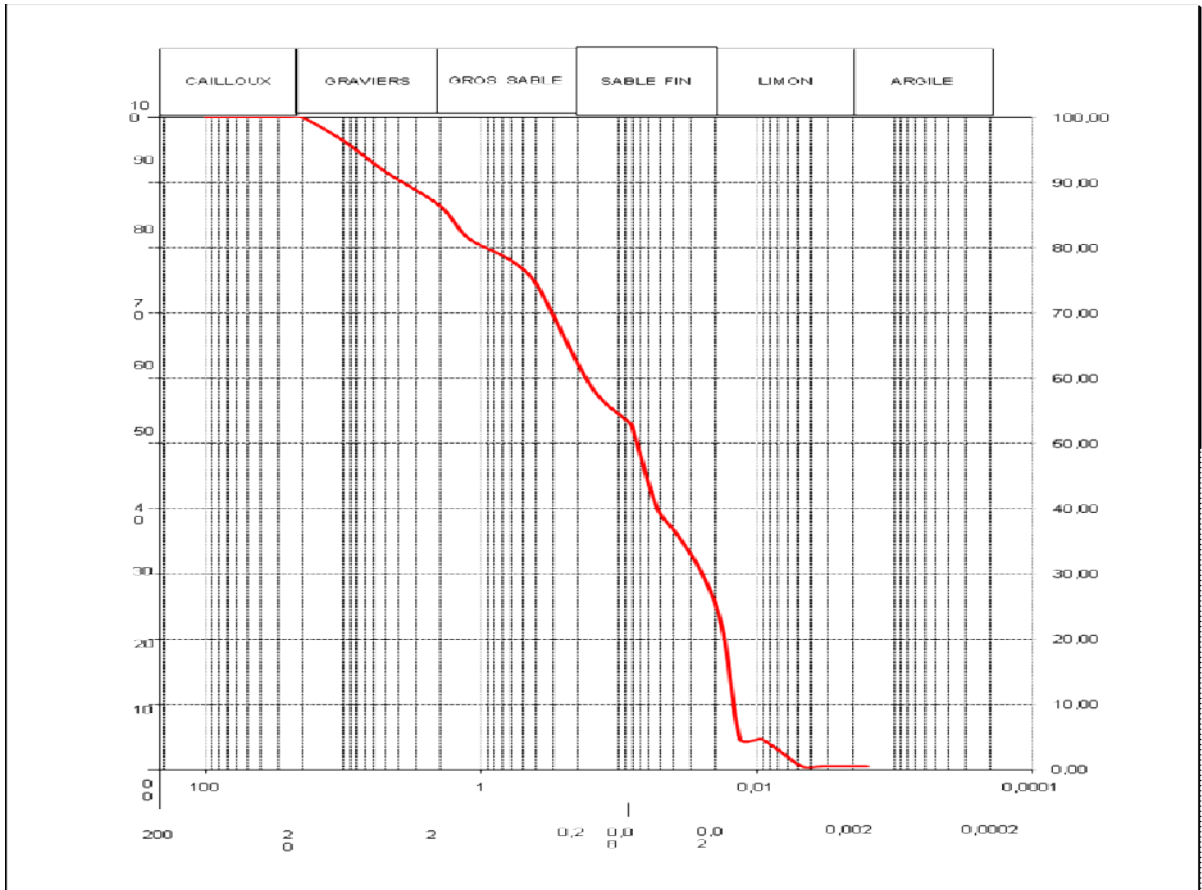


Figure N° 17: Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon N°3

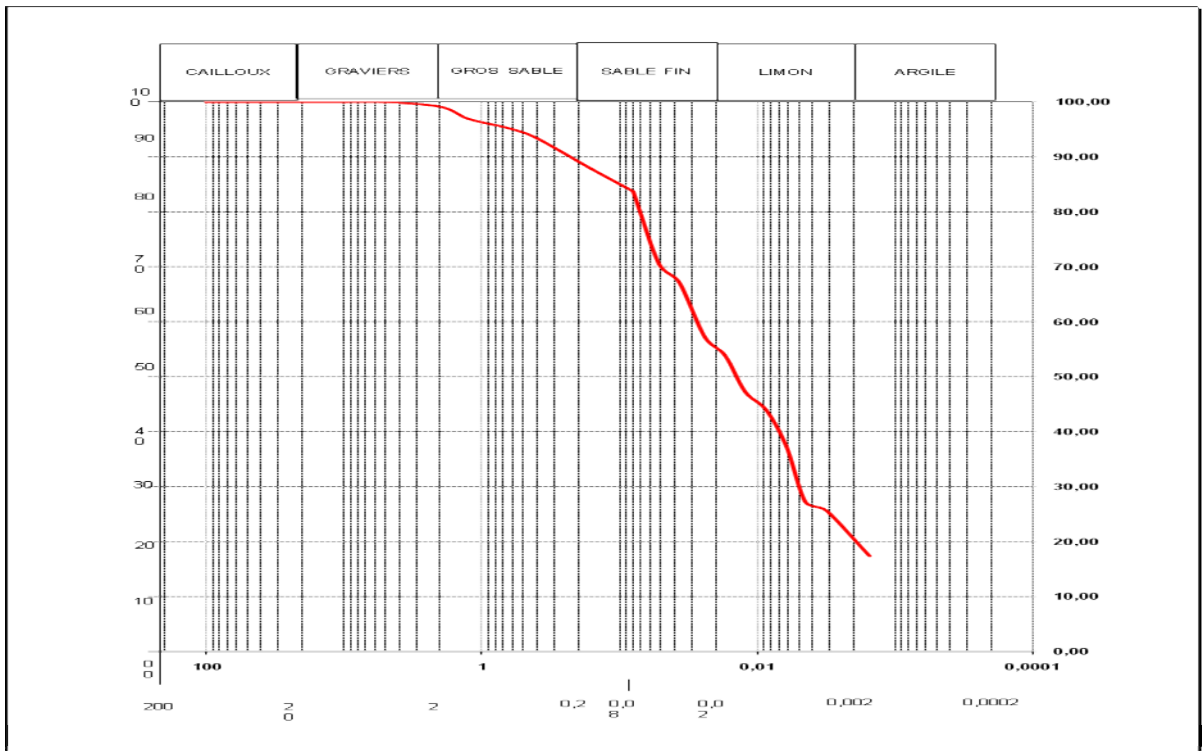


Figure N°18 : Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon N°4

III-1-2-pH et conductivité électrique des quatre sols

Une conductivité électrique de plus de 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et généralement une limite acceptable au-delà de laquelle les sols sont classés comme salins.

Tableau N°23 : Résultats obtenus de l'analyse du pH et de la conductivité électrique des quatre échantillons.

paramètre/Echantillon	E1	E2	E3	E4
pH	7,45	8,34	7,48	8,51
Conductivité (dS/cm) terre/ eau de 1/5	5,1	4,91	6,42	8,30
classes	sol salin	sol salin	sol salin	Sol très salin

Une conductivité électrique de plus de 4 dS/cm et généralement une limite acceptable au-delà de laquelle les sols sont classés comme salins.

Le tableau suivant dévoile les résultats d'analyse du pH et de la conductivité électrique (CE) de nos quatre échantillons. On remarque que les valeurs du pH sont entre 7,45 et 8,51. Ceci explique que l'alcalinité est en fonction du calcaire présent dans les sols. Aussi les valeurs de la conductivité électrique trouvées reflètent la propriété des sols allant d'un sol non salé à un sol très salé.

Les résultats du tableau montre une succession progressive de la CE de nos échantillons (E1 vers E4). Ceci est reflète par la nature de la topographie où se trouve le périmètre irrigué.

A partir de ces résultats on peut dire que les sels sont lessivés de terrasse supérieure vers la terrasse inférieure par les eaux de ruissellement.

III-1-3-Humidité résiduelle

Le tableau suivant représente les résultats de l'humidité résiduelle dans nos échantillons de sols:

Tableau n°24 : résultats de l'humidité résiduelle des sols étudiés.

Echantillons	E1	E2	E3	E4
H° résiduelle (%)	0,103	0,034	0,133	0,145

Selon HIOUANI et BENSALIM, L'humidité du sol est liée à deux paramètres, la texture et la conductivité du sol, est nos résultats de l'humidité résiduelle sont harmonisés avec la texture est la conductivité électrique. Plus le sol est lourd plus l'humidité est grande, et l'humidité tend à croître avec l'élévation de la salinité.

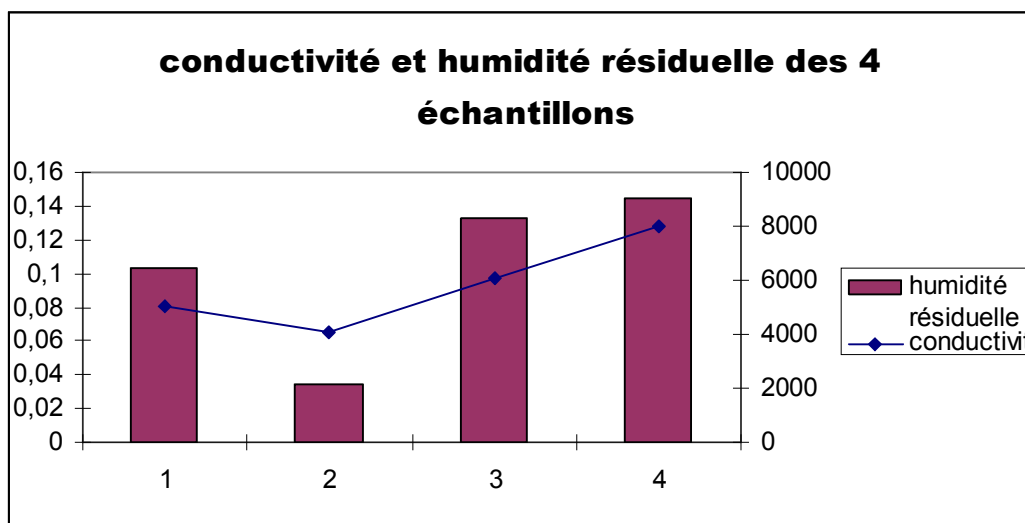


Figure n° 19: histogramme montre la corrélation entre la conductivité et l'humidité résiduelle.

L'essentiel de cette comparaison entre la conductivité électrique des sols et l'humidité du sol est pour montrer qu'il y a une corrélation entre les deux, on remarque que avec l'augmentation de la conductivité électrique est suivait par une augmentation de l'humidité du sol.

On constate que malgré la présence de l'eau dans les sols salés la plante ne peut pas utiliser cette eau, parce que cette concentration en sels empêche la plante à absorber l'eau.

III-1-4-La matière organique

Tableau n°25: les résultats de l'analyse de la matière organique total des sols étudiés:

Echantillons	E1	E2	E3	E4
Matière organique (%)	4,28	1,17	4,07	2,20

Selon D.SOLTNER la matière organique (humus) a une capacité d'adsorption des éléments chimiques (cations et anions) dix fois plus que l'argile; et sans doute, la matière organique Permet d'améliorer la stabilité structurale du sol en relançant l'activité microbienne du sol et augmentant la rétention de l'eau.

Selon les résultats de l'analyse de la matière organique, nos échantillons sont pauvres en matière organique sauf des anciens apports des agriculteurs comme amendements organiques.

III-1-5-Taux de calcaire

Le tableau suivant représente les résultats de l'analyse du calcaire total des sols étudiés:

Tableau N°26: Résultats de l'analyse du calcaire total des sols étudiés.

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4
% de calcaire total	19,54	21,01	26,88	29,39
Quantité	Forte	Forte	Forte	Forte

On conclue que les sols étudiés sont riches en calcaire total (calcaire actif et non actif), avec excès. Les teneurs en CaCO_3 évoluent de manière croissante de l'échantillon E1 jusqu'à l'échantillon E4 donc les carbonates sont en abondant qui reflètent la nature géologique de la région; et ils sont lessivés de terrasse supérieure vers la terrasse inférieure par les eaux de ruissellement.

III-1-6-Bilan ionique des quatre échantillons

Tableau N°27: résultats de l'analyse ionique des échantillons étudiés

Eléments (még/100g)/Echantillon	E1	E2	E3	E4
Ca ⁺⁺	8	9,40	12,7	11
Mg ⁺⁺	3	2,4	1,10	2,80
Na ⁺	0,43	0,24	0,91	0,52
K ⁺	0,30	0,81	0,1	1,27
SO ₄ ²⁻	/	4,11	16,49	0,66
Cl ⁻	0,071	0,142	0,142	0,213

Source: DSA, ONTA

L'existence de sédiments salifères, et l'insuffisance des pluies sont à l'origine des sols salés qui occupent les zones les plus basses de notre région d'étude. La présence de ces sels dans la solution du sol et l'apparition d'une structure dégradée, ont une influence sur les plantes cultivées, notre sol présente souvent en saison sèche en surface des lamelles peu épaisses, plus ou moins durcies, recouvrant un horizon poudreux de pseudosable, toujours mêlé de cristaux de sels, ou ce pseudosable lui-même, ou il peut être recouvert d'efflorescences cristallines blanches.

L'analyse chimique montre une variabilité de sels solubles dans nos échantillons de sols, cette variabilité est due à l'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, ... etc.

Selon G. Aubert En région aride les sels solubles se concentrent sur place ou dans les dépressions et zones basses du paysage. Parfois en zone endoréique, ils peuvent être apportés par les rivières qui viennent s'y jeter, provenant de régions bien plus humides.

Les sels solubles sont rapidement remis en mouvement dans l'ensemble du profil par la remontée de la nappe ou par phénomènes de capillarité favorisés par l'évaporation.

III-2-Résultats de l'analyse de l'eau d'irrigation

Selon les données de l'agence nationale des ressources hydrique (2011) et les analyses qu'on a faites pour l'eau d'irrigation de notre zone d'étude; les résultats du pH et de la conductivité électrique et l'analyse de sodium, calcium et magnésium et le SAR, sont mentionnées dans le tableau suivant:

Tableau N°28: résultats de pH et la conductivité électrique et l'analyse de sodium, calcium et magnésium et le SAR de l'eau d'irrigation de la zone d'étude:

N° forage/paramètres	pH	Conductivité (μS/cm)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	SAR	Faciès chimique
F1	7,95	930	70	65	55	6,7	Bicarbonaté magnésien
F2	8,2	900	83	44	38	4,77	Sulfaté magnésien
F3	9	900	75	53	40	5	Sulfaté sodique
F4	8	6200	160	452	978	51,85	Sulfaté sodique
F5	8,3	1100	104	67	90	9,74	Bicarbonaté calcique

La profondeur de la nappe phréatique, source de l'eau d'irrigation se varié entre 182m à 115m avec un niveau statique de 37m et un niveau dynamique varié entre 58m et 57m.

Selon le diagramme de la classification des eaux d'irrigation et les résultats de la conductivité et le SAR, on peut déterminer les classes des eaux d'irrigation en fonction de la conductivité et du coefficient d'absorption du sodium :

Pour les forages F1, F2, F3 : C3S1 cet eau peut être utilisée sur pratiquement n'importe quel type de sol avec un risque minimal d'accumulation du sodium à un niveau dommageable.

Pour le forage F4 : C5S4 Cet eau est généralement inadéquate pour l'irrigation (puis fermé).

Pour le forage F5 : C3S2 cet eau présente un danger appréciable d'accumuler du sodium à un niveau dommageable pour les sols ayant une texture fine et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée. Par contre, l'eau peut être utilisée dans les sols sablonneux ayant une bonne perméabilité.

Comme solutions pour faire face à la détérioration des sols par les eaux d'irrigations, on stipule ;

Qu'il faut quantifier l'effet à long terme de l'irrigation sur les propriétés chimiques et physiques du sol et sa productivité. L'irrigation favorise une exploitation continue de la terre, ce qui peut avoir des effets bénéfiques sur les propriétés du sol mais dans les normes de la qualité de l'eau d'irrigation pour assurer cette productivité donc le développement de l'irrigation peut présenter des effets négatifs. On s'est notamment demandé si l'irrigation pouvait contribuer au soutien d'une forte production agricole à plus long terme sans nuire à l'environnement.

IV-1-La matière organique

IV-1-1-Le sol non traité

IV-1-1-1-Evolution de la structure du sol



Photo n° 11 : Photo montre la dégradation du sol par fissuration après une irrigation

L'évolution d'un sol salé labouré non traité par la matière organique a montré que sa structure se dégrade plus vite après une irrigation, et que l'évaporation provoque des fontes de retraits (photo n°11). Notre sol (cultivé par la menthe) irrigué par submersion une fois tout les trois jours, après certain temps est devenu sec, compact et dur et montre une couche de sels en surface. Une grande quantité de sels solubles peut affecter aussi les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes et la stabilité structurale.

L'eau apportée par irrigation descend vers les horizons salins, provoquant la solubilisation des sels, en suite la solution du sol concentré par ces sels va monter vers la surface par le phénomène de capillarité, et sous l'effet du soleil l'eau s'évapore en laissant les sels en surface.

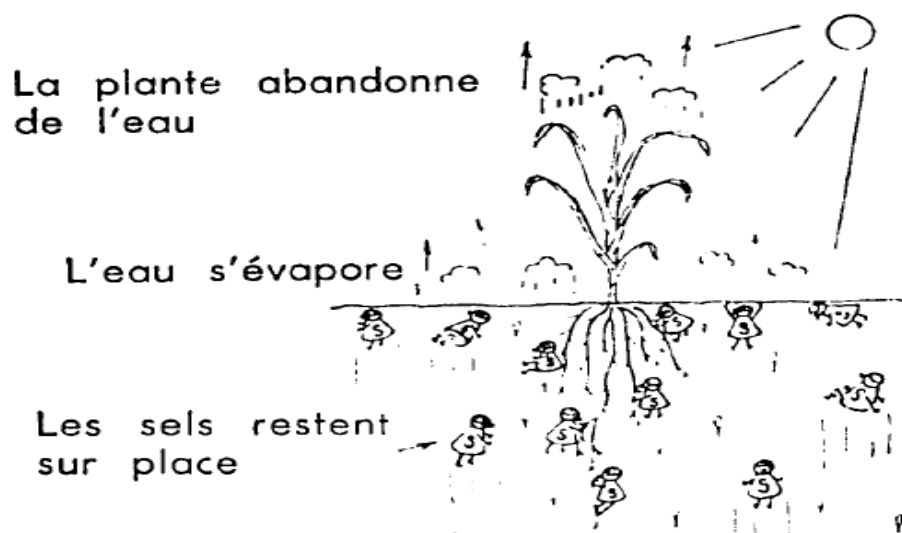


Figure n°22 : Les sels s'accablent dans le sol par le mouvement ascendant de l'eau par capillarité

Le labour profond ou le sous-solage contribue à rétablir la structure du sol salé. Ces pratiques ont une valeur très importante sur la structure du sol si on emploie en même temps un amendement organique. D'une manière générale, les pratiques agricoles contribuent à lutter contre la salinité, puisqu'elles visent deux grands objectifs : améliorer le stockage de l'eau dans les sols, et réunir les conditions édaphiques d'une bonne croissance des plantes. Des plantes en « bonne santé » résistent mieux au stress hydrique. Mais le potentiel biologique de celles-ci n'en est pas modifié, et c'est bien là l'objectif de l'amélioration génétique.

La matière organique joue un rôle important dans la gestion d'une meilleure fertilité du sol. Elle a de nombreuses propriétés qui permettent d'augmenter la fertilité du sol et d'améliorer sa structure. La matière organique retient beaucoup de substances nutritives, ce qui est particulièrement important dans les sols sableux qui en retiennent très peu. Elle retient aussi beaucoup d'eau, si bien que pendant les périodes sèches, les plantes ont plus d'eau à leur disposition et pendant plus longtemps. C'est aussi particulièrement important pour les sols salés sableux qui retiennent peu d'eau. La matière organique améliore la structure du sol. C'est important pour les sols salés, du fait de leur structure médiocre et dégradée. Enfin, elle stimule la croissance des organismes du sol, qui favorisent l'assimilation des substances nutritives de la matière organique par les plantes.

Les pratiques agricoles qui contribuent à un équilibre positif de la matière organique sont essentielles pour une bonne fertilité du sol à long terme. La balance de la matière organique doit être équilibrée ou positive, c'est-à-dire que la quantité de matière organique que l'on ajoute doit être égale ou supérieure à la quantité décomposée et donc perdue.

Les anciens agriculteurs ont compris, qu'il faut vivre avec le sel, de s'en faire un allié, un véritable élément de réussite, de s'en servir, en un mot, au lieu de le repousser,

Le problème de la salinité, n'a jamais été posé en ces termes, Il s'est imposé peu à peu à notre esprit lorsque nous avons été frappé par la chute des rendements des plantes. Dans le monde, les experts de la FAO estiment que la salinité nuit à la productivité d'environ 80 millions d'hectares de terres arables – soit à peu près la superficie d'un pays tel que le Pakistan – situées surtout dans des pays en développement chauds et secs.

Le problème de la salinité se pose lorsque le sel subsiste dans le sol lorsque l'eau regagne l'atmosphère par évapotranspiration. En générale, la mise en valeur des sols salés implique l'évacuation de l'excédent des sels solubles qu'est impossible dans notre cas, car un horizon du profil du sol en dessous alimente la surface en sels, c'est pour ça on va essayer de stopper le phénomène d'évaporation pour faire face aux sels remontés par capillarité, emmagasiner l'eau dans le sol et diminuer la concentration de la solution du sol.

IV-1-1-2- la conductivité électrique du sol témoin

Un défi important pour les prochaines décennies réside dans le fait que les environnements de production sont instables et dégradés. À moins que les politiques et les approches changent, de nombreux pays ne pourront pas réaliser une agriculture durable dans l'avenir proche.

En ce qui concerne la conductivité électrique d'un sol sableux salé, Selon une étude faite par **KOULL. N (2007)**, la matière organique a augmenté la salinité du sol grâce à la minéralisation de ces constituants organiques. La conductivité électrique croit pendant l'essai, mais elle diminue avec l'accroissement de la dose de matières organiques. C'est donc l'effet de la matière organique sur la structure du sol en améliorant le lessivage des sels dissous.

Le contrôle de la salinité de notre sol se fait dès la plantation de notre culture jusqu'à la fin de la saison de la culture, pour cela on va prendre des mesures de la conductivité électrique dans des intervalles de temps connus. Le tableau suivant montre les résultats de l'évolution de la CE de notre sol cultivé par la menthe non traité.

Tableau n°29 : résultats de l'évolution de la conductivité électrique du sol non traité par le fumier

mois	mars	Avril	Mai	Juin	juillet	août
Conductivité (dS)	4,35	5,1	6,31	6,90	7,38	8,47

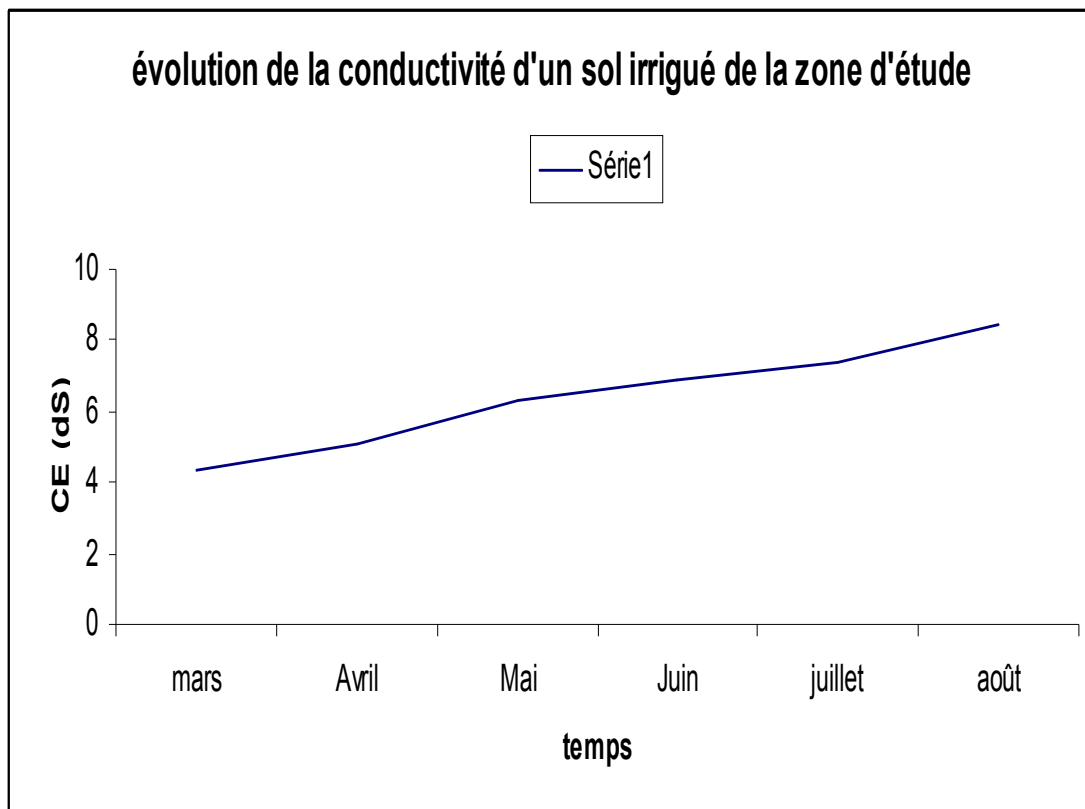


Figure n° 23: Evolution de la conductivité électrique du sol (non traité par la matière organique)

On remarque que l'évolution de la conductivité électrique du sol irrigué, est influencée par les températures, on constate que la CE du sol étudié est de l'ordre de 4,35 dS dans le mois de mars, où les températures de la région sont basses, mais avec l'entrée de la saison chaude, la CE augmente considérablement, au mois d'août la CE est de 8,47 dS. La salinité du sol de notre zone d'étude augmente avec l'augmentation de la température. Cette augmentation de la salinité est due à l'évaporation. L'eau apportée par irrigation descend vers les horizons salins, provoquant la solubilisation des sels puis ces sels montent, à cause de réchauffement du sol (texture sablonneux à limono-sablonneux) par les rayons de soleil, provoquant l'évaporation de l'eau et par conséquent augmentation de la concentration de solution du sol ou des dépôts de sels à la surface du sol.

En période hivernale la CE diminuera par la chute des températures à cause de l'absence de l'évaporation, et l'augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol vers les horizons profonds.

IV-1-1-3-le rendement

L'intérêt de l'étude de l'évolution de la structure et la conductivité électrique du sol salé, pour voire les contraintes qu'elle fasse subir la culture à la menthe, on a suivi et calculé la matière sèche produite de toute la saison de la culture de la menthe.

La menthe est fauchée quatre fois (dans certains cas plus) pendant la saison de culture.

Suivi de l'état de la culture:

- Retard de la l'apparition des premières feuilles (jeunes pousses).
- Des feuilles de petites tailles, avec une couleur de feuilles vertes

Des tiges plus courtes.

- Une odeur de la menthe très forte (bonne qualité).

Peu de stolon

- Enracinement plus développé

Le tableau suivant indique la quantité en matière sèche produite le long de la saison de culture:

Tableau n°30 : quantité de matière sèche de menthe produite dans le sol salé.

Fauche N°	date	Quantité (tonnes/ha)
1	24/04/2011	0,71
2	14/05/2011	2,24
3	21/06/2011	2,87
4	09/07/2011	2,31

Le rendement moyen dans notre sol salé est de l'ordre de 8,13 tonnes/hectare, mais le rendement moyen de la menthe dans des conditions normales, c'est-à-dire sol non salé, est de l'ordre de 20-25 tonnes/hectare; cela veut dire que l'agriculteur perd 10 à 15 tonnes par hectare de rendement de la culture dans ces conditions.

IV-1-2- Le sol traité par la matière organique

Au regard des effets négatifs liés au processus de salinisation sur l'activité agricole, si des mesures idoines ne seront pas prises il est évident que la destruction des ressources et la baisse substantielle des rendements agricoles connaîtront une progression rapide et désastreuse.

L'objectif de traiter le sol salé par la matière organique est de ramener la salinité du sol à une valeur tolérée par la culture, sans oublier ses effets sur la stabilité structurale, l'amélioration de la fertilité du sol et l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol.

Une bonne gestion de l'eau et de la matière organique, serait, une bonne solution au problème de salinité. Mais, il reste encore le problème de la forte évaporation de l'eau des sols étudiés (1361 mm à Ainsefra, et de 909 mm à Mécheria).

IV-1-2-1-Le suivi de l'effet de la matière organique sur la structure du sol

Il est bien connu qu'une fertilisation organique contribue à la mise en valeur des sols influencés par la salinité (**HENIN et al, 1969, HALITIM, 1973...**). Ces effets dépendent de la nature et de la quantité de la matière organique utilisée.

Les résultats obtenus font apparaître deux phases distinctes de l'influence de la matière organique sur les propriétés du sol :

Une première période, varie de trois à quatre mois, caractérisée par un changement rapide des propriétés du sol; une stabilité structurale remarquable, et l'absence des fentes de retrait à cause de la minimisation de l'évaporation du sol par le fumier de couverture. Dans cette période la matière organique joue un rôle d'éponge d'eau et diminue la concentration de la solution du sol et donc elle facilite l'absorption de l'eau par les plantes.

Une deuxième phase caractérisée par un recul dans les caractéristiques du sol. Ce recule est dû à la dégradation et la minéralisation de la matière organique (minéralisation primaire et secondaire) fraîche apportée (figure n° 20).

Le suivi de l'effet de la matière organique sur la structure du sol nous permet de dire que les propriétés du sol paraissent relativement corrigées.

La fertilisation organique est donc très intéressante pour les sols salés sableux en améliorant en général ses propriétés structurales et la capacité de rétention en eau du sol.

La capacité de rétention en eau du sol traité par la matière organique a présenté des différences très hautement significatives avec le sol témoin. La matière organique accroît la capacité de rétention en eau du sol pendant toute la période expérimentale, et notre sol devient gorgé d'eau après chaque irrigation et conserve son humidité.

Une observation très intéressante : absence de dépôt de sels en surface du sol.

L'apport organique va diminuer le pH du sol. Ce décroissement est dû à la libération des acides organiques des matières organiques apportées. Sans oublier l'effet de la matière organique sur la régulation de l'équilibre de la solution du sol, et la formation des chélates, qui vont séquestrer des cations métalliques comme le Na, SO₄,...ect.

On remarque l'accroissement de la capacité de rétention en eau du sol par rapport au témoin est expliqué par l'affinité des composantes de matières organiques (cellulose et acide fulvique) à l'eau. Hénin *et al* (1969) ont indiqué que l'incorporation de la matière organique dans le sol, augmente la quantité d'eau retenue et la capacité s'accroît jusqu'à 30%.

IV-1-2-2-Conductivité du sol traité par la matière organique :

La conductivité électrique permet d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous; elle ne s'applique qu'aux terres salées et aux terres à taux de fertilisation très élevé. (AUBERT, 1978).

A l'aide du suivi de la conductivité électrique on peut estimer l'effet du fumier sur l'évolution de la salinité de notre sol cultivé pendant toute la période de culture.

Le tableau suivant montre les résultats de l'évolution de la CE de notre sol traité par la fumure ovine et cultivé par la menthe.

Tableau n°31 : résultats de l'évolution de la conductivité électrique du sol traité par le fumier ovine

mois	mars	Avril	Mai	Juin	juillet	août
Conductivité (dS)	4,90	7,31	7,34	6,43	6,21	6,3

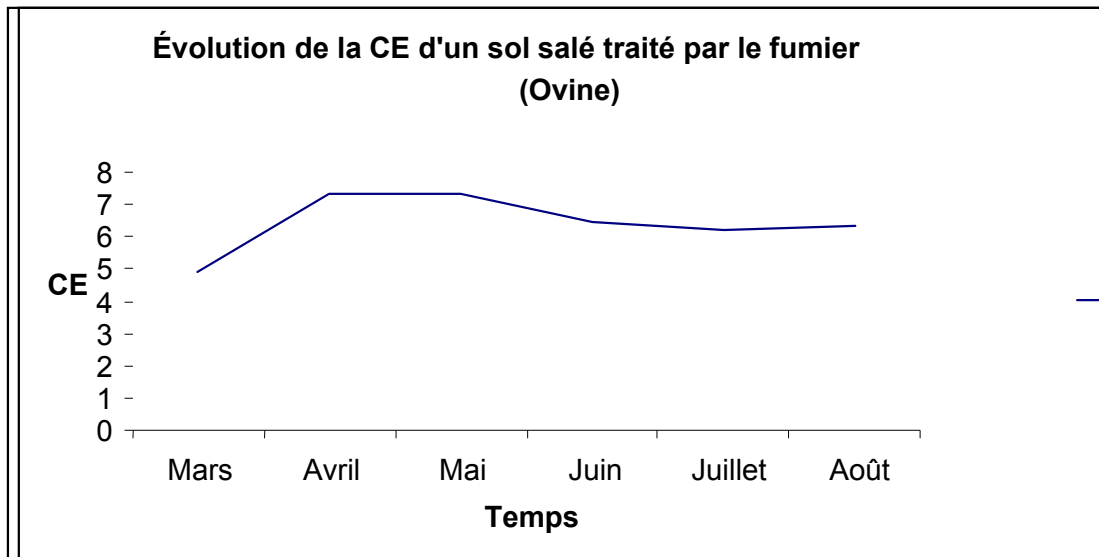


Figure n° 24: Evolution de la conductivité électrique du sol étudié (traité par le fumier)

Nous remarquons aussi que l'augmentation de la conductivité électrique est importante entre le premier et le deuxième et le troisième prélèvement ceci s'explique par une minéralisation rapide de la matière organique.

Les molécules complexes de la matière organique fraîche subissent une décomposition microbienne qui libère des composés simples le plus souvent solubles.

Une partie subit le processus de minéralisation, c'est-à-dire la transformation en composés minéraux solubles ou gazeux: " c'est la minéralisation primaire". Certains de ces composés peuvent d'ailleurs se réorganiser au cours de l'humification.

Une partie échappe à la minéralisation et sert de matériau à l'édification de molécules nouvelles, de plus en plus complexe, dont l'ensemble constitue l'humus: c'est "l'humification". Ces composés humiques contractent des liens plus ou moins étroits avec les composés minéraux (argiles et oxydes) puis ils se minéralisent à leur tour, mais plus lentement que la matière organique fraîche " minéralisation secondaire". TOUTAIN (1979) a indiqué que dans les sols sahariens, la matière organique étant détruite rapidement en climat chaud sous irrigation.

A partir du quatrième prélèvement on remarque une diminution de la conductivité de notre sol, contrairement au sol témoin qui ne cesse pas à s'accroître en période estivale ceci s'explique par une diminution de l'évaporation de l'eau du sol, par ce que le fumier joue un rôle de couverture ou mulch, qui stoppe la remontée de l'eau par capillarité.

On période hivernale une quantité de pluie importante et avec le chute des température les sels vont lessivés vers le fond qui provoque à nouveau une diminution de la conductivité électrique.

IV-1-2-3- Le rendement

Les matières organiques ont de multiples propriétés qui leur confèrent des fonctions primordiales dans les agro et les écosystèmes et en font une composante de la fertilité. Les fonctions des matières organiques participent de façon générale à l'aptitude des sols à la production végétale par l'amélioration de ces propriétés physiques, chimiques et biologiques.

La capacité du sol pour l'eau est en effet liée à la teneur en matière organique en raison de l'hydrophilie extrêmement accusée des colloïdes qui la composent (**DUTHIL, 1973**). Cette matière retient d'autant mieux l'eau qu'elle est humifiée, elle régularise le bilan de l'eau dans le sol.

Le suivi de l'état de notre culture de la menthe, dans le but de voir l'effet de fumier sur la menthe dans le sol étudié, nous a permis de voir les résultats suivants:

- Précocité de l'apparition des jeunes pousses.
- Des feuilles plus grosses, avec une coloration vert foncée.
- Une ramification plus importante.
- Précocité de la première fauche.
- Odeur moins forte.
- Emission des stolons assez nombreux.

La récolte de la menthe se fait à la faucheuse, le rendement moyen de la culture de la menthe dans des conditions normales est de l'ordre de 20-25 tonnes/hectare.

Le tableau suivant indique le rendement de la menthe dans notre sol salé de la région d'étude, amendé par le fumier ovin.

Tableau n°32: quantité de matière sèche produite par le sol salé traité par MO

Fauche N°	date	Quantité (tonnes/ha)
1	21/04/2011	1,29
2	25/05/2011	4,24
3	28/06/2011	4,87
4	23/07/2011	4,31

Le rendement de notre culture de menthe dans un sol salé de la région d'étude traité par le fumier est de l'ordre de 14,71 tonnes/hectare, on trouve que le gain de rendement, entre un sol traité par la matière organique fraîche (fumier ovin) avec un sol non traité, est de l'ordre de 6,85 tonnes/hectare.

On peut dire que la matière organique a un effet positif sur l'augmentation de rendement de la menthe en sol salé (84,25%).

IV-2- Mode d'irrigation

IV-2-1- L'irrigation par submersion

IV-2-1-1- La structure du sol

De façon générale, les caractères morphologiques du sol étudié montre une évolution très importante dès la première irrigation, on a remarqué l'apparition des fentes de retraits, qui s'explique par une dispersion des colloïdes accompagnée d'une diminution de perméabilité cette dégradation est rapide lorsque le rapport Na/ Mg + Ca échangeable dépasse 10%. Et au fur et à mesure le sol devient compact.

Avec l'augmentation des températures en période estivale, on a remarqué l'apparition d'une couche blanchâtre de sels qui ne cesse d'augmenter le long des jours chauds et surtout aux bords de la parcelle.

L'eau apportée par irrigation "grande quantité" descend vers les horizons salins, provoquant la solubilisation des sels, par la suite la solution du sol concentré par ces sels va monter vers la surface par le phénomène de capillarité, et sous l'effet du soleil l'eau s'évapore en laissant les sels en surface.

On a remarqué que l'irrigation par submersion augmente la vitesse de la décomposition de la matière organique fraîche, avec une augmentation de la compaction du sol, provoquant donc une perte de nutriments, diminution de la réserve en eau, et chute de perméabilité. On note alors que le travail du sol devient difficile avec ces problèmes.

Toutes les eaux d'irrigation contiennent du sel dissous il est extrêmement important d'analyser l'eau d'irrigation pour en déterminer la qualité. Une analyse de l'eau d'irrigation peut attirer l'attention de l'agriculteur sur deux dangers : la présence de salinité ou possibilité de formation d'un sol sodique.

Il faut indiquer ici que la salinité du sol est diminuée après chaque irrigation, puisque le lessivage des sels diminue aussi la salinité, mais avec le temps la remontée capillaire réaugmente la salinité.

L'eau est généralement abondante lorsqu'on met en œuvre un projet d'irrigation. En conséquence, on applique trop d'eau. Cet excès d'eau, souvent, fait plus de mal que de bien car il tend à relever le plan d'eau et à aggraver ainsi les problèmes.

Une trop faible quantité d'eau empêche le processus naturel de lessivage auquel les sels sont entraînés au-delà des racines de la plante.

La quantité d'eau d'irrigation fournie à un champ doit être suffisante pour compenser les pertes par transpiration et évapotranspiration des plantes et pour lessiver les sels qui se sont accumulés au cours des irrigations précédentes.

IV-2-1-2- Conductivité électrique

L'objectif du présent travail est d'analyser les réponses du sol de notre périmètre, bien précisément la conductivité électrique, à l'irrigation par submersion et l'évolution de celle-ci de tout la période de la culture du carotte.

Ce diagnostic est basé sur la mesure de l'évolution de la CE de notre sol irrigué par submersion dans ses conditions naturels.

Les résultats de l'évolution de la CE, de notre sol cultivé en la carotte, sont dans le tableau ci-dessous:

Tableau n° 33: résultats de la CE du sol étudié irrigué par submersion

mois	mars	Avril	Mai	Juin	juillet	août
Conductivité (dS)	3,91	4,31	5,34	6,43	7,21	7,3

L'étude de l'évolution de la CE dans notre sol salé irrigué par submersion, montre indiscutablement une augmentation très importante sous l'effet de la présence des sels solubilisés par les apports d'eau sous forme d'irrigation et avec l'augmentation des températures favorisant l'évaporation et par conséquent la remontée des sels.

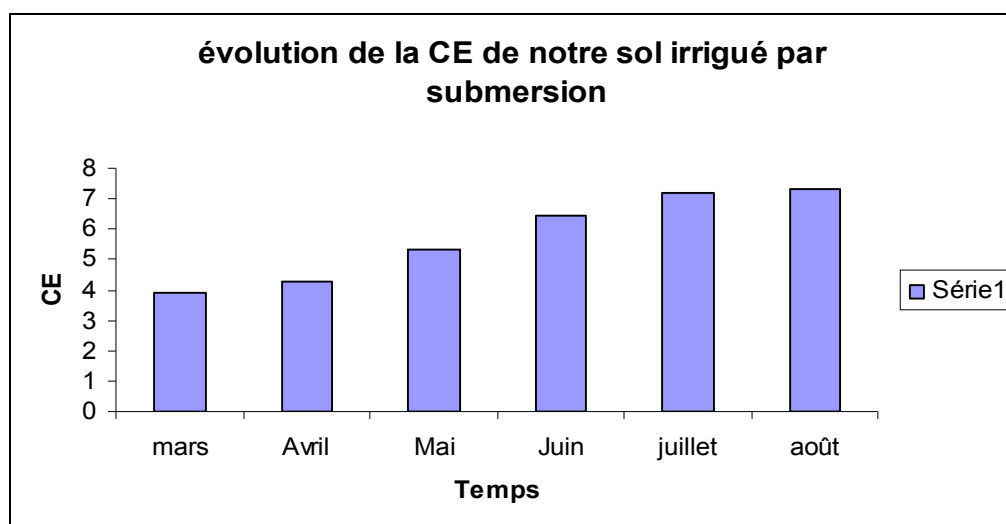


Figure n° 25: Evolution de la CE du sol étudié irrigué par submersion

Cette augmentation de la CE à des répercussions sur la structure du sol par l'augmentation de la concentration de la solution du sol, qui affirme la dégradation de la structure de notre sol.

Il faut mentionner que notre sol à un ou des horizons en profondeurs très salés, source de sels présentent à la surface, et on peut dire que les 20 cm premières de notre sol sont modérément salées par rapport au profondeur.

IV-2-1-3- Le rendement

La pratique d'une irrigation efficiente, combinée à de bonnes pratiques culturales, peut prévenir et, dans certains cas, réduire la salinisation.

L'irrigation diminue les flux d'eau sans diminuer les flux de sels, elle génère donc un processus de concentration des sels.

Un apport d'eau supplémentaire ; cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. L'eau pure est perdue par évaporation mais les sels restent et s'accumulent.

L'eau utilisée sous forme d'irrigation par submersion dans notre essai, est relativement pauvre en sels, cela n'exclut pas le dépôt d'une quantité très importante de sels sur le sol.

Il faut dire que dans ce type d'irrigation on a remarqué une levée hétérogène avec une dispersion des plantes plus ou moins condensées aux bords des planches.

L'irrigation par submersion peut provoquer l'asphyxie des jeunes plants.

La grande quantité d'eau utilisée lors de l'irrigation a provoqué la compaction de notre sol.

Le rendement moyen de notre culture de carotte irrigué par submersion est de l'ordre de 2,53 kg/m² c'est-à-dire 25,3 tonnes/hectares.

Le goût des carottes récoltées est sucré, mais présente une dureté qui s'explique par la non disponibilité de l'eau à cause de l'augmentation de la pression osmotique dans le sol. On a remarqué aussi un développement remarquable des racines secondaires chez les plantes irriguées par ce mode d'irrigation.



Photo n° 12: photo d'une carotte de la 10ème semaine, qui présente des racines secondaires

La salinité de surface, peu gênante pour les plantes tolérantes, peut par contre constituer un facteur limitant pour les autres cultures sauf si on procède à un arrosage fréquent et abondant. Dans le cas où la salinité est en profondeur, l'exploitation intensive de l'eau comme notre essai, la remontée des sels entraîne une salinité insupportable pour maintenir une productivité élevée comme le cas du carotte où la partie consommable de cette plante est en contact directe avec les sels.

IV-2-2- Irrigation par aspersion

IV-2-2-1- La structure du sol

Afin d'étudier l'influence des systèmes d'irrigation par aspersion et la microaspersion sur l'évolution de la salinité du sol et ses répercussions sur le rendement de la carotte, on a suivi l'effet de ce mode d'irrigation sur la structure de notre sol salé, Les résultats montrent une bonne homogénéité de la répartition de l'eau pour les deux modes, en raison d'une pression suffisante et d'un bon recouvrement entre les asperseurs.

Sur l'ensemble du cycle cultural, La gestion optimale de l'irrigation par aspersion suppose une adéquation entre la satisfaction des besoins en eau de la culture et la maîtrise du système d'irrigation.

Cette adéquation entre les besoins de la culture en eau et la gestion de la salinité du sol demeure un objectif à atteindre.

Le moyen de déplacement des minéraux dans et entre les horizons du profil du sol se fait par les mouvements ascendants et descendants de l'eau dans le profil du sol. L'étude pédologique de notre sol a montrée que la salinité de notre sol provient des horizons de la profondeur. De ce fait il faut stopper la remonter de l'eau ou utiliser une quantité d'eau suffisante pour notre culture et qui n'arrive pas aux horizons salins qui se trouve en profondeur (20-30 cm).

La performance d'un système d'irrigation pour un sol salé est souvent évaluée par deux paramètres; Le premier est en fonction des besoins de la culture en eau et le deuxième en fonction de l'évolution de la salinité du sol.

Les observations de terrain de l'évolution de la structure du sol ont montré que le sol garde sa structure, sans apparition des fentes de retraits, et on a remarqué aussi l'absence du tassement du sol.

Cela s'explique par une absence de la remontée des sels qui se trouve dans les horizons profonds. La quantité d'eau utilisée pour l'irrigation par aspersion est suffisante pour les besoins de la culture avec une distribution homogène de toute la surface du sol avec une minimisation de l'érosion du sol.

L'apport en continu et à faible dose de l'eau d'irrigation permet de maintenir une saturation du sol en surface, ce qui semble faciliter l'absorption de l'eau par les plantes et s'opposer au retrait (fissures peu nombreuses).

Malgré les modifications structurales sous irrigation par aspersion on a constaté que dans ces conditions pédoclimatiques l'irrigation par aspersion permettent à ce sol de garder un important système macroporal pour le lessivage des sels, évitant leur salinisation en surface et minimisant aussi la remontée des sels par capillarité.

IV-2-2-2- La conductivité électrique

La programmation et le mode d'irrigation sont des facteurs qui influencent l'évolution de la conductivité électrique du sol salé.

L'eau d'irrigation est appliquée aux cultures selon des programmes prédéterminés, basés sur la gestion de:

- L'état de l'eau dans le sol;
- Les besoins en eau des cultures.

Le mode d'irrigation est l'un des facteurs qui influence la viabilité agronomique et la viabilité économique des petites exploitations, aussi important pour économiser l'eau que pour accroître les rendements des cultures.

Le type et la nature de sol et les conditions climatiques ont un effet significatif sur les principaux aspects pratiques de l'irrigation.

D'une manière générale, l'eau d'irrigation s'évapore de la surface du sol, mais les sels restent et s'accumulent et pour contrôler le niveau de salinité dans la zone racinaire, on a effectué de fréquentes observations avec échantillonnage du sol, qui permettront de déterminer en laboratoire la conductivité électrique de l'extrait de sol.

Les résultats des calculs de la conductivité de notre sol irrigué par aspersion sont au tableau suivant:

Tableau n° 34: résultats de la CE du sol étudié irrigué par aspersion

mois	mars	Avril	Mai	Juin	juillet	août
Conductivité (dS/m)	3,36	3,52	4,34	4,43	4,81	5,32

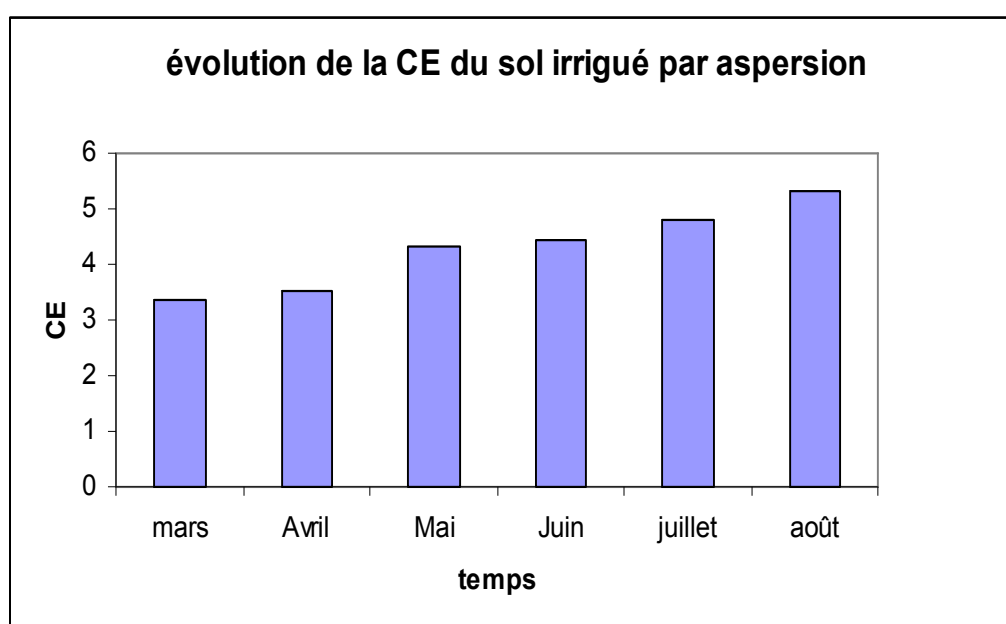


Figure n° 26: Evolution de la CE du sol étudié irrigué par aspersion

Le suivi de la CE de la solution de notre sol irrigué par aspersion a montré une augmentation de la CE de 1,94 dS/m. L'accumulation de sel en sol irrigué par submersion est 17 fois plus par rapport à un sol irrigué par aspersion.

Les besoins en eau d'une culture, pendant une période donnée, sont définis comme étant la quantité d'eau nécessaire pour satisfaire l'évapotranspiration (ET). (Doorenbos et Pruitt, 1977). Pendant cette période, dans des conditions de stress salin la culture a besoin d'une quantité d'eau élevée pour satisfaire leurs besoins et produire plus de biomasse et par conséquent; augmenter les rendements.

Le niveau de salinité dans la zone racinaire est lié à la quantité de l'eau qui se trouve dans la solution du sol surtout en profondeur (où se trouve les Horizons salins); La dose nécessaire en eau pour l'irrigation des cultures dans ces conditions de salure doit éviter une remontée des sels de la profondeur.

Le mode d'irrigation par aspersion est convenable à ce type de sol salé dans ces conditions climatiques semi-arides.

IV-2-2-3- Rendement

Le lessivage est particulièrement nécessaire pour préparer le sol pour des cultures à haute densité de semis, telles que les carottes, la pluviométrie hivernale de la région assure un bon lessivage des sels.

Le lessivage des sels dans la couche supérieure est particulièrement important, car les plantes sont sensibles à la salinité durant les premiers stades de leur croissance.

La tolérance des cultures est le degré de salinité d'un sol salin, dans lequel une culture peut croître et avoir un rendement acceptable. La réaction de différentes cultures à la salinité est très variable. Certaines peuvent tolérer moins de 2dS/m et d'autres jusqu'à 8dS/m et au-delà. La tolérance au sel dépend aussi considérablement des conditions culturales et des pratiques de gestion de l'irrigation. Beaucoup d'autres facteurs, tels que la plante, le sol, l'eau et le climat, peuvent interagir pour influencer la tolérance en sel des cultures.

Dans ces conditions de salure de notre sol du périmètre irrigué, on a calculé le rendement moyen de la carotte (plante sensible à la salinité), dans les deux essais :

Irrigation par aspersion : le rendement moyen est de l'ordre de 3,56 kg/m² c'est-à-dire 35,6 tonnes/hectare.

Irrigation par microaspersion: le rendement moyen est de l'ordre de 3,84 kg/m² l'équivalent de 38,4 tonnes/hectare.

Les carottes récoltées sont moins sucrées par rapport à celles récoltées en mode d'irrigation par submersion. Mais la biomasse des carottes de l'essai irrigué par aspersion est plus importante à celles de l'essai irrigué par submersion.

De cet effet le rendement de la culture de la carotte irrigué par aspersion a augmenté considérablement dans ces conditions pédo-climatiques, et on a une augmentation du rendement égale à 10,3 tonnes/hectare.

IV-3- Prégémination

Une pratique excellente, qui tend à se répandre de plus en plus en agriculture, est celle de faire germer les graines de semences ou les plants avant de les confier à la terre. Chacun sait que, pour germer de façon convenable, les graines mises en terre doivent avoir un excellent pouvoir germinatif et recevoir en outre les principes nutritifs nécessaires, de la chaleur et de l'humidité à doses convenables.

La salinité affecte tous les processus physiologiques de la plante. Son effet se traduit, notamment, par une réduction de l'absorption de l'eau par la graine "imbibition" et une toxicité provoquée par l'excès de sels causant la mort des germes des graines.

Le taux de germination, en conditions de stress salin, donne toujours une tendance plus ou moins précise du comportement de la plante étudiée.

IV-3-1- Taux de levée des graines prégermées

L'augmentation de la salinité du sol affecte tous les processus physiologiques de la plante. Son effet se traduit, notamment, par une baisse de taux de germination. La salure dans le milieu de culture produit une augmentation du potentiel osmotique de ce milieu. En réalité dans une certaine mesure, la plante ajuste la concentration de sa solution interne, quoique avec un certain retard. Mais cet ajustement, ne peut évidemment pas compenser totalement l'effet de la salinité d'où une réduction de la turgescence des cellules et une baisse du taux de germination et un retard de croissance.

Dans les zones à risques de salinité moyens et importants, la méthode de prégermination des semences limitera fortement la mortalité due aux sels dans la phase de germination. Il conviendra pendant la phase de levée (période de forte sensibilité du plant) d'éviter tout à sec prolongé de la parcelle. Cette technique permettra à la plante de développer des racines pour pomper de l'eau et faire face à la salinité de la solution du sol.

La capacité qu'à une espèce ou une variété végétale donnée de germer et d'établir leur plantule est souvent le facteur limitatif en matière de production agricole ; en milieu salin, cette phase du cycle vital de la plante peut être la phase critique. Les eaux et les sols salins peuvent agir de deux façons sur la germination :

- a) il peut y avoir assez de sels dans le milieu où se trouve la graine pour augmenter la pression osmotique de la solution du sol au point de retarder ou d'empêcher l'absorption de l'eau nécessaire;
- b) certains sels ou ions qui s'y trouvent peuvent être toxiques pour l'embryon et la plantule.

La tolérance d'une plante à l'égard de la salinité peut donc être faible à l'état jeune, et fort quand la plante est << installée >>. C'est le cas de la luzerne, des maïs...etc.

Le suivi de taux de levée des graines prégermées de la culture de la pastèque nous permet à comprendre l'avantage de cette technique.

Résultats :

On a observé qu'au bout d'une semaine l'apparition de 89,52 % des premières feuilles des graines prégermées, de tout la parcelle cultivée, si la salinité est excessive on va avoir une mortalité très importante des graines prégermées mais avec l'irrigation localisée par goutte à goutte l'humidité autour des racines dilue la pression osmotique qui facilite l'absorption de l'eau par les racines émises par les graines prégermées.

La graine prégermée doit se gorger d'eau pour continuer leurs stades de développement. Elle a donc besoin d'une quantité d'eau importante dans ce stade; et

avec l'irrigation par goutte à goutte on peut fournir à la graine prégermée l'eau nécessaire pour le tout début de sa levée qui se fait dans de bonnes conditions.

Pour éviter toute intoxication par la salinité du jeune plan (stade de sensibilité très élevé), il est préférable d'éviter tout à sec pendant cette période.

La technique de prégermination des semences sera alors très fortement conseillée pour les agriculteurs qui ont des sols salés qui diminuent le taux de germination des graines.

IV-4- Rôle des haies brise-vent

La zone d'étude est caractérisée par des vents violents, et une sécheresse qui peut durer neuf mois, parfois plus. Selon Benabadji.N et Bouazza.M, les vents de la région provoquent le dessèchement des sols en entraînant une forte évaporation par capillarité essentiellement dans la région où l'on remarque une forte concentration des sels en surface.

Les haies brise-vent agissent également pour limiter les pertes d'eau utile par évaporation et assèchement des sols par évapotranspiration des plantes.

L'évaporation et l'assèchement des sols par les vents provoquent la remontée capillaire des sels qui vont provoquer l'augmentation de la salinité du sol.

IV-4-1-Evolution de la conductivité d'un sol clôturé par une haie brise-vent

Tableau n° 35: résultats de la CE du sol clôturé par une haie brise-vent

mois	mars	Avril	Mai	Juin	juillet	août
Conductivité (dS/m)	3,36	3,43	3,88	4,36	4,29	4,69

L'évolution de la conductivité électrique du sol clôturé par un brise-vent sous les conditions pédoclimatiques de la région d'étude montre une augmentation de 1,33 dS/m. au contraire d'un sol non clôturé qui subit une évolution très important de la CE qui peut atteindre 3,5 dS/m.

La comparaison de la CE d'un sol sans brise-vent avec un sol clôturé par un brise-vent est démontrée dans la figure suivante:

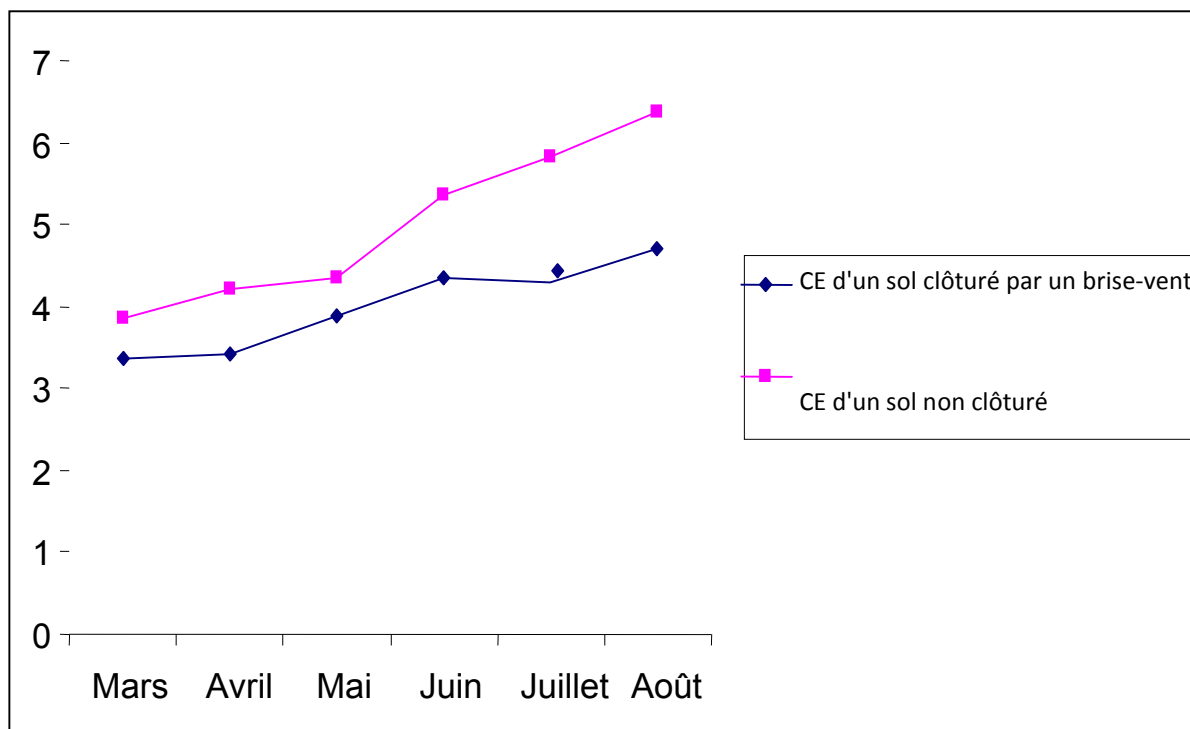


Figure n°27: comparaison de la CE de deux sols, l'un clôturé par brise-vent et l'autre sans brise-vent

D'une manière générale, la fréquence des vents dans la région est importante sur l'ensemble de l'année, et s'établit à une moyenne de 18 jours par mois. Les vents dominants sont de direction Nord et présentent les mêmes traits généraux, que l'on se situe dans la zone de plaine (représentée par la station de Naâma).

En conclusion, on retient que les vents, au niveau de cette région sensible et fragile sur les plans physique et naturel, constituent une contrainte à plusieurs égards, car ils :

Favorisent et activent le processus de l'érosion des sols (érosion éolienne) et de désertification ;

Contribue au processus d'ensablement (transport de sable et formation de dunes au contact d'obstacles naturels ou artificiels) ;

Réduisent le taux d'humidité de l'air et par conséquent augmentent l'assèchement du sol et l'évapotranspiration des plantes.

La perte d'eau par le sol ou par les plantes au travers des stomates est colossal surtout dans des sols salés.

Afin de réduire ces effets négatifs, il est impératif d'opter pour des solutions adéquates, principalement des brise-vent.

IV-4-2-Rendement de la pomme de terre :

La pomme de terre est une plante sensible à la salinité et son niveau de tolérance varie de 1, 5 à 2 g/l de NaCl. À la concentration de 3 g/l, ce sel diminue de 50 % la croissance de la plante (Maas, 1986).

A fin d'améliorer la production de la pomme de terre en sol salé on a calculé le rendement moyen de la pomme de terre de saison dans deux sols salés, l'un est clôturé par un brise-vent et l'autre sans brise-vent:

Le rendement de la pomme de terre dans l'exploitation qui présente un brise-vent est de 24 tonnes/hectare, avec des tubercules de qualité moyenne.

Dans des conditions d'absence de brise-vent on a trouvé un rendement moyen de l'ordre de 19, 29 tonnes/hectare.

Selon l'étude de l'évolution de la salinité du sol dans les deux cas (figure n°27), le brise-vent a diminué l'augmentation de la concentration des sels qui réduit le nombre d'yeux à la surface de l'épiderme du tubercule,

Toutefois, le phénomène de fissuration n'a pas touché les tubercules des deux essais.

La gestion de l'eau, cet élément fondamental pour la conduite efficace d'une agriculture durable. Toutes les cultures ont besoin d'eau pour vivre et donner leur pleine mesure à la récolte.

Les haies, toujours en réduisant la vitesse du vent, procurent des conditions favorables à la croissance des plantes. Il a été démontré en laboratoire que l'effet desséchant et agressif d'un vent violent pouvait créer des lésions microscopiques à la surface des cellules végétales. Si le vent est accompagné de poussières de toutes sortes, le problème est magnifié d'autant. Lorsque c'est le cas, la plante accuse un retard de croissance parce qu'elle gruge dans ses propres réserves d'énergie pour se refaire une santé. Ce faisant, ses rendements s'en trouvent diminués. Donc, pour obtenir une même quantité de produits, on doit opérer sur de plus grandes surfaces avec toutes les conséquences que cela peut avoir, globalement, sur l'environnement et l'énergie requise pour l'exploiter.

Aux États-Unis, en Europe de l'Est comme de l'Ouest, en Afrique, en Océanie et en Asie, on a mesuré des augmentations de rendements de l'ordre de 5 à 10 % dans les cultures céréalières, de plus de 10% pour les plantes protéagineuses et de 15 à plus de 20% dans certaines productions horticoles légumières et fruitières (UQCN).

V- L'interprétation statistique des résultats

Les traitements statistiques sont faites à l'aide du logiciel MINITAB

V-1- Corrélation entre la CE et l'humidité résiduelle du sol

Corrélation (Pearson)

Corrélation de CE et H = 0,788; Niveau de p = 0,212

Il existe une corrélation significative positive entre la conductivité électrique et l'humidité résiduelle.

La corrélation entre la CE et l'humidité résiduelle s'explique par l'augmentation de la concentration de la solution du sol, c'est-à-dire l'augmentation de la conductivité électrique est suivie par une augmentation de l'humidité du sol dans ces conditions pédoclimatiques.

V-2- Corrélation entre l'humidité résiduelle et la matière organique du sol

Corrélation (Pearson)

Corrélation de M.O et H = 0,558; Niveau de p = 0,442

Il reste aussi une corrélation significative entre la matière organique et l'humidité du sol, cette corrélation se traduit par la capacité de la matière organique de retenir l'eau.

V-2-3- Corrélation entre l'humidité résiduelle et le pourcentage du sable du sol

Corrélation (Pearson)

Corrélation de H1 et somme = -0,892; Niveau de p = 0,108

Il existe une corrélation significative négative entre l'humidité résiduelle et le pourcentage du sable du sol, Elle traduit par l'incapacité du sable à retenir l'eau.

Pour confirmer les résultats relevés au niveau des parcelles ayant subies les différentes pratiques culturales, nous avons procédé à l'application de tests statistiques relatifs à la comparaison des moyennes.

V-2-4- Test de calcul de l'intervalle de confiance pour la différence entre les moyennes (Menthe)

Données statistiques:

Rendement de la menthe:

	Rendement (Menthe traitée par MO) (tonnes/ha)	Rendement (Menthe non traité) (tonnes/ha)
Fauche 1	1,29	0,71
Fauche 2	4,24	2,24
Fauche 3	4,87	2,87
Fauche 4	4,31	2,31

Rendement des cultures (menthe, pomme de terre, carotte):

culture	Rendements (tonnes/ha)	Témoins (tonnes/ha)
menthe	17,41	6,85
carotte	38,4	25,3
Pomme de terre	24	19,29

1-Test t et intervalle de confiance pour données appariées

Résultats de la fenêtre Session "MINITAB"

Test t pour données appariées pour menthe1 - menthe2

	N	Moyenne	Ecart-type	ESMoyenne
menthe1	4	3,677	1,616	0,808
menthe2	4	2,033	0,926	0,463
Différence	4	1,645	0,710	0,355

95% IC pour la différence des moyennes : (0,515; 2,775)

Test t de la différence des moyennes = 0 (contre non = 0) : Valeur de t = 4,63 Niveau de p = 0,019

Comme l'intervalle de confiance pour la différence entre les deux rendements n'inclut pas zéro, cela suggère une différence entre eux. La faiblesse de la valeur de p ($p = 0,019$) renforce l'interprétation que les données ne sont pas conformes à $H_0 : m_1 = m_2$, c'est-à-dire que la menthe traitée et non traitée ne donnent pas les mêmes résultats. Plus précisément, la menthe ayant subi un amendement organique (moyenne = 3,677) a donné de meilleurs résultats par rapport à la menthe non traitée (moyenne = 2,033).

2-Test t et intervalle de confiance pour 2 échantillons

T à deux échantillons pour Rendements (tonnes/ha) en fonction de Témoins (tonnes/ha)

	N	Moyenne	Ecart-type	ESMoyenne
Rendemen	3	26,6	10,7	6,2
Témoins	3	17,15	9,41	5,4

95% IC pour mu Rendement - mu Témoins: (-13,4; 32,3)

mu du test t Rendement = mu Témoins (en fonction de non =): $T = 1,15$
 $P = 0,32$ DL = 4

Les deux utilisent Ecart-type de regroupement = 10,1.

Au seuil de signification $\text{Alpha}=0,050$ on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes. Autrement dit, la différence entre les moyennes n'est pas significative. Puisque ($t_{obs}= 0,32$) < $t_{theor}= 2.353$) (t_{theor} valeur lue à partir de la table de Student)

C'est-à-dire, l'utilisation des pratiques culturales (matière organique, choix de mode d'irrigation, l'utilisation des brise-vent) influent sur l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés.

VI- Discussion

La zone d'étude est une zone d'accumulation des sels, dont le Mekmen joue un rôle agropastoral majeur : La configuration géographique, la topographie et les conditions climatiques de la zone d'étude sont les facteurs déterminants des phénomènes et processus pédogénétiques qui ont permis la formation des sols salés, en majorité hérités, dans une cuvette de remblaiement.

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 agricoles appropriées.

L'évaluation et le suivi de la conductivité électrique de nos sols à permis d'étudier la salinité des sols en fonction de leur évolution dans le temps, les résultats prouvent que la salinité devient de plus en plus importante au fil de l'année de culture suivant l'augmentation de la température.

Ces effets négatifs sur le sol ont été constatés sur le terrain lors de notre suivi, où nous avons relevé une apparition d'une couche de sel en surface du sol.

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

HENIN *et al.* (1969), qui pensent que l'excès de sodium provoque le gonflement de la terre et sépare les particules argileuses.

RICHARD (1954), qui souligne les facteurs qui régissent la diminution de la perméabilité sont, le gonflement et la dispersion des argiles.

AUBERT (1986), 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 pour la plante diminue au fur et à mesure que la concentration de la solution du sol devient importante. Cela se traduit sur le plan pratique la nécessité d'augmenter la fréquence d'irrigation.

LEGROS J.P (2007), qui souligne une corrélation étonnante, entre le degré de salinité d'un sol (appréciée globalement et tous sels confondus par sa conductivité électrique) et le rendement agricole. Au-delà d'un seuil de conductivité assez bas, la récolte va diminuer régulièrement avec la salinité.

Les pratiques agricoles qui contribuent à un équilibre positif des critères physico-chimiques des sols salés sont l'objet de cette étude afin d'optimiser les rendements des plantes cultivées dans ces conditions pédoclimatiques.

La gestion des terres salinisées exige une combinaison de pratiques agronomiques spécifiques dépendant d'une définition précise des conditions basées sur une étude préalable détaillée et complète des caractéristiques du sol, de la qualité de l'eau et des conditions locales, incluant le climat, et les cultures. Les résultats des rendements obtenus des plantes modèles pour cette étude prouvent une amélioration de rendement des plantes sensibles à la salinité dont :

- Une augmentation de 6,85 tonnes/hectare du rendement de la menthe traitée par le fumier par rapport au sol témoin.
- Une augmentation de 10,3 tonnes/hectare du rendement de la carotte irriguée par aspersion par rapport au sol irrigué par submersion.
- Un taux de levée des grains de la pastèque égale à 89,52 % par l'utilisation du mode de la prégermination.
- Une augmentation de 4,71 tonnes/hectare du rendement de la pomme de terre clôturée par brise-vent par rapport à une culture sans brise-vent.

À partir des résultats de ce travail, on peut dire que les pratiques agricoles (fumier, mode d'irrigation par aspersion, prégermination et les haies brise-vent) ont une influence très importante sur l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés.

On peut confirmer que les pratiques culturales sont un élément déterminant de la production agricole dans des conditions hostiles tel que le notre et elles sont conditionnées par le contexte pédoclimatique. Elles apparaissent de plus en plus centrales par rapport aux questions environnementales et de durabilité de l'agriculture raisonnée.

Conclusion générale et perspective

L'amélioration durable de la productivité agricole en sols salés est aujourd'hui un objectif qu'il faut atteindre pour motiver les agriculteurs à produire dans ces conditions pédologiques.

L'Agronomie d'aujourd'hui offre des techniques et des pratiques éprouvées qui peuvent être, et qui sont, utilisées pour améliorer la productivité agricole tout en préservant des ressources naturelles précieuses aujourd'hui et à l'avenir.

En général les terrains salins sont fertiles ; quand on a éliminé les sels nocifs par des pratiques agricoles appropriées, ils peuvent se révéler excellents pour l'agriculture si l'on dispose d'assez d'eau de bonne qualité.

Les techniques de gestion comprennent le lessivage des terres et l'irrigation par modes efficaces, par exemple, l'irrigation goutte à goutte, méthode peut jouer un rôle important dans le contrôle des sels dans la zone racinaire, et Toute pratique qui réduisent l'évaporation de la surface du sol et favoriser le flux descendant d'eau du sol aidera également le contrôle de la salinité autours de la zone racinaire.

L'ensemble des résultats relatifs à ces essais prouvent que l'utilisation des bonnes pratiques culturales et adéquates, visant l'optimisation des rendements et le contrôle de la salinité du sol.

Une irrigation adéquate a un effet significatif sur l'optimisation des rendements et le contrôle de la salinité du sol et les pertes d'eau, ces résultats ne peuvent être atteints que si on agit simultanément sur le système d'irrigation et la conduite des arrosages on prenant en considérations les conditions pédoclimatiques.

Parmi les techniques utilisées dans ce travail pour la gestion de la salinité du sol à fin d'améliorer la productivité agricole, l'amendement organique, qui aidera l'agriculteur à emmagasiner l'eau dans le sol pour minimiser les effets néfastes du stress hydrique provoqués par les sels. En outre il permet à séquestrer les sels dissous dans la solution du sol.

L'agronomie moderne est une contribution essentielle aux bonnes pratiques agricoles ; au moment de la germination l'effet de la salinité se traduit, notamment, par une réduction de l'absorption de l'eau par la graine "imbibition" et une toxicité provoquée par l'excès de sels causant la mort des germes des graines. Une pratique excellente pour faire face à ce problème c'est la prégermination qui aidera à éviter la mortalité des germes et augmenter les chances d'avoir un taux de germination élevé.

L'évapotranspiration est l'un des processus qui augmente la concentration des sels par capillarité autour des racines des plantes surtout en présence d'apport d'eau sous forme d'irrigation subséquent par des vents secs. Les haies brise-vent agissent également pour limiter les pertes d'eau utile par évaporation et assèchement des sols par évapotranspiration des plantes.

Par ailleurs, les conditions d'aridité semblent ne pas faciliter la restauration de ces sols, 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 appropriées pour l'économie de l'eau; 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 *Artractylis serratuloides* et *Stipa tenacissima* L 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 demeura stérile, si les principaux acteurs (éleveurs) sont marginalisés.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- ABDEIBAKI *et al...*, 2000 in Parida et Das, 2005- Soil tolerance and salinity effects in plants: a review *ecotoxicology and environment safety* 60: 324-349.
- 2- ADRIANMI .J., 1945- Sur la phytosociologie, la synécologie et le bilan d'eau des halophytes de la région néerlandaise méridionale, ainsi que la méditerranée française. J. B. Wolters, Groningen, 217 p.
- 3- AGASTIAN *et al...* 2000- Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, 287–290.
- 4- ANRH; 2011-Agence nationale des ressources hydrique
- 5- Agency for international development 1962; food production and nutrition; soil fertility, fertilizers, and plant nutrition.
- 6- ANONYME., 1982 – Amélioration des sols salins. Cours, Gembloux. 122 pages.
- 7- AUBERT G., 1976 - Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Ann INA*, vol. VI n° 1
- 8- AUBERT G., 1978- Sols salés en Afrique tropicale. UNEP URSS Ac. of Sci. Seminar on salinity problems.
- 9- AUBERT G., 1986- Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols dits (salés) ou salsodiques. *Cahier d. ORSTOM*, série. *Pédologie*, XX, 1, pp. 73 -78.
- 10- AUBERT G., 1988 – Les sols salés et leur mise en valeur. Séminaire National, sur la fertilisation, Chélif Algérie.
- 11- BAGNOULS F., et GAUSSEN H., 1957 – Les climats biologiques et leur classification *Ann. Géogr. Fr.* 355 : p 193 –220.
- 12- BAGNOULS F., et GAUSSEN H., 1953 – Saison sèche et indice xérothermique : Extrait du *Bull .Soc . Hist . Nat de Toulouse*. T. 88, p 193 –239.
- 13- BAIZE D., 2000 – Guide des analyses en pédologie. INRA Paris p 205 – 213.
- 14- BAKKOUCH *et all...* 1994/1995, Université de Tlemcen. Institut de génie civil, travaux pratique des mécaniques des sols (laboratoire M.S.D).
- 15- BALESDENT J., (1996)- "Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols de France." *Etude et Gestion des sols*. p 260.
- 16- BELOUAH N *et all...*, 1974 – Le synclinal d'El Bayadh. Etude écologique et propositions de mise en valeur. D.E.M.R.H. Alger. 22p.

- 17- BENABADJI N. et BOUAZZA N., 2000 – Quelques modifications climatiques intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie occidentale). Rev. En. Ren. Vol 3 (2000). Pp : 117-125
- 18- BENABADJI N et *al...*, 2004-a– Les sols de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso au Sud de Sebdou (Oranie, Algérie). Rev. Sci et Tech. Synthèse. n°13. Juin 2004. pp : 20-28
- 19- BENCHETRIT Maurice, .1956- Les sols d'Algérie. In: Revue de géographie alpine. 1956.
- 20- BEN NACEUR et *al...*, 2005- Les indicateurs précoces de la tolérance à la salinité 1er Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 Novembre 2005.
- 21- BENNACER et MORSLI., 1988/1989- thèse d'ingénieur, institut de biologie, filière: agronomie, contribution à l'étude de la salinisation des sols de la ferme pilote Moussadek AEK, Remchi, Tlemcen.
- 22- BENZAHY F., 1990 – Caractérisation de la matière organique dans les sols salés de Relizane. Mémoire, Ing, Agro, INES Tiaret, 84 pages.
- 23- BERNSTEEIN et AYERS, 1951 in BOURAHLA, 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.
- 24- BERTHOMIE P., et *all...*, (2003): Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. Embo Journal 22, 2004-2014 Biotechnology 16, 123–132.
- 25- BINET P., 1970- Halophytes. In *Encyclopedia universalis*, Laffont, Paris, 8, 224-225.
- 26- BODET et *al...*, 2001- *Fertiliser avec les engrais de ferme*, IE, ITAVI, ITCF, ITP, 104 p.
- 27- BOHNERT et JENSEN, 1996 in Parida et Das, 2005- Salt tolerance and salinity effects in plants: a review ecotoxicology and environment safety.
- 28- BORELLA et *all...*, 1994 in Parida et Das, 2005- Salt tolerance and salinity effects in plants: a review ecotoxicology and environment safety.
- 29- BOUCAUD J., 1972. - Caractéristiques écophysiologicals et aspects particuliers du métabolisme azoté de deux écotypes de *Suaeda znaritinia* (L.) Dum. (*S. m. inacrocnrpu* Moq. et *S. m. flexilis* Focke) en relation avec leur halophilie. Thèse de Doctorat d'État. Université de Caen, 207 p.
- 30- BOUKHATEM., 1987- in GASMI 1988- 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.

- 31- 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.
- 32- BOYADGIEV T.G. 1975, Les sols du Hodna, Etude des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles dans la région du Hodna, Algérie. FAO, Rome.
- 33- BUREAU P et ROEDERER P., 1961 - Contribution à l'étude des sols gypseux du Sud Tunisien : Croûtes et encroûtements gypseux de la partie Sud du golfe de Gabès, Bull. Ass. Fr. Et. Du Sol pp. 150 - 176.
- 34- COUDERC R., (1975)- De la tribu à la coopérative : aperçu de l'évolution des hautes plaines oranaises ; From tribe to cooperative: outline of the evolution of Oran High Plains / R. Couderc / in *Options méditerranéennes*, n. 28 (1975)
- 35- CALVET R., 2003; Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 p.
- 36- CHARTZOULAKIS K. & KLAPAKI G., 2000, Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 86, 247-260.
- 37- COLLOT et *al.*, 1982- Les interactions sols racines. Incidences sur la nutrition minérale. INRA. Paris. 325p.
- 38- DAGET PH., 1977; le Bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modèle de caractérisation, végétation. Vol. 34 (1), 99 = 1- 20.
- 39- DAOUD (1978) in 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.
- 40- 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.
- 41- DARBOUX R et DELELLY ., 1967.Les plantes sarclées .Edition J.B.Baill2re France. Collection d'enseignement Agricole.307p.
- 42- DAS et *al.*., 2002- NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arvilla*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.*
- 43- DEBRACH, La classification thermique des climats
- 44- DELLAL A., 1994 - Réactivité physico-chimique, fonctionnement physiologique et microbiologique en conditions salines. Thèse d'Etat, Rennes. 223 pages.

- 45- DELPHINE *et al.*, 1998 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 60, 349 p.
- 46- DENDEN *et al.*, 2005- Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, disponible sur : www.tropicultura.org/text/v23n4/220.pdf
- 47- DIEYE M., 1994- Contribution à la caractérisation et à la recherche de techniques d'amélioration des "sols salés" dans le Delta et la Vallée du fleuve Sénégal. TSRA, DRCSI. Mémoire de titularisation. pp. 90.
- 48- DONAHY R., 1958. Nature des sols et croissance végétale. Ed. D'organisation. Paris. 312p.
- 49- DOORENBOOS J. et PRUITT W. O., 1977. Les Besoins en Eau des Cultures. F.A.O, Bulletin d'Irrigation et de Drainage N° 24. Rome.
- 50- D.S.A (2008)
- 51- DUCHAUFOR P.H., 1976 - Atlas écologique des sols du monde, éd, Masson, 168 pages.
- 52- DUCHAUFOR P.H., 1983 – Pédologie. Pédogenèse et classification T1. Ed Masson, p467 -483.
- 53- DURAND J.H., 1953; étude géologique, hydrogéologique et pédologique des croutes en Algérie. S.E.S. Alger, 209 p.
- 54- DURAND J.H., 1954. Les sols d'Algérie. S.E.S. Alger. 244p.
- 55- DURAND J.H., 1958 – Les sols irrigables. Etude pédologique. Alger. 190 pages
- 56- DURAND J.H., 1983- Les sols Irrigables. Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Agence de Coopération Culturelle et Technique. 338 p
- 57- DUTHIL J., 1973. Elément d'écologie et d'agronomie. Tome II. Exploitation et amélioration du milieu. Ed.J.B. Bailliére. Paris. 265p.
- 58- DUTIL P., 1971- Contribution à l'étude des sols et des paléosols du sahara. Thèse doct d'état. Faculté des sciences de l'université de Strasbourg. 346p.
- 59- ECHEVARRIA G. Salinisation des sols: processus, causes, effets et gestion des sols salés. Module "ressources agriculture environnement". INRA.
- 60- EILERS *et al.*, 2001- Salinisation du sol. C.R.E.C.O, Canada, 8 pages.
- 61- Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation, 2006: conférence électronique sur la salinisation : Organisé et coordonnée par : IPTRID (programme international pour la technologie et la recherche en irrigation et

drainage); hébergée par: FAO ; modéré par: le projet CISEAU (Centre d'information sur l'eau agricole et ses usages) disponible sur :
www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Salinisation_irrigation.pdf

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

63- FAO (2001)

64- FLORES P et *all...*, (2000): Ionic and osmotic effects on nitrate reductase activity in tomato seedlings. J. Plant Physiol. 156, 552–557.

65- FRANCOIS., 1987- *in* 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.

66- GADALLAH, 1999 *in* Haouala et *al.*, 2007 - Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur :
<http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>

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

68- 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.

69- GILBERT G, SYLVIE B., 1974- Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. CILF, 230p.

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

71- HALITIM., 1973- Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie. Thèse Doc. U.E.R des sciences biologiques.

72- HALITIM A., 1985- Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes Plaines

Steppiques d'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Rennes, 383 p.

73- HALITIM A., 1988 – Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U.

74- HAMZA., 1977 *in* Haouala et *al.*, 2007 - Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du

ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur :
<http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>

75- HANDJ *et al.*, 1995 in SINOUSSE, 2001- Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale.

76- HENIN S., *et al.*, 1969.- LE PROFIL CULTURAL. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Edition Masson et Cie. 332 pages.

77- HERNANDEZ *et al.*, 1999 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, p 349.

78- HERNANDEZ *et al.*, 2000 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, p 349.

79-HIMOUR Sara; 2008 – thèse de magister, comparée de régénération des plants par voie végétative en culture *in vitro*, université de Mentouri- Constantine.

80- HIOUANI et BENSALIM., 2009- Effet de la salinité sur la rétention en eau des sols gypseux de la région de Ain Benoui (BISKRA), *Courrier du Savoir* – N°09, Mars 2009, pp.85-89

81- INSID., 2008- les sols salins en Algérie., Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage; juillet 2008.

82- IYENGAR et REDDY., 1996 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.

83- KENNEDY et Fillippis., 1999 in Parida 2005-Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.

84- KHAN., 2001 in Haouala *et al.*, 2007- Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur :
<http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>

85- KOA *et al.*, 2001 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.

86- KOULL N., 2007- Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région de Ouargla. Mémoire, Magistère, OUARGLA.

87- KOVDA et SAMOILOVA., 1969- Tolérance des plantes aux sels en solution dans l'eau d'irrigation et dans le sol. *SCETICGR*, 10 p.

- 88- KURBAN *et al.*, 1999 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.
- 89- LAX .E., 1978- *in* 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.
- 90- 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.
- 91- LEGROS J.P., 2007. *Les grands sols du Monde*. Presse Polytechniques et Universitaires Romandes ,574 p.
- 92- LEGROS J.P., 2009. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, <http://academie.biu-montpellier.fr/>
- 93- LEVITT., 1980 in Haouala *et al.*, 2007- Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur : <http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>
- 94- LONGSTRETH et NOBEL., 1979 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.
- 95- LU *et al.*, 2002 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.
- 96- M. Lahlou *et al.* 2000- Modélisation de la salinité et de l'alcalinité des sols, Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, 2-3 Novembre 2000.
- 97- MAAS EV. (1986). Salt tolerance of plants. *Appl. Agric. Res.* 1, p. 12–26.
- 98-MAPM. 2008 ; Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA; Transfert de technologie en agriculture, diagnostique dans la province de Settat, conduit technique de la menthe.
- 99- MESSAR Mohamed Fawzi, 2007, thèse d'ingénieur, institut de sciences, filière: Agronomie. Traitement de quelques sols salés dans le périmètre de la MINA par voie chimique et organique.
- 100- MITSUYA *et al.*..., 2000 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 349 p.
- 101- MUNN et Termatt, 1986 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.

- 102- NEDJRAOUI D., et AIDOU D. A., 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.
- 103- NIMBALKAR J., 1975- in Haouala et *al.*, 2007- Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur : <http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>
- 104- PARIDA A.K., DAS A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.
- 105- POUGET M., 1968 – Contribution à l'étude des croûtes et les encroûtements gypseux de nappe dans le sud Tunisien. Cah. ORSTOM, Serie. Pedol. 6, pp 309-365.
- 106- POUGET M, 1976; – Les plages de salure sur les glacis quaternaires à croûtes calcaires (steppes algériennes). Réu. Sci. de la terre. Paris. 340p.
- 107- Quezel. P et Santa. S, 1963- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C.N.R.S. Paris. 2 vol. 1170p.
- 108- RIBEIRO R.M., Moureaux Claude, Novikoff André., 1976- Etude comparative de l'altération microbienne des différents minéraux constituant d'une diabase. Cahiers ORSTOM.Série Pédologie, 1976, 14 (2), p. 161-168. Disponible sur <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:18546>
- 109- RICHARDS (L. A.), 1954- Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agri. and book- 60.
- 110- ROMEROARANDA et *al.*, 2001 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.
- 111- S.O.G.R.E.A.H, 1961 – Etude pédologique du périmètre de Bou-Saâda. Etude. SES. Alger.
- 112- SERRAZ et *al.*, 1998 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.
- 113- SERVANT J.M., 1971- Le profil salin des sols, méthodes d'études et signification. Application aux sols halomorphes du midi de la France. Ann. Agro. 24.3, 392 p.
- 114- SERVANT (J.), 1978. - La salinité dans les sols et les eaux. Caractérisation et problèmes d'irrigation-drainage. Bull. du BRGM, section IV, n° 2.142p.

- 115- SIGALA et *all* ..., 1988.- Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural (Options Méditerranéennes).
- 116- SOLTNER D, 2003- Les bases de la production végétale. Tome 2. 6ème édition. Sci et Tech Agr. 49310. Sainte Gène sur la Loire. France.
- 117- SOLTNER D, 2005- Les bases de la production végétale. Tome 3. 6ème édition. Sci et Tech Agr. 49310. Sainte Gène sur la Loire. France.
- 118- SYLVIA 1982 *in* 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
- 119- SZABOLCS (I.), 1989. - Salt-affected Soils CRC Press Inc., Florida, 274 p.
- 120- TOUTAIN G., 1979. Élément d'agronomie saharienne De la recherche au développement. I.N.R.A. Paris.276p.
- 121- U. S. S .L ,1954 *in* DELLAL A., 1994 - Réactivité physico-chimique, fonctionnement physiologique et microbiologique en conditions salines. Thèse d'Etat, Rennes. 223 pages.
- 122- UNESCO., 1957- RECHERCHES SUR LA ZONE ARIDE – IV UTILISATION DES EAUX SALINES : COMPTE RENDU DE RECHERCHES
- 123- UQCN., LE RAPPORT AGRICULTURE ET ÉNERGIE : La haie brise-vent et ses rôles multiples en agriculture moderne. (Union Québécoise pour la conservation de la nature).
- 124- URFA., Rôles des haies sur un territoire -Union Régionale des Forêts d'Auvergne - MISSION HAIES AUVERGNE.
- 125- WALBOT et CULLIS., 1985 *in* Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.60,349 p.
- 126- YANKOVITCH., 1968- *in* 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

Résumé :

Afin d'optimiser les rendements des plantes cultivées en sols salés, l'agriculture raisonnée doit être penché vers les pratiques culturales comme solution pour la production agricole dans ces conditions hostiles qui empêchent la maximisation des récoltes.

La présente initiative de travail dans ce contexte à pour but de valoriser les terres salés par des moyens non couteux par rapport au système de drainage qui demande des grands moyens.

L'objectif de notre travail consiste à améliorer les rendements des plantes cultivées en sols salés, par des pratiques culturales qui contribuent à rétablir la structure ou/et le bilan hydrique du sol.

Pour mettre en évidence l'importance de l'utilisation des pratiques culturales dans l'amélioration de la productivité des sols salins. Nous avons choisi quatre plantes sensible à la salinité (menthe, carotte, pomme de terre et pastèque), les pratiques culturales adoptés pour ce travail sont : l'amendement organique, mode d'irrigation, brise-vent et la prégermination.

Nos résultats du suivi de l'effet des pratiques culturales sur l'évolution de la conductivité électrique et la structure du sol cultivé prouvent une amélioration considérable par rapport aux essais témoins.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une corrélation significative positive entre les pratiques culturales adoptés et l'augmentation des rendements pour les quatre types de cultures

Mots clés : sols salins, pratiques culturales, rendements, matière organique, prégermination, irrigation, brise-vent, Mekmen Ben Amar.

ملخص : اسهام في تحسين مردودية انتاج النباتات المزروعة في الاتربة المالحة.

من اجل تحسين مردودية النباتات المزروعة في الاتربة المالحة لبد للزراعة العقلانية ان تتجه نحو تطبيق الممارسات الزراعية كحل للانتاج الزراعي في مثل هذه الشروط التي تاتر على المحاصيل.

هذا العمل المقترح في هذا الصدد يهدف الى تقويم واستصلاح الاتربة المالحة باساليب اقل تكلفة من طريقة التصريف التي تتطلب تكاليف باهظة الثمن.

يهدف هذا العمل الى تحسين مردودية النباتات المزروعة في الاتربة المالحة بالممارسات الزراعية التي تساهم في معالجة البنية و المخزون المائي للتربة

من اجل تبيان اهمية استعمال الممارسات الزراعية في تحسين انتاجية الاتربة المالحة. قمنا باختيار اربعة نباتات حساسة للملوحة (النعناع, الجزر, البطاطس و البطيخ) وعاملناها بالتقنيات الفلاحية التالية (التعديل العضوي, طريقة الري, الانتاش المبكر و كاسرات الرياح)

نتائجنا لملاحظة اثر التقنيات الفلاحية على تطور الناقلية الكهربائية و بنية التربة المزروعة اعطت تحسن محسوس بالنسبة للعينات الشاهدة.

النتائج المحرزة اثبتت ان هناك صلة بليغة ايجابية بين الممارسات الزراعية المتبعة و ارتفاع مردود النباتات الاربعة المزروعة.

كلمات البحث : التربة المالحة, الممارسات الزراعية, المحاصيل, المواد العضوية, الري و مصدات الرياح.....

Summary : Contribute to improving the cost-effectiveness of production plants cultivated in salt soil

To maximize yields of crops in saline soils, sustainable agriculture must be addressed to cultural practices as a solution to agricultural production in these hostile conditions that prevent the maximization of harvest.

This initiative work in this context aims to enhance the salty land by means not expensive compared to the drainage system that requires drastic measures.

The objective of our work is to improve crop yields in saline soils by farming practices that help to restore the structure and/ or soil water balance.

To highlight the importance of the use of cultural practices in improving the productivity of saline soils. We selected four plants sensitive to salinity (mint, carrots, potatoes and watermelon), cultivation practices adopted for this work are: organic amendment, method of irrigation, windbreaks and pre-germination.

Our results of monitoring the impact of farming practices on the evolution of the electrical conductivity and soil structure grown show a significant improvement compared to control tests.

The results show that there is a significant positive correlation between farming practices adopted and increasing yields for four types of cultures.

Keywords: saline soils, cultural practices, yields, organic matter, pre-germination, irrigation, windbreaks, Mekmen Ben Amar.