

UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire
Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences agronomiques
Spécialité : **Protect. de la ressource Sol Eaux Environnement**
Présenté par : **Melle** CHELGHOUM ibtissem

Thème

**Synthèse bibliographique sur la salinité du
sol et de l'eau d'irrigation dans les zones
arides**

Soutenu publiquement

Le :11/10/2020

Devant le Jury :

Mr	DJILI	Brahim	Président	M.C.B	UKM
Mm	OUSTANI	Mabrouka	Promoteur	M.C.B	UKM
Mr	IDDER	Abd El hak	Co-promoteur	M.A.A	UKM
Mm	YOUCEF	Fouzia	Examineur	M.C.B	UKM

Année Universitaire :2019 / 2020

REMERCIEMENTS

Je remercie avant tout ALLAH, le tout puissant, de m'avoir guidé et de m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail. Avant de présenter les résultats de ce modeste travail, qu'il me soit permis de remercier tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

Je remercie fortement mon promotrice OUSTANI mabrouka Maître de Conférences B à l'Université Kasdi Merbah - Ouargla, pour de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Je remercie mon co promoteur Mr IDDER abde el hake Maître assistant A à l'Université KASDI MERBAH de Ouargla, de son encouragement

Je remercie mes parents pour leur soutien Je tien a remercier aussi :Les membres de jury pour avoir accepter d'évaluer mon travail , Mr DJILI Ibrahim , Maître de Conférences B à l'Université Kasdi Merbah– Ouargla pour avoir accepté de juger le présent travail et Madame YUCEF d'avoir accepter d'examiner ce travail et de faire partie du jury.

Ma profonde gratitude à tout le corps enseignant de l'Université KASDI MERBAH, particulièrement ceux du département des sciences agronomiques

A Tous les amis et les étudiants, en particulier les amis de notre promotion.

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

Ibtissem CHELGHOUM

DÉDICACE

Je rends grâce à Dieu et dédie ce modeste travail à tous ce qui sont proches

Spécialement

l'être la plus chère dans l'univers, ma source de tendresse, la femme la plus patiente qui éclairé mon chemin et qui m'a encouragé et soutenue; ma mèrekhadidja.

A la personne qui m'a offre tout ce que je besoin toute au long de mes études; mon cher père Ameur

mes chers frères Badre el dine et Amire

À mes soeursAhlem et Essyl

À l'âme de mon grand-père et de ma grand-mère

À ma meilleure grand-mère et grande père la plus compatissante

À mes oncles et tantes

À toute la famille Abidli ainsi que Chelghoum

À mes proches amis Ikramaminamaroua et samah

toute la promotion protection de la ressource Sol & Eau et l'environnement 2019/2020

À tous mes enseignants du primaire jusqu'à l'université.

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU	TITRE	PAGE
Tableau 01	Superficies des zones arides de l'Algérie en 10 ³ Km ²	5
Tableau 02	Superficie affectée par la salinité dans le monde	13
Tableau 03	Classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la S.A.U	16
Tableau 04	Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée	17
Tableau 05	Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5	17
Tableau 06	Classification des sols selon le pH de l'extrait aqueux au 1/2,5	19
Tableau 07	Classes de pH des sols selon l'extrait 1/5	19
Tableau 08	Classification de SAR (Sodium absorption ratio)	20
Tableau 09	Classification des sols salés	19
Tableau 10	Classification des sols salés en fonction de la CE et le SAR	20
Tableau 11	Barème de qualité pour l'eau d'irrigation.	29
Tableau 12	Classification des eaux d'irrigation en fonction résidus secs	32
Tableau 13	Classification des eaux en fonction de la teneur en sels	35
Tableau 14	Teneur en sodium dans les eaux d'irrigation	37
Tableau 15	Hydrogéologie au niveau des Huit régions d'étude	45
Tableau 16	Caractéristiques du sol au niveau des Huit régions d'étude	46
Tableau 17	Position des Huit régions d'étude dans le Climagramme d'Emberger	46

LISTE DES FIGURES

FIGURE	TITRE	PAGE
01	Carte des zones arides dans le monde	4
02	Carte bioclimatique de l'Algérie en 2017	5
03	Position des 08 régions d'étude dans le Climagramme d'Emberger	07
04	Mécanismes du phénomène de salinisation des sols	13
05	Superficie affectée par la salinité dans les différentes régions du monde	14
06	Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation Source	28
07	Diagramme de classification des eaux d'irrigation	37
08	Position géographique des régions d'étude	41
09	Diagrammes ombrothermiques de Gaussen et Bagnouls applique des 08 régions d'étude	43
10	Position des Huit régions d'étude dans le Climagramme d'Emberger	44

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Abréviation	Signification
A.N.R.H	Agence nationale des ressources hydrauliques
CE	Conductivité électrique
Ce	Conductivité électrique de la pâte saturée
CEC	Capacité des changes cationique.
CE_w	Conductivité électrique de l'eau d'irrigation
ESP	Taux de sodium échangeable
ETP	Evapotranspiration potentiel
FAO	Food and Agriculture Organisation
GPI	Grands périmètres irrigués
MO	Matière Organique
OMM	organisation mondiale de météorologie
ONIB	Office nationale d'irrigation et drainage
pH	Potentiel hydrique
PMH	Petite et Moyenne Hydraulique
Ps	Pâte saturée
RS	Résidu sec
SAR	Sodium Adsorption Ratio.
TDS	qualité totale de matière dissoute
U.S.S.L	United States Salinity Laboratory

TABLE DES MATIERES

	Introduction générale	1
<i>Partir I : synthèse bibliographique</i>		
<i>Chapitre I : Les régions arides</i>		
I.1	Notion de l'aridité	3
I.2	Répartition des zones arides	4
I.2.1	Dans le monde	4
I.2.2	Dans l'Algérie	4
I.3.	Hydrogéologie des zones arides Algériennes (zones sahariennes)	5
I.3.1.	Ressources hydriques	6
I.3.2.	Qualité chimique des eaux	6
1.4	Sols des zones arides	7
I.4.1	En Algérie	7
I.4.1.1	Les sols sans accumulations de sels	7
I.4.1.2	Les sols calcaires	7
I.4.1.3	Les sols gypseux	7
I.3.1.4	Les sols gypseux calcaires	8
I.4.1.5	Les sols salés	8
<i>Chapitre II : Les sols salés</i>		
II.1	Définition de la salinité du sol	11
II.2	Définition de la salinisation du sol	11
II.3	Origine de la salinité du sol	12
II.4	Répartition de sols salés	12
II.4.1	Répartition de sols salés dans le monde	12
II.4.2	Répartition de sols salés dans l'Algérie	14
II.5	Paramètres de la salinité	15
II.5.1	Conductivité électrique	15

II.5.1.1	Méthode de mesure de la conductivité électrique	16
II.5.1.1.1	Technique de l'extrait de la pâte saturée	16
II.5.1.1.2	Technique de l'extrait dilué	16
II.5.1.2	Echelle de la salinité	17
II.5.1.3	Relations entre les deux extraits	17
II.5.1.4	Caractères des sels dans le sol	18
II 5.1.4.1	Solubilité des sels	18
II 5.1.4.2	Mouvement des sels	18
II.5.2	pH du sol	18
II.5.3	Sodium absorption ratio(SAR)	19
II.5.4	Taux de sodium échangeable(ESP)	19
II.5.4.1	Formule de relation entre SAR et ESP	21
II.6	Classification des sols salés	21
II.6.1	Sols salins (Solontchaks)	21
II.6.2	Sols salés à alcali (Solontchaks solonetz)	21
II.6.3	Sols à alcali (solonetz)	21
II.7	Effets de la salinité sur les propriétés du sol	22
II.7.1	Effets sur les propriétés physiques de sol	22
II.7.1.1	Effets des sels sur la stabilité structurale	22
II.7.1.2	Effets des sels sur la perméabilité	23
II.7.1.3	Effets des sels sur la rétention en l'eau	23
II.7.2	Effets sur les propriétés physico-chimiques	23
II.7.2.1	pH (réaction du sol)	23
II.7.2.2	Taux de sodium échangeable (ESP)	23
II.7.2.3	Capacité d'échange cationique (CEC)	24
II.7.3	Effets de la salinité sur les propriétés biologiques du sol	24
II.7.4	Effets de la salinité sur la plante	24
II.8	Lutte contre la salinité des sols	25
<i>Chapitre III: La salinité des eaux d'irrigation</i>		
III.1	Définition de l'irrigation	27
III.2	Qualité de l'eau d'irrigation	27
III.3	Processus de dégradation de qualité du sol suite à l'irrigation	27

III.4	Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	28
III.5	Classification des eaux d'irrigation	30
III.5.1	Teneur des sels dans les eaux d'irrigation (risque de l'excès de sels)	30
III.5.2	Teneur en sodium (risque d'alcalinité : excès de sodium dans l'eau d'irrigation)	32
III.5.3	Risque lié aux carbonates et aux bicarbonates	32
III.5.4	Risques liés aux éléments toxiques dans l'eau d'irrigation	33
III.5.5	pH de l'eau d'irrigation	33
III.5.6	Classification de l'U.S.S.L	34
III.5.6.1	Teneur en sels dans les eaux d'irrigation (Danger de l'excès de sels)	34
III.5.6.2	Teneur en sodium (SAR) dans les eaux d'irrigation (Danger de l'alcalinisation du sol (excès en sodium))	36
III.6	Lutte contre la salinité du sol liée à l'eau d'irrigation	38
Partie II		
Caractérisation de la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation (Étude de cas de régions sahariennes au sud de l'Algérie).		
2.1	Situation géographique des régions d'étude	41
2.2	Synthèse des données climatiques au niveau des régions de l'étude	42
2.3	Hydrogéologie au niveau des régions de l'étude	45
2.4	Pédologie au niveau des régions de l'étude	45
2.5	Salinité du sol et de l'eau d'irrigation au niveau des Huit régions d'étude	46
2.6	Analyse	48
	Conclusion générale	52

Introduction générale

Introduction générale

Dans les zones arides, la salinité du sol et des eaux d'irrigation est une contrainte environnementale majeure affectant les sols agricoles (**LAKHDHAR *et al.*, 2008 ; ALVAREZ *et al.*, 2015**).

L'extension de l'agriculture en irriguée et l'utilisation intense des ressources en eau dans un pays soumis à un climat chaud et sec participe inévitablement à l'apparition du problème de salinité des sols et des eaux (**FAO, 2006**).

L'effet est d'autant plus marqué à cause d'une part, de la forte minéralisation des eaux souterraines et d'autre part, du climat sec qui crée une demande d'évaporation élevée ce qui se traduit par la nécessité de grandes quantités d'eau pour l'irrigation des cultures (**FAO, 2006**).

Dans ces régions, le déficit hydrique associé à des évapotranspirations (ETP) extrêmes fait que le recours à l'irrigation des terres est inévitable (**HACHICHA, 2007**). Cette dernière se fait, souvent à l'aide d'eau saumâtre ce qui expose les terres au risque de salinisation secondaire surtout lorsque les techniques d'irrigation sont inadaptées et le drainage est déficient (**HALITIM, 2011**).

En effet, la forte concentration de l'eau d'irrigation en sels dans les régions arides provoque des déséquilibres nutritionnels très graves, ce qui altère le développement et la productivité des plantes (**OUSTANI, 2016**).

Par ailleurs, l'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîné la fixation de sodium par le complexe adsorbant de sol, donc un processus de salinisation , avec ces conséquence éventuel pour les propriété des sol : tendance a la dispersion des argiles a la dégradation de la structure a la perte de perméabilité et l'asphyxie des plantes l'intensité du processus de salinisation dépende des caractéristiques de sol, de la qualité des eaux utilisées , des condition de leur emploi et en particulier de l'efficacité du system de drainage, cependant ces pratique d'irrigation accroissant le risque de salinisation au point que plus de 20% des sols irriguées sont affectée par un problème de salinité en Algérie (**ADNAN,2015**).

La qualité de l'eau d'irrigation varie en fonction de la nature et de la quantité des sels dissous (**BOUCHEMAL, 2017 ; BENHEDID *et al.*, 2019**).

L'Algérie n'est pas à l'abri de ce risque, seulement 0.2 % des sols sont actuellement productifs. Au Sahara algérien, il ya 400 000 ha des sols irrigués, sur un million ha, seulement 10 % des sols sont productifs, les 90 % restants ne sont pas des sols agricoles (**RECHACHI, 2017**).

La majorité des eaux d'irrigation dans la région saharienne en Algérie est d'origine souterraine. Les eaux des nappes phréatiques sont toujours très salées avec plus de 4 à 5 g.l⁻¹ de résidus sec et bien souvent trois fois plus (**MASMUDI, 2011**).

A titre d'exemple, les régions sahariennes situées au centre et au nord (Ouargla, El Oued et Biskra) sont de mauvaise qualité et leur teneur en sels peut dépasser 7 g.l⁻¹ (vallée de l'Oued Righe) (**BEKADDOUR, 2018**).

Dans les oasis sahariennes, le recours intensif à la mobilisation des ressources en eau en provenance des nappes aquifères profondes (nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal) a été nécessaire pour faire face à l'augmentation des besoins en eau pour les usages agricoles et urbain, ces eaux ont contrarié son drainage et provoqué une augmentation excessive de la salinité des sols cultivables (**IDDER et al.,2014**).

Notre premier travail était intitulé Détermination de la salinité totale du sol par la technique de mesure de la conductivité électrique (CE) de la pâte saturée et des extraits dilués de la solution du sol. En raison des conditions de santé du pays, les laboratoires ont été fermés, en conséquence, La partie pratique du mémoire a été annulé. Si nous changeons le titre de la mémoire. le problématique de notre travail est Quelle est la relation entre la salinité du sol et la salinité des eaux d'irrigation dans le Sahara Algérien.

Cette revue bibliographique a pour objectif principale de donner un aperçu sur la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation, ainsi que, l'évaluation de ce risque dans certains régions arides de l'Algérie, en se basant sur un travail expérimental préliminaire réalisé l'année passée en 2018/2019 par les étudiantes Mebrouki et Moukar .Contenu de toutes ces considérations, la présente étude est structurée en deux parties :

Partie I : correspond à une synthèse bibliographique incluant trois chapitres :

- **Le premier chapitre** présente les zones arides .

- **Le deuxième chapitre** est réservé à la présentation de la salinité du sol.
- **Le troisième chapitre** traite la salinité des eaux d'irrigation.

Partie II : cette partie est réservée à l'analyse des résultats d'une étude expérimentale sur la salinité du sol et de l'eau d'irrigation au niveau de 8 régions Sahariennes au Sud de l'Algérie. Enfin, les perspectives à ce travail sont présentées en conclusion générale.

Partie I

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Les régions arides

1. Notion de l'aridité

Malgré les nombreux travaux consacrés à l'aridité en particulier à sa définition et à sa quantification (**DE MARTONNE, 1926;TORNTHWAITE, 1948 ; EMBERGER, 1955 ; BAGNOULS et GAUSSEN, 1957 ; DUBIEF, 1963 ; VERNEMMEN, 1969 ; Le HOUEROU, 1975**), ce concept n'est pas encore bien connu. Il est difficile de définir un milieu aride, une telle définition tient compte des notions diverses relevant de la climatologie, de la morphologie et de la biologie (Surtout végétale) (**LE HOUEROU, 1995**).

L'aridité ne doit pas être confondue avec la sécheresse, concept météorologique à référence temporelle-phénomène conjoncturel (période, année sèche). L'aridité a de fortes implications hydrologiques et édaphiques dont elle est indissociable (**ROBERT, 1996 ;AGGOUSSINE, 2003**). Selon ce dernier, l'aridité ne peut être définie uniquement par de faibles précipitations moyennes annuelles, mais aussi par leur irrégularités dans l'espace et dans le temps et par une forte évapotranspiration. Les jours où il ne tombe que des gouttes ou des précipitations non mesurables (inférieur à 5 mm) peuvent être 3 à 4 fois plus nombreuses que les jours de précipitations mesurables, Ces jours sont d'autant plus nombreux que l'aridité est grande.

D'une façon générale, Les régions arides ont un climat peu pluvieux, parfois très sec, des précipitations très irrégulières, et par sa végétation herbacée ou frutescente, rarement arborée

Selon **EMBERGER (1955) et LE HOUEROU (1975)**, la zone aride est subdivisée en trois domaines :

- Le domaine hyper aride dont la pluviométrie est inférieur à 100 mm.
- Le domaine aride proprement dit dont la pluviométrie est comprise entre 100 et 300-400 mm.
- Le domaine semi- aride dont la pluviométrie est compris entre 300- 400 mm et 600 mm.

Selon certains écologistes, le terme désert vrai devrait être réservé de façon exclusive aux zones à climat hyper aride (**RAMADE, 2003**).

Par ailleurs, l'aridité n'est pas due uniquement au climat, mais essentiellement à une action humaine (Le déboisement, l'incendie, le pâturage intensif, etc) : La dégradation anthropique du tapis végétal entraîne une augmentation des maximums des températures et celle du sol à pour

effet de diminuer les capacités de stockage de l'eau : ce type de dégradation concluent **STEWART (68), DAGET (1977), POUGET (1980), FLORET et PONTANIER (1982)**, conjuguent les effets pour renforcer l'aridité d'origine climatique.

2. Répartition des zones arides

2.1. Dans le monde

Selon **WRI (2002)**, la classification de la zone aride prend en considération les valeurs du rapport ratio précipitation annuelle / évapotranspiration potentielle moyenne annuelle. Selon ce rapport les zones arides sont divisées en :

- ✓ Zone hyper aride couvrant environs 11 millions de Kilomètres carrés, soit 8 % des terres totales et elle correspond principalement au désert du Sahara.
- ✓ Zones arides, semi-arides et subhumides sèche et couvrent près de 54 kilomètres carrés, se rencontrent surtout dans continents, mais elles sont principalement concentrées en Asie et Afrique (Figure 01).

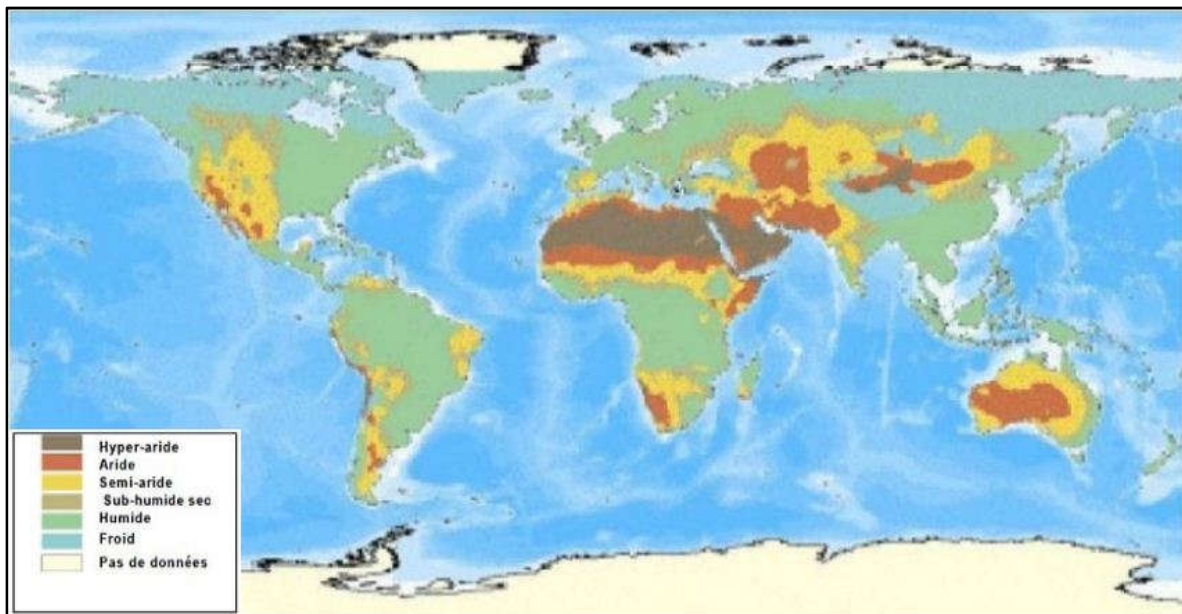


Figure 1 : Carte des zones arides dans le monde (WRI, 2002)

2.2. Dans l’Algérie

La classification bioclimatique d’Emberger et sauvage a été largement adoptée en régions méditerranéennes. Cinq étages du bioclimat méditerranéen ont été définis pour l’Algérie : le Saharien, Aride, Semi aride, Sub- humide et Humide (Figure 02).



Figure 2. Carte bioclimatique de l'Algérie en 2017 (source : organisation mondiale de météorologie OMM)

On distingue selon NEDJRAOUI (2003) :

- L’étage semi- aride : 300 - 600 mm.
- L’étage aride : 300 - 100 mm.
- L’étage saharien < 100 mm qui occupe 89,5%.

Selon le HOUEROU (1995), la superficie des zones arides en Algérie est de 216000 Km²(Tableau 01).

Tableau 01 : Superficies des zones arides de l’Algérie en 10³ Km² (LE HOUEROU, 1995)

Pluviosité moyenne	Superficies
Semi- aride a humide P> 400	181
Aride supérieur 400>P> 300	59
Aride moyenne 300>P> 200	70
Aride inferieur 200>P> 100	87
Zone aride total	216
Hyper aride supérieur	386

3. Hydrogéologie des zones arides Algériennes (zones sahariennes)

3.1. Ressources hydriques

Les potentialités du Sahara algérien en terme de ressource en eau, sont évaluées à 5 milliards de m³ réparties entre le continental intercalaire et le complexe terminal (A.N.R.H, 2000).

- Le continental intercalaire, surtout gréseux, situé à la base. Il constitue la formation la plus étendue ;
- Le complexe terminal, au sommet, est plus hétérogène, il comprend :
 - La nappe phréatique ;
 - La nappe du mio-pliocène ;
 - La nappe du sénono-éocène ;
 - La nappe du turonien.

3.2. Qualité chimique des eaux

L'Algérie est considérée comme un pays aride durant les trois dernières décennies, le pays est confronté aux problèmes des ressources en eau mobilisables qui ne se posent pas uniquement en termes de quantité disponible, mais aussi en termes de qualité.

Les nappes du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire constituent les deux principaux ensembles aquifères du Sahara Algérien (KHADRAOUI et SAFIA ,2005). Pour le Sahara Septentrional Algérien, l'essentiel des ressources est constitué par les eaux souterraines . Les conductivités électriques de ces eaux sont très importantes, toutefois, leur charge saline diminue avec la profondeur en passant de la nappe phréatique vers la nappe albiennaise.

Les conductivités électriques des eaux de la nappe du Mio-Pliocène, à Ouargla à titre d'exemple varient de 300 à 650 mS•m⁻¹. Les eaux de la nappe sénonienne sont moins chargées, leur conductivité ne dépasse pas 300 mS•m⁻¹ au niveau de la cuvette. Pour la nappe du Mio-pliocène et sénonien, généralement leurs eaux sont très dures, le Résidu sec moyen est de 1,6 à 2,8 g/l

La nappe profonde albiennaise : Elle correspond au complexe terminal continental en grande partie gréseux. Les eaux sont très chaudes (60 °C). Ce sont aussi les moins salées (résidu sec : 1,5 à 2,35 g/l).

4. Les sols des zones arides

Dans les régions arides, les sols, d'une manière générale posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (**AUBERT, 1960**).

On estime à l'heure actuelle qu'environ 40% des terres émergées de la planète sont arides, soit 5.2 milliards d'hectares, sur lesquelles vivent plus de 2 milliards de personnes. L'Afrique contient 37% de zones arides (**HALITIM, 2011**).

Les sols arides sont des sols typiquement superficiels, avec la roche mère très près de la surface, caractérisés par un pH basique et une voie de salinisation neutre (**AUBERT, 1960**).

La pédogenèse, en dehors des zones endoréiques est limitée à une désagrégation physique où les processus chimiques et biologiques n'interviennent que très peu. Cela se traduit par une couverture pédologique constituée de sols minéraux bruts ou peu évolués de faible fertilité : texture sableuse, pauvres en matière organique, sans structure construite, faible capacité de rétention en eau, faible réserve en éléments nutritifs et sujets à une forte érosion éolienne (**GRATZFELD, 2004**).

Dans les zones arides et semi-arides, la productivité des sols dépend de la capacité de rétention d'eau qui tend à augmenter avec la profondeur et le contenu organique du sol. La capacité de rétention d'eau des sols sableux est inférieure à celles des sols argileux. (**GRATZFELD, 2004**).

Dans ces régions les études pédologiques restent très limitées et les sols sont insuffisamment connus. Cependant les travaux cartographiques réalisés ont permis de montrer la grande extension des sols à encroûtement calcaire, gypseux et les sols salés.

Les sols de la zone aride d'Algérie sont diversifiés et se répartissent selon la classification française (**CPCS, 1967**) en 8 classes :

- Les sols minéraux bruts,

- Les sols peu évolués,
- Les sols à sesquioxydes de fer,
- Les sols calcimagnésiens,
- Les sols salés,
- Les sols hydromorphes.

Mais cette diversité ne doit pas cacher leur caractère principal et quasi-général : le rôle que jouent les sels au sens large du terme (le calcaire, le gypse et les sels solubles).

4.1. En Algérie

L'Algérie est classée comme étant une zone semi- aride à aride du fait de l'importance de l'évapotranspiration par rapport aux précipitations. Selon **HALITIM(2011)**, la zone aride couvre près de 95% du territoire national, dont 89,5% dont le domaine hyper aride (saharien) (**NEDJRAOUI, 2003**).

Les sols du Sahara Algérien sont essentiellement des sols minéraux dans le sens où, en dehors des oasis, la fraction organique y est très faible voire nulle. Sur les topographies élevées, les sols sont rocaillieux ou sableux (Hamadas, regs, ergs). Dans les dépressions, la texture peut être fine, mais les sols sont salés (Sebkha et Chotts).Ce sont caractérisés par un lessivage significatif des nutriments et une érosion intensive des minéraux.(**ROBERT, 1996**).

Selon la classification de **HALITIM(1988)**, les principaux types de sols individualisés en fonction du niveau de sels dans les zones arides de l'Algérie, sont en nombre de cinq :

- Les sols sans accumulations de sels ;
- Les sols calcaires ;
- Les sols gypseux ;
- Les sols calcaires et gypseux ;
- Les sols salés.

4.1.1.Les sols sans accumulations de sels

Les sols sans accumulation de sels sont classés comme sols peu évolués, ils occupent en partie certaines dayas : de texture moyenne (la teneur en calcaire est inférieur à 2% ou de texture plus grossière (la teneur en calcaire est inférieur à 0.5%) ces sols couvrent moins de 1% de la surface cartographiée de la zones arides d'Algérie (**HALITIM,1988**).

4.1.2. Les sols calcaires

Les sols calcaires en Algérie sont localisés dans le Nord du pays, où ils sont dans leur majorité faiblement à fortement calcaires, ils s'expriment mieux entre les isohyètes 270 et 500 mm. Les taux en calcaire se localisent préférentiellement dans les zones inférieures du pays (régions steppiques et hauts plateaux) (DJILI, 2000).

4.1.3. Les sols gypseux

Les sols gypseux se localisent en régions arides et sahariennes où les précipitations annuelles ne dépassent pas 150 mm/an. Ils sont souvent rencontrés en zones steppiques autour des sebkhas et dans les oasis au Sahara, surtout au Nord (Oasis de Ziban, Oued-Souf, Oued-Righ). Dans ces régions les bassins sulfatés sont très fréquents, mais la genèse des sols gypseux est essentiellement due à l'activité des nappes et de l'intensité de l'évapotranspiration (HALITIM et ROBERT, 1987).

4.1.4. Les sols gypseux calcaires

L'encroûtement gypseux peut apparaître soit au-dessus, soit au-dessous de la croûte calcaire. Ils s'observent généralement sur les glacis anciens et polygéniques, par exemple en bordure du Zahrez. Ils sont peu répandus (moins de 1% de la surface)

Les sols calcaire et gypseux ; Classe des sols calcimagnésiques ces sols n'existent pas dans la classification C.P.C.S.(1967).

4.1.5. Les sols salés

Selon le HOUEROU (1995), les sols salés occupent de vastes superficies (3.2 millions d'hectares de la superficie totale) dans l'Algérie. Ils sont localisés au Nord qu'au Sud. Ils s'expriment mieux entre les isohyètes 450mm semble être la limite supérieure des sols fortement sodiques (DJILI, 2000).

La salinisation des sols représente l'étape ultime et difficilement réversible de la dégradation des écosystèmes secs (WEIL, 2002). Elle est liée à un excès d'évaporation par rapport aux précipitations ; lorsqu'el potentiel de rapport précipitation /évaporat est inférieure à 0.75 les risque sont élevés (HOPKINS, 2003).

La formation d'un sol salin résulte généralement de l'accumulation de sels dans les horizons de surface. Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol et des sources de sel (KEREN, 2000, LEVY, 2000 ; BRADY et WEIL, 2002, ESSINYTON, 2004).

Chapitre II :

Les sols salés

1 .Définition de la salinité du sol

La salinité représente la quantité des sels minéraux qui se trouvent dissouts dans la solution du sol. Pour un même sol, elle varie avec la teneur en eau et avec la température (**BARBOUCHI et al., 2013**). Les sels solubles englobent une large gamme d'anions et de cations présents dans le sol soit sous forme cristallisée, soit sous forme dissoute dans la solution du sol, soit sous forme adsorbée sur la surface des colloïdes (**DOUIK, 2005**).

2. Définition de la salinisation du sol

Selon **SERGE MARLet al. (2006)**, la salinisation est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans les sols sous l'influence d'apport d'eau d'irrigation salée, de l'aridité du climat ou de conditions hydrologiques particulières (lessivage insuffisant, proximité de la nappe...). Cette concentration de la solution du sol conduit ainsi à la précipitation successive de minéraux qui modifie sa composition et détermine différentes voies d'évolution des sols en fonction de l'abondance relative des différents ions majeurs dans la solution de départ. Ces ions majeurs sont le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le chlorure, le sulfate et les carbonates. Les minéraux les plus communs sont la calcite, le gypse et des silicates comme la sépiolite, contribuant principalement au contrôle du magnésium dans les sols.

Deux causes seront plus particulièrement responsables de la salinisation des sols dans la région aride: l'utilisation d'eau chargée en sels pour l'irrigation et la remonté de nappe par déversement excessif d'eau sur les terres à irriguer.

En raison de l'irrégularité du précipitation, la réussite des productions végétales dans ces régions dépend de l'eau souterraine (**SNOUSSIet HALITIM, 1998**).

Lorsque ce dernier est la seule source disponible pour l'irrigation, sa trop grande salinité peut causer une accumulation de sels dans la zone racinaire des cultures. Ce phénomène est généralement accentué lorsque le drainage interne du sol est restreint et que le lessivage (soit par les pluies, soit par les doses d'eau appliquées) est inadéquat.

3. Origine de la salinité du sol

La phase liquide du sol, comme toute eau arrivant au sol, est caractérisée par la contenance de sels spécifiques. La distribution des ions entre la solution du sol et la phase solide est gouvernée par les propriétés d'échange de la phase solide et contrôlée par le processus d'échange ionique. Dans les zones arides et semi-arides, l'examen chimique de la solution extraite du sol révèle l'existence de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} et NO_3^- comme principaux composants (**BARBOUCHI et al., 2013**). Plusieurs processus géochimiques peuvent avoir lieu comme conséquence à l'action des sels solubles dans le sol ; Le processus suivant lequel le sol s'enrichit en sels solubles est la salinisation (**IPTRID, 2006**). L'autre processus qui est l'alcalinisation se produit lorsque le pH du sol augmente à des valeurs supérieures à 8,5 (USSSL, 1954). Ce processus est souvent accompagné du processus de sodisation lorsque le sodium échangeable est l'élément majoritaire adsorbé sur le complexe colloïdal (**IRD, 2008**).

4. Répartition des sols salés

4.1. Répartition des sols salés dans le monde

La salinisation des sols présente deux origines, une naturelle et affecte 80 % des terres salinisées, dites salinisation primaire. La seconde est d'origine anthropique, due essentiellement à l'irrigation et appelée salinisation secondaire (**IPTRID-FAO, 2006**). Les zones les plus menacées sont celles à climat aride à semi-aride. D'après la **FAO (2002)**, la salinisation des sols due à l'irrigation réduit la surface des terres irriguées de 1 à 2 % par an. Les terres semi-arides et arides sont les plus touchées (presque un quart d'entre elles). Afin d'assurer de meilleurs rendements, l'irrigation est une pratique en pleine extension : environ 8,1 millions d'hectares étaient irrigués en 1800, 41 millions en 1900, 105 millions en 1950 et plus de 222 millions d'hectares aujourd'hui. Cette pratique permet d'assurer 40 % de la production vivrière mondiale. Toutefois, elle n'est pas sans risques, en effet, 21 % des terres irriguées souffrent d'engorgement, de salinité et/ou d'alcalinisation qui réduisent leurs rendements. Le processus de salinisation est dû à la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation en relation avec son contenu en sels dissous. Plus l'aridité est forte, plus l'irrigation est incontournable à la culture et plus son usage est risqué (**RUELLEN et COLL, 2008**).

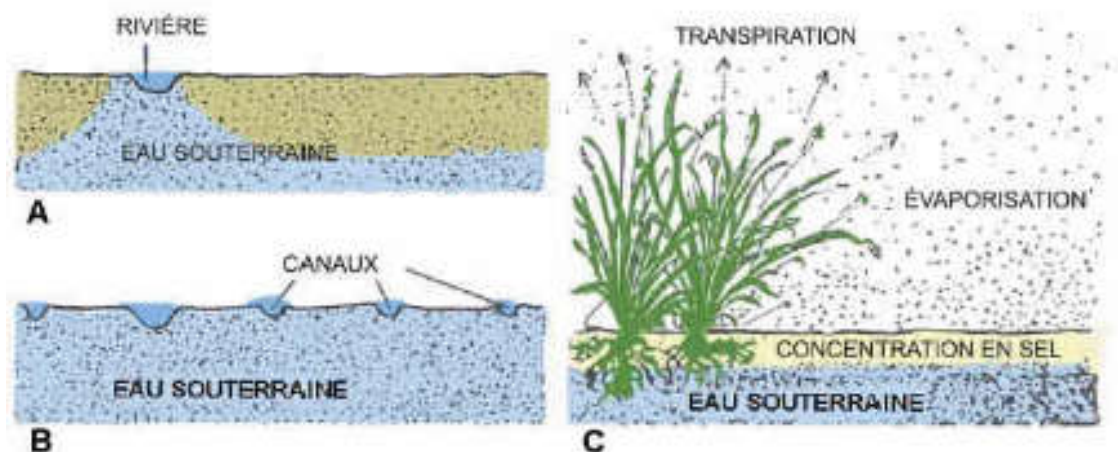


Figure4. Mécanismes du processus de salinisation des sols : L'irrigation (A) entraîne une stagnation de l'eau dans les sols (B) due au manque de drainage d'où résulte l'accumulation des sels en surface suite à l'évaporation (C) (FRANÇOIS,2008).

Tableau2 : Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008)

Région	Superficie
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,7
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du centre et du Nord	211,7
Asie du sud	87,6
Total	954,8

Selon les estimations de la FAO, la salinisation affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (LEGROS, 2009). La plupart de ces terres affectées par le sel sont situés dans les zones arides et semi-arides, en Afrique du Nord, en Asie orientale, en Asie centrale et du Sud de l'Asie (FAO, 2006) (Fig5). Les sols salés sont principalement situés dans les zones arides, et leur proportion est notablement élevée au proche (Egypte, Tunisie) et moyen orient (Iran, Pakistan, Bangladesh), en Asie centrale

(Ouzbékistan), au nord de la Chine et en Argentine. Les sols sodiques sont particulièrement étendus en Australie, mais aussi dans certaines situations spécifiques, comme en Hongrie ou en Ouzbékistan. Par comparaison, le développement d'une salinité liée aux activités humaines ne concernerait que 77 millions d'hectares (MARLET et JOB, 2006). Dans les pays du Maghreb, les dommages de la salinisation sont connus, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation (DJILLET *al.*, 2003).

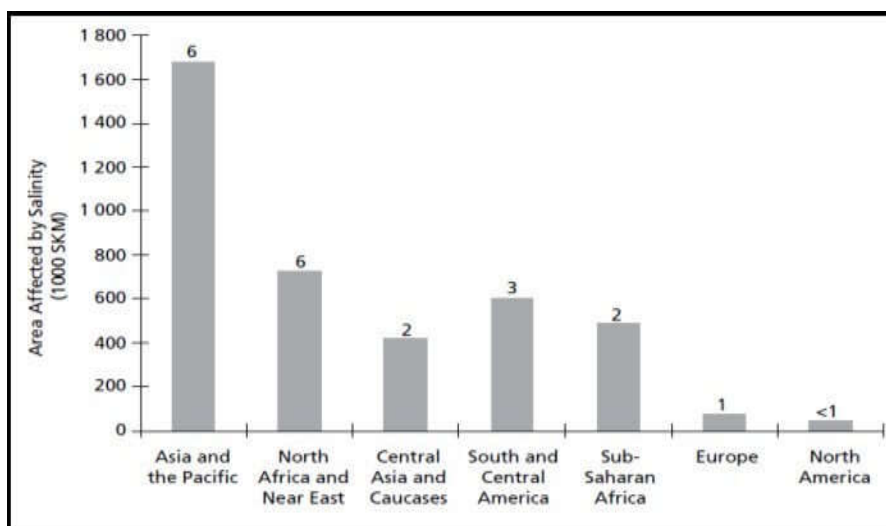


Figure5. Superficie affectée par la salinité dans les différentes régions du monde (FAO, 2006)

4.2. Répartition des sols salés en Algérie

L'Algérie, dont plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par la salinisation (DOUAOUI et HARTANI, 2007), 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. Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, HabraSi, Maghnia) dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sbkhas (Chott Echergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhha d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zahrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis) (INSID, 2008).

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

Tableau 3 : Classement des Wilayas touchées par la salinité en fonction du pourcentage de la S.A.U (BENZELLAT , 2012).

Région	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

5. Paramètres de la salinité

5.1. Conductivité électrique

La conductivité électrique traduit la concentration de la solution du sol en électrolytes, et directement proportionnelle à la teneur en sels d'un sol (Tableau 2). Elle est exprimée en déci siemens par mètre (dS/m) ou en millésimes par centimètre (mS/cm) (RICHARDS,1954).

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans

l'échantillon, c'est-à-dire son degré de salinité, cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm Ω) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions porteurs de charges électriques augmentent.

En science du sol, la conductivité électrique (CE) est exprimée en mmho/cmoudS/m (mmho=millimho, S=siemens) à une température de 25C° (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).

5.1.1. Méthode de mesure de la conductivité électrique

Pour extraire les sels solubles et apprécier la salinité du sol, deux méthodes peuvent être utilisées:

5.1.1.1. Technique de l'extrait de la pâte saturée

La salinité du sol peut être déterminée en mesurant la conductivité électrique d'une solution extraite à partir d'une pâte saturée en eau du sol. La conductivité électrique comme E_{CE} (conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée) avec des unités de deci-Siemens par mètre (dS.m⁻¹) ou du milli Mhos par centimètre (mMhos.cm⁻¹) exprime la mesure d'anions et de cations dans le sol (HAJ NAJIB, 2007).

Cette méthode a été mise au point par les chercheurs de l'U.S.SALINITY LABORATORY. La pâte saturée correspond à la "limite de liquidité" d'Atterberg c'est-à-dire l'humidité à saturation. Dans ce cas le volume d'eau apporté est variable car dépendant fortement de la texture du sol, donc de sa capacité de rétention. Cette façon de faire vise à se rapprocher au mieux de ce qui se passe dans le sol, tout en opérant en conditions standardisées.

Elle permet notamment de se rapprocher d'une réalité agronomique, l'humidité étant, à proximité de la capacité de rétention, la plus efficiente pour la plante. Cependant, cette méthode apparaît techniquement très longue à mettre en œuvre, de plus la confection de la pâte est difficile et l'extraction de la solution parfois impossible. C'est pourquoi aux extraits sur pâte saturée, on préfère souvent les extraits non saturés (DIB, 1995).

Etant donné que la concentration des sels dans un sol est fonction de la teneur en eau, on est obligé de se référer à des conditions standards d'humidité, pour pouvoir obtenir des résultats comparables entre eux. C'est pourquoi on utilise généralement l'extrait saturé. Cette méthode

consiste à faire sécher l'échantillon de sol, le broyer, le tamiser à 2mm et le porter à saturation par addition d'eau distillée. C'est donc, préparer une pâte caractéristique dont on extraira la solution par centrifugation ou aspiration sous vide. C'est sur l'extrait ainsi obtenu que se fait la mesure de la conductivité électrique rapportée à la température standard de 25°C.

5.1.1.2. Technique de l'extrait dilué

Les extraits dilués sont au 1/1, 1/2,5, 1/5, 1/10 du rapport sol/eau distillée, par cette méthode, l'extraction est rapide, mais les solutions sont moins représentatives de la solution du sol (BENZAHI, 1994). Selon AUBERT(1978), un sol est considéré salé, lorsque la conductivité électrique de son extrait dilué 1/5 est supérieure ou égale à 2dS/m.

5.1.2. Echelle de la salinité

Classes de la salinité en fonction de l'extrait de la pâte saturée

United States Salinity Laboratory de Riverside a mis en place une échelle, dite agronomique, exprimée en terme de conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée qui varie de 0 à 16 mmhos/cm (MUSTAPHA, 2011) répartit comme suit:

Tableau 4 : Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée(ps)

Classes	Conductivité (dS/m)	Classe de salinité
1	$0 < CE_{ps} < 2$	pas de salinité
2	$2 < CE_{ps} < 4$	salinité très faible
3	$4 < CE_{ps} < 8$	salinité modérée
4	$8 < CE_{ps} < 16$	sol salé
5	$CE_{ps} > 16$	très fortement salin

Une deuxième échelle a été mise en place par ce même laboratoire américain. Ils 'agit d'une échelle de salinité en terme de conductivité électrique de l'extrait aqueux au 1/5

Tableau 5: Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25 °C (Mathieu et Pieltain, 2009)

CE_{e 1:5} à 25°C	Classe de salinité
CE _{e 1:5} ≤ 0,6	Non salé
0,6 < CE _{e 1:5} ≤ 1	Légèrement salé
1 < CE _{e 1:5} ≤ 2	Salé
2 < CE _{e 1:5} ≤ 4	Très salé
CE _{e 1:5} > 4	Extrêmement salé

5.1.3. Relations entre les deux extraits :

Selon **GEORGEK argaset al. (2018)**, l'extrait de la pâte saturée est lié aux extraits dilués suivant les formules suivantes :

*Relation entre l'CEe et les extraits dilués (1/1 et 1/5) :

La relation linéaire entre les valeurs de l'extrait de la pâte saturée CEE et l'extrait dilué CE_{1/1} est :

$$CEe = 1,83 \cdot CE_{1/1} - 0,117$$

*Relation entre CEE et l'extrait dilué 1/5

La relation CEE = f(CE_{1/5}) est donné par l'expression :

$$CEe = 6,53 \cdot EC_{1/5} - 0,108$$

Quant aux **FORKUSTA et al. (2009)**, l'extrait de la pâte saturée est lié à l'extrait dilué suivant la formule suivante :

$$CEe = 3 (EC_{1/1})$$

5.1.4. Caractères des sels dans le sol

5.1.4.1. Solubilité des sels

La composition de la solution, le pH et la température sont les paramètres influençant la solubilité des sels. Les sels se solubilisent par des formes différentes. En effet, les chlorures sont les plus solubles, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont moyennement

solubles. En revanche, lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque insolubles (NOUMEN, 2011).

5.1.4.2. Mouvement des sels

Les sels dans le sol peuvent se déplacer d'un horizon à un autre sous l'action de divers facteurs. Les sels les plus solubles sont généralement les plus mobiles. Le mouvement des sels dépend des états physiques de l'eau du sol, du gradient de température existant dans ce sol, et de la texture des sols etc.

5.2. pH du sol

Le pH du sol est une notion permettant de façon commode et précise de désigner la réaction du sol. Les sols halomorphes ont un pH supérieur à 7. Il augmente en corrélation avec le rapport $\text{Na}^+ / \text{C.E.C.}$ (DUCHAUFOR, 1977). Le pH est une expression logarithmique de l'acidité d'une solution. Il est mesuré par un pH mètre à électrode en verre, préalablement étalonnée à l'aide d'une solution tampon de pH connu sur de l'extrait aqueux au 1/5 de la solution du sol (MUSTAPHA,2011).

Les sols salins quand ils sont prédominés dans leur milieu par des acides forts et des bases fortes (sulfates, chlorures, nitrates de calcium, magnésium et sodium), le pH reste inférieur à 8.5 et le sol modérément alcalin. Par contre, quand les sels d'acide faible (carbonates) sont présents, le pH s'élève au-dessus de 8.5 jusqu'à 10(DUCHAUFOR, 1977). Selon la classification de SOLTNER(1989), les sols sont classés en fonction du pH de l'extrait aqueux au 1/2.5 (Tab.5).

Tableau 6 : Classification des sols selon le pH de l'extrait aqueux au 1/2,5 (SOLTNER, 1989)

pH	Classes
5 à 5,5	Très acide
5,6 à 5,9	Acide
6 à 6,5	Légèrement acide
6,6 à 7,2	Neutre
7,3 à 8	Alcalin
8	Très alcalin

Tableau 7: Classes de pH des sols selon l'extrait 1/5 le pH (SOLTNER, 1989)

pH	Classes
5à5, 5	Très acide
5,6à5, 9	Acide
6à6, 5	Légèrement acide
6,6à7,2	Neutre
7,3à8	Alcaline
>8	Très alcaline

5.3. Sodium absorption ratio(SAR)

Il s'agit d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau de l'alcalinisation de la solution du sol (RICHARDES, 1954).Le SAR est déterminé par la relation suivante (DURAND ,1958).

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

Avec l'unité de (Na⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺) définie par méq/l. Selon MADANI(2007), le SAR est un critère utilisé pour prévoir l'évolution de la composition du complexe d'échange. D'après CHERBUY (1991) on peut distinguer deux cas :

- Si le SAR > 10, il y a sodisation
- SAR <10 , il y pas enrichissement du complexe d'échange en sodium.

Le SAR constitue un critère d'appréciation de la qualité des eaux d'irrigation car il définit leur pouvoir alcalinisant.

Tableau 8 : Classification de SAR (Sodium absorption ratio)
(SERVANT *et al.*, 1966)

SAR	Degré d'alcalinisation
≤ 4	Basse alcalinisation
4 ≤ SAR ≤ 8	Faible alcalinisation
8 ≤ SAR ≤ 12	Alcalinisation moyenne
12 ≤ SAR ≤ 18	Alcalinisation Fort
>18	Alcalinisation intense

5.4. Taux de sodium échangeable(ESP)

Ce terme permet de caractériser le stade d'alcalinisation d'un complexe d'échange, l'ESP est en fonction de la CEC exprimée en (meq/l) (RICHARDS, 1954).

$$\text{ESP} = \text{Na}^+ / \text{Quantité totale des cations absorbées}$$

Et exprimé par la formule qui suit (Richards, 1954) :

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

Na^+ : exprimé en meq/100 g

CEC : exprimé en meq/ 100g

La norme retenue par l'USSL (1954) pour le taux de sodium échangeable est de 15 % de la capacité d'échange cationique (CEC). La limite de classe pour le taux de sodium échangeable est donnée comme suit :

- ESP <5% alcalinité légère
- 5% <ESP <20 % alcalinité modérée
- 20 % <ESP <45 % alcalinité grave
- ESP <45 % alcalinité très grave.

De nombreux travaux ont tenté d'établir une relation entre ESP et SAR .Toutefois, ces relations sont en fait peu fiables pour déterminer précisément la composition chimique du complexe d'échange (MADANI, 2007).

5.4.1 Formule de relation entre SAR et ESP

La relation la plus classique et la plus utilisée est celle proposée en 1954 par l'U.S.S.L sur la base des mesures réalisées sur 59 types de sols différents.

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

6. Classification les sols salés

6.1. Sols salins (Solontchaks)

Ce sont des sols qui ont une conductivité d'extrait de pâte saturée à 25°C supérieure à 4 dS /m et dans les quels le E.S.P est inférieur à 15 % de la CEC, le pH est généralement inférieur à 8.5. Les Solontchak sont une grande extension dans les zones sahariennes où ils s'extériorisent par des efflorescences blanches à la surface des sols et parfois par une véritable croûte saline (SERVANT, 1970 ; HALITIM, 1973).

6.2. Sols salés à alcali (Solontchaks solonetz)

Dans ce type de sol, la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée à 25°C est supérieure à 4 dS /m et le E.S.P est supérieur à 15 % de la CEC. Le pH est supérieur à 8.5.

6.3. Sols à alcali (solonetz)

Ils se caractérisent par une quantité élevée en Na⁺ échangeable suffisamment importante pour provoquer la destruction de la structure (E.S.P supérieur à 15 % de la CEC). La conductivité électrique est faible et ne dépasse pas 4 dS/m. Le pH élevé caractérisant ces sols (entre 8.5 – 10), permet la biodégradation de la matière organique en donnant une couleur noire, d'où l'apparition du salant noir dans les régions sahariennes. Les cations Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ se précipitent, ce qui explique la pauvreté de ces sols en éléments chimiques.

Les caractéristiques physico-chimiques de ces classes sont mentionnées dans le tableau N°08.

Tableau 9 : Classification des sols salés

Classe	Sols salins (Solontchaks)	Sols salés à alcalis (Solontchaks Solonetz)	Sols alcalins (Solonetz)
CE dS/m (à 25C°)	> 4dS/m	> 4dS/m	< 4dS/m
pH	< 8.5	< 8.5	> 8.5
ESP (%CEC)	< 15 %	> 15 %	> 15 %

(BERNARD LECLERC, 2000)

La classification des sols salés en fonction de la CE et le SAR est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Classification des sols salés en fonction de la CE et le SAR
(RICHARD, 1954)

Type des sols	CE (dS/m)	SAR
Sols salins	CE >4 dS/m	SAR <13
Sol sal-sodiques	CE >4 dS/m	SAR >13
Sol sodique	CE <4 dS/m	SAR >13

7. Effets de la salinité sur les propriétés du sol

L'excès de sel dans un sol affecte les propriétés et peut créer des graves problèmes au niveau du sol

7.1. Effets sur les propriétés physiques de sol

La structure du sol est la manière dont les particules primaires du sol sont disposées en agrégats. D'une part, il contrôle la pénétration des racines dans le sol et d'autre part le déplacement de l'eau et des nutriments de la masse du sol vers les racines.

L'augmentation de la quantité de sodium dans un sol entraîne la destruction de sa structure. En effet, un excès de sodium favorise la dispersion des colloïdes minéraux et par conséquent la réduction de la structure poreuse du sol. La salinisation augmente ainsi l'imperméabilité des couches profondes du sol, ce qui empêche l'aération et l'absorption d'eau nécessaire pour une bonne croissance des plantes (BELMABROUK, 2019).

7.1.1. Effets des sels sur la stabilité structurale

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%. Le rapport Na^+/Ca^{++} influe sur la dispersion des colloïdes (SOFFIH, 2017).

7.1.2. Effets des sels sur la perméabilité

Selon SOFFIH (2017), la perméabilité dépend essentiellement de la texture, la structure, le type de cations absorbés et le taux de matière organique, la diminution de la perméabilité des sols salés à alcalins est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par l'ion Na. Cette perméabilité commence à augmenter avec la salinité du fait de la formation des agrégats par l'action flocculant des sels, puis elle se maintient constante.

7.1.3. Effets des sels sur la rétention en l'eau

Les sols salés peuvent rester humides même en saison sèche en raison de leur caractères hygroscopiques (SOFFIH, 2017), toutefois en raison du potentiel osmotique de la solution du sol, cette réserve hydrique n'est pas toujours disponible (HALITIM, 1973).

7.2. Effets sur les propriétés physico-chimiques

La salinité affecte les propriétés chimiques du sol tels que le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), le pourcentage de sodium échangeable (ESP), le carbone organique et modifie le potentiel osmotique et matriciel du sol (WANG *et al.*, 2014).

7.2.1. pH (réaction du sol)

La réaction du sol est influencée par la nature des sels. Alors que certains sels sont acidifiants (CaSO_4 , KCl , MgSO_4), d'autres sont alcalinisant (NaHCO_3 , CaCO_3 , NaCO_3) (OUSTANI, 2006).

7.2.2. Taux de sodium échangeable (ESP)

Le taux de sodium échangeable a une grande importance dans les sols alcalins, vu que ces derniers retiennent de faible concentration en sels solubles et la grande quantité de sodium se trouve sous la forme échangeable. Tandis que, dans le cas des sols salés, la grande partie de sodium se trouve dans la solution du sol (OUSTANI, 2006).

7.2.3. Capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique exprime l'aptitude d'un matériau à retenir des cations sous forme échangeable. C'est une propriété des sols à la fois utile et intéressante. Certains sols (particulièrement sableux légers), ont une faible capacité d'échange en cations. L'application de

la matière organique à ce type de sol contribue donc à l'augmentation de la capacité d'échange cationique de ces terres (KOLL,2007).

La CEC est utilisée comme mesure de la fertilité, de la capacité de rétention des éléments nutritifs. Une CEC élevée permet au sol de retenir une grande quantité de nutriments pour une utilisation par les plantes. Par contre un sol à basse CEC ne peut retenir qu'une faible quantité de nutriments sur les sites d'échanges (DIOUMACOR,2016).

7. 3. Effet de la salinité sur les propriétés biologiques du sol

La teneur excessive en sel présente dans les sols un impact adverse sur les populations microbiennes et sur leurs activités. Plusieurs études ont montré l'effet négatif de la salinité sur la biomasse microbienne totale, la biomasse fongique (DIOUMACOR, 2016).

Ces sols sont défavorables pour la vie des micro-organismes en raison de la présence des ions toxiques et de leur pH très basique ainsi que leur structure asphyxiante (OUSTANI,2006).

L'augmentation de la salinité inhibe plusieurs activités enzymatiques dans sol, telles que les activités phosphatase alcaline et β -glucosides. Les sels ont un effet stimulant sur la minéralisation du carbone, mais peuvent devenir toxiques pour les micro-organismes avec des concentrations croissantes(CHANDRA *et al.*, 2002).

7.4. Effet de la salinité sur la plante

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (LEVIGNERON *et al.*, 1995). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (ASHRAF *et HARRIS* 2004).

Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des noeuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige. Une baisse des poids de matières fraîches et sèches est aussi démontrée (HAMROUNI *et al.* 2011). Cette inhibition de la croissance des plantes se fait selon trois manières principales : par une toxicité ionique (surtout de Na^+ et Cl^-),

un stress osmotique et une perturbation nutritionnelle (**GREENWAY et MUNNS, 1980 ; LEVIGNERO *et al.*, 1995 in LEMZERI, 2007**).

8. Lutte contre la salinité des sols

Selon **STEPHANE *et al.* (2016)**, le choix de stratégies de lutte appropriées est très dépendant de la qualité du diagnostic du sol. Les sols des zones arides chauds présentent un cortège diversifié de sels, une structure abimée, un faible pouvoir épuratoire et une faible capacité de drainage. Les actions curatives préconisées sont :

• Restaurer la fonction de drainage du système

Cette action se décompose en deux parties :

- ✓ Dans un premier temps, il faut restaurer la structure des sols. Souvent, il s'agit de d'augmenter la teneur en matière organique et la porosité des sols .
- ✓ Dans un second temps, il faut assurer un entretien des réseaux d'assainissements (optimiser la gestion collective des réseaux).

• Favoriser la lixiviation des sels

Il s'agit là de dissoudre les sels accumulés dans le sol par des apports d'eau souvent importants. Les sels dissouts étant par la suite entraînés au-delà de la zone racinaire par le mouvement descendant de l'eau. L'apport d'eau ne doit pas provoquer la remontée de la nappe ou de remontées capillaires. C'est pourquoi les conditions d'un drainage performant doivent être préalablement assurées.

• Apporter des cations de substitution (souvent combiné à l'apport d'eau)

Cette technique consiste à apporter des cations (Ca^{++} , ou autres) en vue de substituer le sodium par le nouveau cation apporté. L'idée simple est que le sodium qui pose problème soit remplacé par un autre cation moins problématique.

Souvent, c'est le gypse qui est apporté pour remplir ce rôle. Le gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ est un minéral hydraté (H_2O) composée de sulfate (SO_4^{2-}) et de calcium (Ca^{2+}). Là encore, il faut être vigilant car l'apport de nouvelles espèces chimiques ne doit pas provoquer de nouveaux déséquilibres.

Les amendements organiques peuvent être utilisés comme source de substitution pour remplacer le sodium.

L'introduction de nouveaux cations doit donc être raisonné au regard des analyses de terres.

- **Utiliser des variétés tolérantes à la salinité**

Parmi les voies et les moyens permettant de lutter contre la salinité des eaux et des sols, il est fait souvent appel à l'amélioration génétique par le biais de la biotechnologie et la sélection des espèces et/ou variétés adaptées à ces conditions extrêmes du milieu. Les problèmes de salinité peuvent être contre balancés par l'utilisation de variétés tolérantes aux fortes concentrations en sels.

Chapitre III

La salinité des eaux d'irrigation

1. Définition de l'irrigation

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (EI-ASSLOUJE *et al.*, 2007).

2. Qualité 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 (ABIBSI, 2011).

3. Processus de dégradation de qualité du sol suite à l'irrigation :

Le degré de salinisation d'une surface irriguée dépend de plusieurs facteurs dont la qualité de l'eau d'irrigation, la qualité du sol, les conditions climatiques et le niveau de la nappe (LAHLOU *et al.*, 2002). L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire; qui est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de meilleure qualité contient des sels dissous et, même si les quantités de sels apportés par cette eau sont négligeables, mais avec le temps, elles entraînent un dépôt de sels dans le sol qui peut s'avérer considérable. En fait, l'eau pure est perdue par évaporation, mais les sels restent et s'accumulent. Dans les régions arides, l'effet est d'autant plus marqué à cause d'une part, de la forte minéralisation des eaux de surface et des eaux souterraines et d'autre part, du climat sec qui crée une demande d'évaporation élevée ce qui se traduit par la nécessité de grandes quantités d'eau pour l'irrigation des cultures (FAO, 2006). Ainsi, les sels accumulés d'une irrigation à l'autre entraînent un risque de salinisation sans alcalinisation du sol, si la teneur en Na^+ fixée sur le complexe adsorbant ($\text{Na}^+/\text{T} < 15\%$). Toutefois, si la teneur de Na^+ fixé est élevée, et parfois une teneur en magnésium (Na^+/T ou $\text{Na}^{++}/\text{Mg}^{++}/\text{T} > 15\%$), le sol risque d'avoir un problème desodification ou alcalinisation. Le pH dans ce cas est généralement supérieur à 8,5. Ce type de sol est extrêmement peu fertile (Fig 6)(MATHIU *et al.*, 2007).

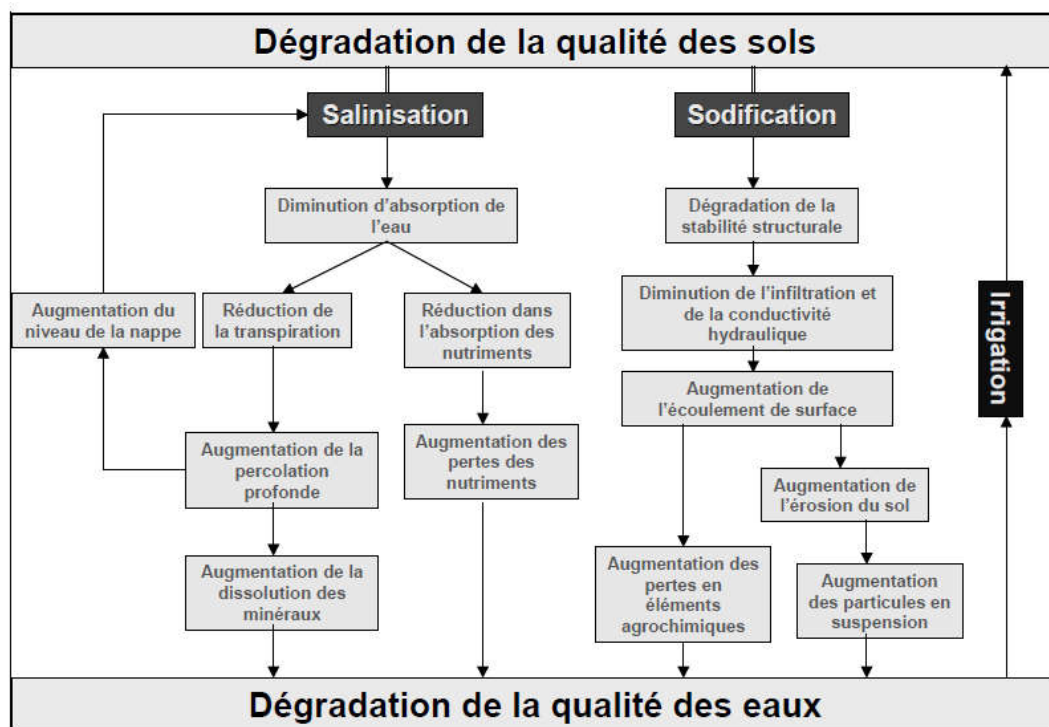


Figure06 : Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation Source (LAHLOU et al., 2002)

4. Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées. De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies. Une eau est conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes. L'exemple du, tableau 10 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (BOUAROUDJ, 2011).

Les normes ont pour objectif de :

- Protéger le public et les ouvriers agricoles
- Protéger les consommateurs des produits agricoles
- Protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols

- Protéger le matériel d'irrigation
- Maintenir des rendements acceptables

**Tableau 11: Barème de qualité pour l'eau d'irrigation
(MAYNARD et HOCHMUTH, 1997).**

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Elevée
Salinité - Conductivité (mS/cm) - Matières dissoutes totales (mg/l)	< 0.75 < 700	0.75-3.0 700-2000	> 3 >2000
SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3-9 >	> 9
Alcalinité ou dureté	80-120	-	>200
pH (risque de colmatage)	< 7	7-8	> 8
Fe mg/l (risque de colmatage)	< 0.2	0.2-1.5	> 1.5
Mn mg/l (risque de colmatage)	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

La concentration et la qualité des sels des eaux d'irrigation varient selon l'origine de ces eaux (Pluies, oueds, fleuves, eaux souterraines....) (ABDELAZZIZ, 1998 In GOUAREH, 2006).

5. Classification des eaux d'irrigation

Selon MASMUDI (2012), l'évaluation des eaux d'irrigation est différente selon les pays. De ce fait, les classifications des eaux d'irrigation ne doivent pas être considérées comme standards indiscutables mais comme des guides généraux à adapter en fonction des conditions locales de chaque pays.

Il est presque impossible d'établir des critères généraux pour l'eau d'irrigation. Toutefois, cinq principaux critères sont généralement utilisés pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation (COUTURE, 2006) :

- **Salinité** : contenu total en sels solubles.
- **Sodium** : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
- **Alcalinité et dureté** : concentration d'anions carbonate (CO_3) et bicarbonate (HCO_3) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+})
- **Concentration en éléments toxiques**
- **pH** : de l'eau d'irrigation

5.1. Teneur des sels dans les eaux d'irrigation (risque de l'excès de sels)

Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines. L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs :

- La tolérance en sel de la culture
- Les caractéristiques du sol sous l'irrigation
- Les conditions climatiques.

La qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols.

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-).

Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La concentration en sel est donnée par le TDS (qualité totale de matière dissoute) exprimé en mgde sel par litre d'eau (mg/l) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (g/m^3). Elle peut être aussi mesurée grâce à la conductivité électrique de l'eau d'irrigation(CE_w), qui est exprimée en millimhos par centimètre (mmhos/cm) ou decisiemens par mètre (dS/m) ou microsiemens par mètre (dS/m) ou microsiemens par centimètre, sachant que $1\text{dS/m}=1000\mu\text{s/cm}$.

Résidus secs

Il représente la totalité des sels dissous contenue dans l'eau après évaporation à 110°C , il renseigne sur la minéralisation globale de l'eau. La classification des eaux d'irrigation en fonction résidus secs est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Classification des eaux d'irrigation en fonction résidus secs

Concentration RS en mg/l	Classe d'eau	Utilisation
RS < 250	Eau très peu minéralisée	la fabrication de lavapeur, mais ne pouvant convenir à la distribution public sans un apport de sels dissous
250 < RS < 500	Eau peu minéralisée	utilisable pour l'industrie et pouvant servir à la distribution public d'eau potable.
500 < RS < 1000	Eau normalement minéralisé	correspond aux normes d'eau potable.
1000 < RS < 1500	Eau non conforme aux normes de potabilité	utilisée pour l'irrigation et abreuver les animaux
RS > 1500	Eau très salée	impropre en dehors d'un usage balnéaire.

5. 2. Teneur en sodium (risque d'alcalinité : excès de sodium dans l'eau d'irrigation)

Une grande quantité d'ions de sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est due au fait que le sodium présente dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles et cause la dispersion des particules dans le sol. Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols.

Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure. Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. Par exemple les sols sableux ne subiront

pas de dommage si facilement en comparaison aux plus lourds ils sont irrigués avec de l'eau a haut SAR.

L'indice est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Le SAR est défini par l'équation suivante:

5.3. Risque lié aux carbonates et aux bicarbonates

Une forte teneur en carbonate et en bicarbonate augmente la valeur du SAR, les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) ou carbonate de magnésium (MgCO_3) dans des conditions de sécheresse.

Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, la teneur en sodium donc l'indice SAR devient plus important. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le PH. Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un PH élevé, ça peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate. Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, la teneur en sodium donc l'indice SAR devient plus important. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le pH.

Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un pH élevé, ça peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate.

5.4. Risques liés aux éléments toxiques dans l'eau d'irrigation

Certains éléments contenus dans le l'eau d'irrigation peuvent être directement toxiques à la culture. Établir des limites de toxicité pour l'eau d'irrigation est compliqué de par les réactions qui peuvent se passer quand l'eau atteint le sol. Le bore, le sodium et le chlore sont à surveiller :

- **Excès de bore :** Des excès en bore sont presque tout le temps associés à des puits très profonds qui ont également une forte salinité. Une eau d'irrigation contenant plus de 1 ppm de bore (B) peut causer une accumulation toxique pour les cultures sensibles, tel l'ail, l'oignon, les haricots et les fraises.

- **Les chlorures** : les chlorures peuvent causer des dommages lorsqu'ils sont en trop grande quantité dans l'eau d'irrigation, à plus forte raison lorsqu'elle est appliquée par aspersion.
- **Les sulfates** : Les plantes sont très tolérantes aux sulfates. Leur concentration est généralement mesurée afin d'en prévenir les carences plutôt que d'en vérifier les excès potentiels. Des carences en soufre peuvent être appréhendées si l'eau d'irrigation contient moins de 48 ppm de sulfates.
- **Les métaux lourds** : Les éléments traces sont, en général immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échanges d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence, à terme, des risques pour le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux. Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont ; le cadmium (Cd), cuivre(Cu), Molybdène (Ni) et zinc (Zn).

5.5. pH de l'eau d'irrigation

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale. Afin de baisser le pH, il est possible d'injecter de l'acide. L'acide phosphorique et l'acide nitrique peuvent être utilisés mais l'acide sulfurique reste l'acide le plus populaire.

5.6. Classification de l'U.S.S.L

La classification de l'U.S.S.L a été proposée par laboratoire de Riverside (**RICHARDS, 1954**). Elle est basée sur : la conductivité électrique exprimée en CE (dS/m) et le SAR (% de Na échangeable) .

5.6.1. Teneur en sels dans les eaux d'irrigation (Danger de l'excès de sels)

D'après **DURAND (1958)**, ce caractère permet de déterminer les classes suivantes : (Tableau 12).

Tableau 13 : Classification des eaux en fonction de la teneur en sels

(American Society of Civil Engineers, 1947)

Classes	Conductivité électriques en $\mu\text{mhos/cm}$	Définition
C1	< 250	Eau a faible salinité. Elle peut être utilisée pour laplupart des cultures sur la plus part des sols.
C2	250 -750	Eau de salinité moyenne. Elle peut être utilisée s'ilse produit un lessivage modéré.
C3	750 -2250	Eau à forte salinité.Elle ne peut pas être utiliséesur des sols faiblement drainés même lorsque ledrainage est suffisant
C4	2250 – 5000	Eau a très forte salinité. Elle ne convient pas àl'irrigation dans des conditions ordinaires

Les études réalisées par **DURAND (1958)** sur la qualité des eaux en Algérie montrent que :

- ✓ 5% des eaux appartiennent à la classe C1,
- ✓ 28% des eaux appartiennent à la classe C2,
- ✓ 28% des eaux appartiennent à la classe C3,
- ✓ 21% au-delà de 6 mmhos/cmà la classe C4.

5.6.2. Teneur en sodium (SAR) dans les eaux d'irrigation (Danger de l'alcalinisation du sol : excès en sodium)

En fonction de l'alcalinisation des sols, quatre classes ont été distinguées par l'U.S.S.L (1954) :

Tableau 14 Teneur en sodium dans les eaux d'irrigation

(American Society of Civil Engineers, 1947)

Classes	SAR	Définition
S1	$SAR < 10$	L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
S2	$10 < SAR < 18$	L'eau contenant une quantité moyenne de sodium peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine. Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
S3	$18 < SAR < 26$	Les eaux contenant une quantité élevée de sodium peuvent provoquer des difficultés dans la plus part des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques. S'il n'y a pas de gypse, il faut en ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.
S4	$SAR > 26$	L'eau contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropre à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage du gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

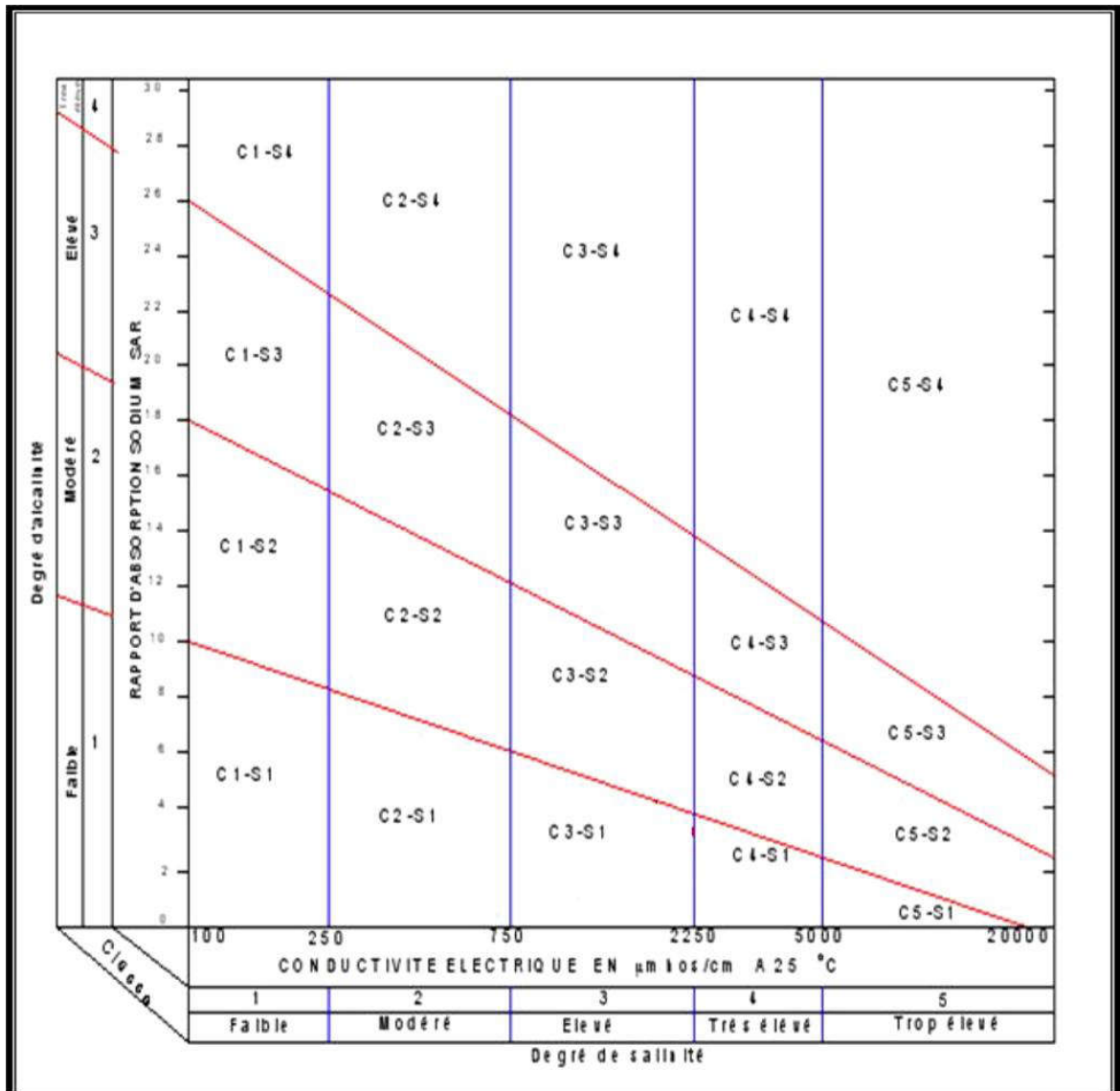


Figure :07. Diagramme de classification des eaux d'irrigation (D'après unitedstatetes

salinitylaboratory, U.S.S.L établie 1954)

Il est à noter que d'autres classifications sont utilisées pour classer les eaux d'irrigation on cite celle de CHRISTIANSEN, (1977) ; AYERS(1977) ; RIJTIMA(1981).

6. Lutte contre la salinité du sol liée à l'eau d'irrigation

Selon TAHRAOUI(2015),la lutte contre la salinité des eaux d'irrigation nécessite :

La limitation des apports d'eau excessifs

- Trouver un équilibre entre les besoins de la culture et les apports en eau. Tout apport supplémentaire correspondra à un apport de sels supplémentaire, surtout si la culture ne bénéficie pas de systèmes de drainage
- Augmenter la fréquence des irrigations et l'accroissement de l'apport d'eau aux plantes en considérant les besoin de lessivage
- Maitriser le couple irrigation-drainage.

Le contrôle régulier de la qualité de l'eau d'irrigation

- Eviter d'irriguer avec une eau avec un SAR supérieure à 6 ou une salinité de 1,5 mmho/cm.
- Suivit continuel qualitatif et quantitatif des ressources en eau.

Partie II

*Caractérisation de la salinité
du sol et celle de l'eau
d'irrigation (Etude de cas de
régions sahariennes au sud de
l'Algérie).*

Caractérisation de la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation au niveau de Huit régions d'étude au sud de l'Algérie.

Cette partie de notre travail a été inspirée d'un travail expérimental préliminaire réalisé l'année précédente, au biais, duquel les auteurs ont essayé de faire ressortir la relation entre la salinité du sol et de l'eau d'irrigation au niveau de 8 wilayas Sahariens au sud de l'Algérie : OUARLA, BISKRA, GHARDAIA, EL OUED, ILLIZI, TINDOUF et ADRAR . Le choix de ces régions a été basé sur les critères suivants :

- Situation en milieu aride (Saharien).
- Sols cultivés.
- Teneurs variables en sels.

1. Situation géographique des régions d'étude

Les huit régions d'études choisies appartiennent à la région aride (Saharienne). La situation géographique de ces régions est illustrée dans la figure suivant :

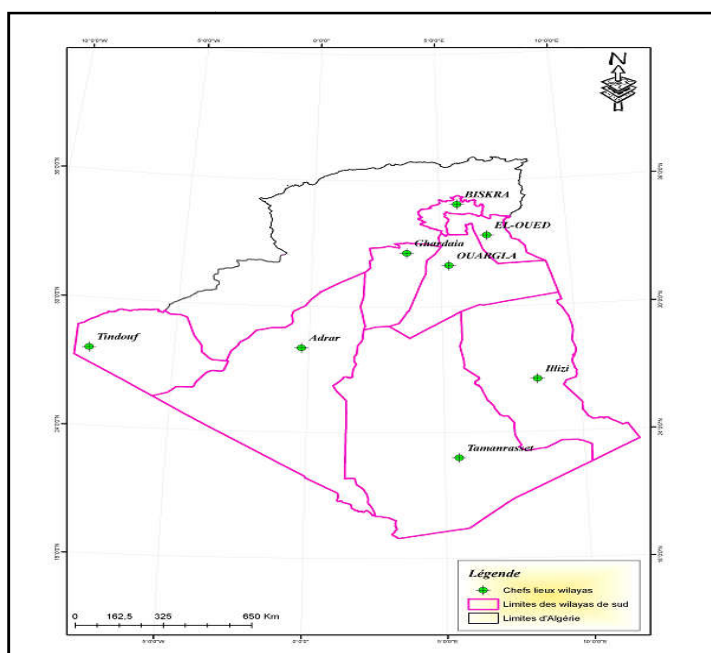


Figure 08 : Position géographique des régions d'étude (MOKKAR et MEBROUKI,2019)

2. Synthèse des données climatiques au niveau des régions de l'étude

La synthèse des données climatiques au niveau des régions d'étude est représentée par le Diagrammes ombrothermiques de Gaussen et par le Diagrammes d'Emberger (DAJOZ ,2003)

Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme d'Ombrothermique (Figure 09) montre que la période sèche s'étale sur toute l'année pour les 08 régions d'étude.

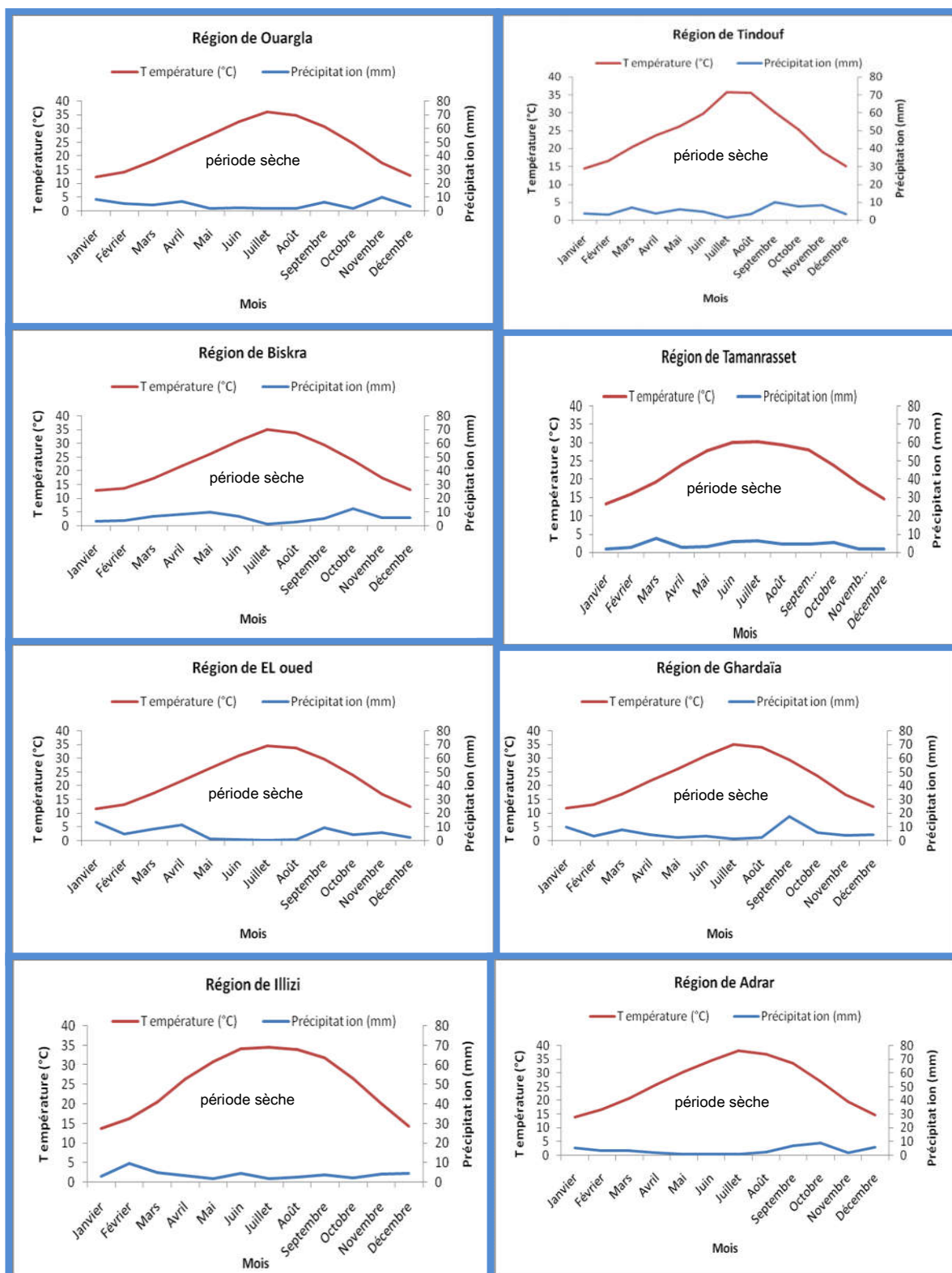


Figure 09 : Diagrammes ombrothermiques de Gausсен et Bagnouls applique des 08 régions d'étude

➤ **Climagramme d'Emberger**

Le Climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique des 08 régions d'étude et de donner une signification écologique du climat. A partir des valeurs de **Q3** et celles des températures minimums quotidiennes du mois le plus froid en °C, le type du bioclimat de chaque région par superposition de ces valeurs sur le Diagramme d'Emberger (Figure10). A partir de ce Climagramme, on constate que:

- ✓ L'étage bioclimatique de la région de Ouargla est de type saharien à hivers doux ,Q3= 3. 3.
- ✓ L'étage bioclimatique de la région de Adrar est de type : Climat saharien à hivers doux ,Q3=3,6.
- ✓ L'étage bioclimatique de la région de Illizi est de type : Climat saharien à hivers doux.,Q3= 4,3 .
- ✓ L'étage bioclimatique de la région de Tamanrasset est de type : Climat saharien à hivers doux , Q3=4,9.
- ✓ L'étage bioclimatique de la région de El oued est de type : Climat saharien à hivers doux. ,Q3= 5,2.
- ✓ L'étage bioclimatique de la région de Tindouf est de type : Climat saharien à hivers Chauds ,Q3= 5,8.
- ✓ L'étage bioclimatique de la région de Ghardaïa est de type : Climat saharien à hivers doux ,Q3=6,5 .
- ✓ L'étage bioclimatique de la région de Biskra est de type : Climat saharien à hivers Chauds ,Q3= 7,3.

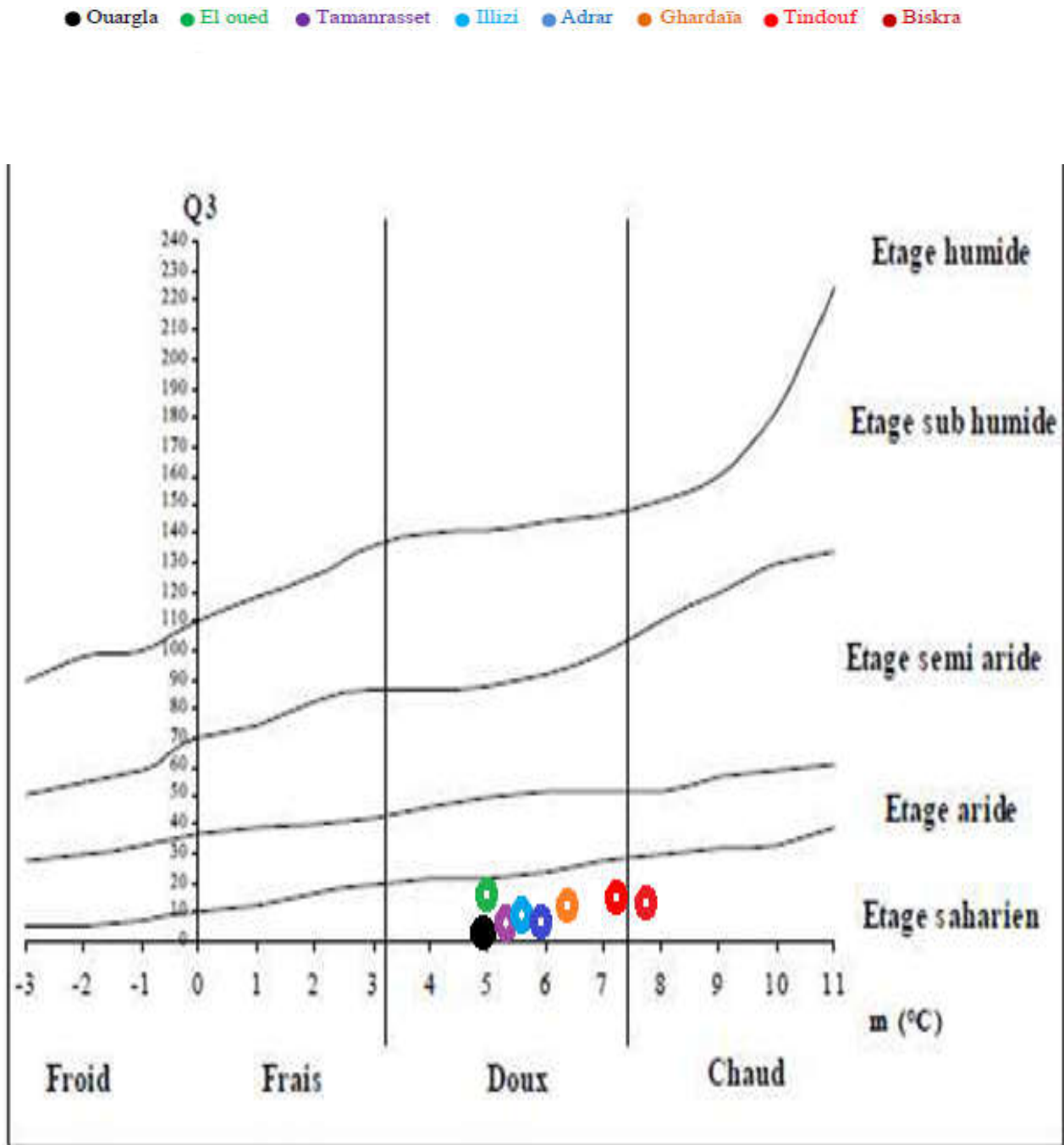


Figure 10 : Position des Huit régions d'étude dans le Climagramme d'Emberger (Modifié par Le Houérou 1995) .

3. Hydrogéologie au niveau des régions de l'étude

L'Hydrogéologie au niveau des 08 régions est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Hydrogéologie au niveau des Huit régions d'étude

Région	Aquifère et source d'eau
Ouargla	le continental intercalaire à la base et le complexe terminal au sommet
Biskra	La nappe phréatique ;La nappe des sables du mio-pliocène ;La nappe des calcaires l'éocène et du sénonien
Oued Souf	la nappe phréatique dite libre à la nappe la plus profonde qui est l'albien
Tindouf	les nappes de grès du Dévonien inférieur et du Cambro-Ordovicien, nappes confinées
Adrar	la nappe continentale intercalaire
Ghardaia	Complexe terminale en communication avec continentale intercalaire
Tamanrasset	Les nappes d'inféro-flux
Illizi	Le complexe hydrogéologique du bassin d'Illizi est situé dans le Cambro-Ordovicien.

4. Pédologie au niveau des régions de l'étude

Les principales caractéristiques du sol au niveau des régions d'étude sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau16 :Caractéristiques du sol au niveau des Huit régions d'étude

Région	Type de sol
Ouargla	texture sableuse et limono- sableuse et structure particulière
Biskra	texture limono argileux
Oued Souf	texture sableuse et structure particulaire
Tindouf	texture sablolimonueuse et structure particulière
Adrar	texture limono argileux particulière
Ghardaia	texture sablolimonueuse
Tamanrasset	texture sableuse avec structure particulière
Illizi	texture sableuse

5. Salinité du sol et de l'eau d'irrigation au niveau des Huit régions d'étude

La classification de la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation au niveau des 8 régions d'étude en s'appuyant sur les résultats de la mesure de la conductivité électrique (différents extraits), pH, SAR du sol et de l'eau d'irrigation sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 17: Classification du sol au niveau des Huit régions de l'étude
(Mokkar et Mebrouki,2019)

Les wilayas		Le sol				L'eau d'irrigation			
		CE dS/m	Ph	SA R	classé d'après l'échelle de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (AUBERT ,1978)	CE dS/m	pH	SAR	d'après la classification de CE (Durand ,1958)
Ouargla	Ps	16.42	/	89.81	Sol très salé	7.80	7.72	4.47	Salinité excessive
	1/1	1.85	/	495.96					
	1/2.5	7,19	7.17.9	240.04					
	1/5	2,69	7,7	167,66					
Biskra	Ps	19.03	/	18.47	sol salé	2.24	7.55	32.45	Forte salinité
	1/1	2.08	/	11.09					
	1/2.5	3,36	7.29	03.98					

	1/5	2,31	7,37	5,43					
ELoued	Ps	12.90	/	12.58	Sol très salé	2.06	7.49	18.57	Forte salinité
	1/1	2.07	/	12.58					
	1/2.5	3,83	7.62	03.40					
	1/5	2,88	7,45	3,57					
Gardaia	Ps	10.90	/	08.54	Sol très salé	2.78	8.37	03.42	Très forte salinité
	1/1	1.52	/	36.91					
	1/2.5	2,22	7.78	06.91					
	1/5	2,5	7,59	3,18					
Adrar	Ps	9.00	/	17.88	sol très salé	2.82	7.88	04.25	Très forte salinité
	1/1	1.68	/	10.73					
	1/2.5	6,65	7.58	03.99					
	1/5	2,45	7,49	6,87					
Illizi	Ps	6.35	/	20.73	Sol très salé	1.48	7.65	11.06	Forte salinité
	1/1	1.87	/	20.73					
	1/2.5	3,64	7.68	5.06					
	1/5	2,84	7,81	5,97					
Tindouf	Ps	7.60	/	7.49	sol salé	1.37	7.84	09.39	Forte salinité
	1/1	1.80	/	06.71					
	1/2.5	2,55	7.9	03.37					
	1/5	2,22	7,72	4,23					
Tamanras set	Ps	12.84	/	15.79	Sol très salé	2.79	7.94	28.74	Très forte salinité
	1/1	1.30	/	23.66					
	1/2.5	2,25	7.39	10.64					
	1/5	2,23	7,43	4,93					

6. Analyse

La conductivité électrique mesurée (pâte saturée et extraits dilués) dans les sols de 08 régions d'étude montre que les sols dominants sont très salés.

Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline, et les pratiques culturelles sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante.

En fait, la salinisation enregistrée dans les 08 régions d'étude résulte de la forte évaporation d'eau à partir du sol et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie à cause du climat aride qui caractérise les régions d'étude (**MUNNS *et al.*, 2006**).

L'activité agricole dans les régions sud de l'Algérie en général n'est possible qu'avec l'irrigation. Cette dernière repose presque totalement sur des eaux souterraines fossiles très minéralisées.

Le développement de la culture irriguée dans les régions arides entraîne souvent une extension secondaire des terres salées, liée à la dégradation chimique et physique des sols et à la mauvaise conduite de l'irrigation (**MENNASSERAS, 2009**).

Les résultats mentionnés dans le tableau N°17 indiquent que la conductivité électrique du sol (extrait pâte saturée) la plus élevée a été enregistrée dans la région de Biskra 19,03 dS/m, alors que la plus faible a été enregistrée dans la région de Tindouf 7,6 dS/m.

Quant à la salinité de l'eau, les résultats obtenus décèlent que la conductivité électrique la plus élevée de l'eau a été enregistrée dans la région de Ouargla, ce qui peut être expliqué surtout en évoquant la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation dans cette région par rapport aux autres régions, la mauvaise installation de réseau de drainage, la qualité des eaux de la nappe phréatique est très dégradée.

Les corrélations étudiées par **MOKKAR et MEBROUKA (2019)**, entre la salinité de l'eau et celle de l'irrigation ont bien montré l'origine secondaire de la salinité du sol au niveau de la plupart des régions étudiées, ce qui est liée notamment à la qualité trop minéralisée de l'eau utilisée pour l'irrigation dans ces régions.

En fait, l'extension de l'agriculture irriguée et l'utilisation des eaux saumâtres souterraines pour l'irrigation, combinées à une forte évaporation dans les régions arides, conduisent inévitablement à la salinisation des sols et des nappes d'eau.

Dans de nombreuses régions arides, et en particulier au Sud de l'Algérie, cette situation est aggravée par la raréfaction des ressources en eau douce suite aux faibles précipitations caractérisant ces régions. En effet, les eaux saumâtres constituent la majorité des eaux souterraines.

Toutefois, ces eaux à forte concentration en sels peuvent être utilisées en irrigation, si des pratiques de gestion adéquates sont appliquées (bonne choix de système d'irrigation, bon drainage, lessivage adéquat, fertilisation organique et minérale bien maîtrisée et fractionnée, choix de variétés des plantes résistantes..).

Conclusion générale

Conclusion générale

La concentration des sels dans les sols et dans l'eau sont actuellement considérées comme des menaces pour la durabilité de l'agriculture dans les régions arides. De ce fait, l'agriculture durable en milieu aride ne peut être possible que si on maîtrise la gestion de l'eau et du sol.

Ainsi, le suivi de l'évolution des sols sous irrigation apparaît indispensable pour garantir une agriculture irriguée rentable et durable dans la région aride.

Les eaux à forte concentrations en sels ne peuvent être utilisées en irrigation, si des pratiques de gestion adéquates sont appliquées (bonne choix de système d'irrigation, bon drainage, lessivage adéquat, fertilisation organique et minérale bien maîtrisée et fractionnée, choix de variétés des plantes résistantes..).

Recommandations et perspectives

Les points suivants synthétisent les principales solutions pour résoudre le problème de salinité du sol liée à l'irrigation :

- ✓ Mise au point des méthodes d'irrigation, et pilotage et prévoir un calendrier prévisionnel d'irrigation en fonction de la demande climatique, de la qualité des eaux, des types de sols, des cultures et des stades de développement. Tenant compte les potentialités hydriques de la région aride ;
- ✓ Mise au point des techniques de drainage, des fractions lessivantes et des techniques visant à lutter contre la salinité (apports d'amendements) en valorisant un aménagement hydro-agricole et le suivi d'évaluation : Le drainage des terres irriguées est très important pour contrôler et réduire la salinisation des sols, les eaux de drainage doivent être évacuées de manière sûre, ainsi elles peuvent être recyclées en installent des stations d'épuration. Certes les coûts d'installation d'un drainage sont énormes, mais le drainage naturel ou artificiel est obligatoire et en doit apporter régulièrement des doses de lessivage pour maintenir la composition saline de la solution de sol proche de celle de l'eau d'irrigation.
- ✓ Maîtriser la dose de lessivage ; L'irrigation des sols salés nécessite en plus de l'eau apportée aux cultures, un volume excédentaire permettant de lessiver les sels en profondeur. La détermination de la dose de lessivage est fonction de plusieurs paramètres, dont la nécessité d'une étude pour la définir.

- ✓ Utilisation de modèles de simulation mathématiques pour une gestion efficace de l'irrigation par les eaux salées, avec contrôle de la salinité des sols et des rendements des cultures.
- ✓ La tolérance des plantes cultivées vis-à-vis de la salinité varie largement en fonction de l'espèce, de la variété, du stade végétatif et des facteurs liés au milieu. Néanmoins l'historique de la région et le choix stratégique du pays doivent être orienté vers le choix des variétés adaptées à la salinité.

Liste de référence

A.N.R.H., 2000 _Notes relatives à la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla, 11 pages

Adnan Farida, 2015 _Etude de la qualité des eaux de surface destinées à l'irrigation : cas de barrage Dahmouni ,wilaya de Tiaret, Mémoire Master , Université Blida1 pp5

Aggoussine M., 2003: Hydrologie en régions arides et semi arides : cas du Sud- Est Marocain, terre et vie. N° 65 Juin. Athens, Greece, Water **2018**, 10, 1589; doi:10.3390/w10111589, pp11

AISSAOUI Hichem, 2012 _ Effet des produits phytosanitaires et les engrais, sur l'abondance des métaux lourds (Cu, Zn) dans le sol et le végétal dans la région de Biskra, mémoire magister, Université Biskra.

Álvarez, S., & Sánchez-Blanco, M. J. (2015). Comparison of individual and combined effects of salinity and deficit irrigation on physiological, nutritional and ornamental aspects of tolerance in *Callistemon laevis* plants. *Journal of plant physiology*, 185, 65-74.

Aragno M, Gobat. JM. Matthley W. 2003. Le sol vivant, base pédologie /Biologie des sols. 2ed, imprimé en France, 568 p. .

ASHRAF M., HARRIS. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*. 166:3-6.

Aubert G., 1960 : les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs Caractères, de leur conservation. Actes coll. Unesco de Paris sur les problèmes de la zone aride, pp = 127- 150.

Bekaddour S, Laskri S, Hartani T, 2018 _ Effets de l'irrigation en milieu aride :

Belmabrouk A., 2019 _La variabilité spatiale de la salinité des sols cultivés à El Barka région de In-Salah ,Mémoire Master Académique. Université .Ouargla ,pp 05_8

Benhamza Messaoude, 2013. Aperçu hydrogéologique et hydro chimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines (Foggara) dans la région d'Adrar, mémoire magistère Université Annaba pp161.

BENZELLAT Benmahammed 2012 _Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés , mémoire magister université Tlemcen pp170.

Benzida, Soumia Merabet, Hamza Negais et Aïcha Serraye, 2014 _Les oasis du Sahara algérien, entre excédents hydriques et salinité, Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE), *Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science* Volume 27, numéro 2

Bouaroudj Sara, 2011. Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation présentée. Mémoire Magistère Université. Constantine.

Bouchmal Fatoume, 2017 _Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra, Thèse doctorat, Université Biskra pp1

Liste des références

Bradai A., Douaoui A., Marlet S., Hartani T., Bouarfa S., 2011. La reconversion à l'utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation et ses risques dans la plaine du Bas-Cheliff. HTE, n° 148, pp 43-44.

Chandra S., Joshi H.C., Pathak H., Jain M.C. et Kalra N. (2002). Effect of potassium salts and distillery effluent on carbon mineralization in soil. *BioresourceTechnology*, **83** : 255-257.

Conséquences sur la salinité des sols dans l'oasis de Sidi Okba (Biskra), Université Tipaza, SAGREN Vol 02, No 01, pp 01-08.

Dahbi Mouhammed, 2016 _Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines de la région de reggane (Wilaya d'Adrar) mémoire master Université Tlemcen pp69.

DAJOZ R. , 2003-précis d'écologie .Edition Dunod, Paris,615p .

DAOUD Y., HALITIM A., 1994- Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse DE HOUCHE Radia & GHERBI Zohra., 2013_ Caractérisation pédologique des sols de la station De STEP (Said-Otba Ouargla).mémoire master .Université .Ouargla pp15

Dib Moussa ,1995_ANA Lyse deux méthodes d'évolution de la répartition spatiales de la salinité de sol

Djili K., Daoud Y., Touaf L., 2003. La salinisation et la sodisation des sols d'Algérie. Congrès scientifique sur l'apport de la recherche scientifique et des nouvelles technologies dans le développement et la mie en valeur des régions arides et semi-aride climat. 2-3 octobre. El-Oued, 9 p.

DOUAIK A., 2005. Evaluation of the space-time variability of soil salinity :By statistical, geostatistical, and bayesian maximum entropy methods. Doctor (Ph.D.) thèses, Université Gent, 211 p. de Belfar Nassima et Boubaaya Ratiba mémoire de master Etude de la relation entre deux méthodes de mesure de la salinité des sols : _à Application sur les sols de Sebkhet Melloul (Wilaya de Sétif).

Douaoui A., Hartani T., 2006. Application de la télédétection dans la connaissance et la cartographie de la salinité des sols de la plaine du Bas-Cheliff.

Duchaufour P., (2001) - Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement. 6ème édition. Dunod, Paris, 331p.

Durand J. H., 1958 - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190 p.

EMBERGER L., 1954 – Une classification biogéographique des climats. Rec.Trav . Lab. Bot. Géol. Zool. Univ. Montpellier. Série Bot. n°7. Pp : 3-43.

Emberger L., 1955 : une classification biogéographique des climats. Trav. Ins. Bot. Montpellier. 7, pp : 3- 43.

Fall Dioumacor, 2016 _ Contribution à l'amélioration de la tolérance à la salinité de *Senegaliasenegal*(L.) Britton, *Vachelliasenegal*(Delile) P. Hurter et *Prosopis juliflora*(Swartz) DC

Liste des références

par inoculation microbienne et apport de coques d'arachide, thèse doctorat, Université Dakkar pp 6_7.

-FAO, 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication. Rome, 128 p.

FAO., 2006. Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégies de réhabilitation. Organisée et coordonnée par Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage, du 6 février au 6 Mars 2006. 12p.

FAURIE C., FERRA C., MEDORI P., DEVAUX J., 2006—Ecologie approche scientifique et pratique. Ed. Lavoisier, Paris, 407 p.

George Kargas, Iakovos Chatzigiakoumis, Athanasios Kollias, Dimitrios Spiliotis, GRATZFELD J., 2004 : Industries extractives dans les zones arides et semi-arides : planifications et gestion de l'environnement. (UICN : gland, suisse et Cambridge , Royaume- uni) 112p .

Gobat M. J., Aragnon M. et Matthey W., (2010) – Le sol vivant : Bases de pédologie-Biologie des sols 3eme édit, presses polytechniques et Universitaires Romandes, 817p.

Hachicha, M., 2007_ Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie. Sécheresse 18 (1), pp. 45–50.

Haddad S., Abbas K., 2015 - Etude de l'impact de l'irrigation-drainage sur la salinisation des sols à l'exploitation de l'université. Mémoire master agronomie. Université Ouargla. 42p

Hadjira BENHEDID, Mustapha DADDI BOUHOUN, Fouzi BENBRAHIM, Ahmed CHAABNA et Mohamed DJIDEL, 2019_ Risque de salinisation et d'alcalinisation des sols par les eaux d'irrigation de l'aquifère superficiel à Oued M'Zab (Algérie) ; *Revue Agriculture. 10(2) : 84 – 91, (2019) ; université Ouargla*

Hajnadjib Bassel, 2007_ Gestion optimale de l'utilisation de l'eau douce et salée pour l'irrigation, thèse doctorat , UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE, N° d'ordre : 4151 pp 21_22.

HALITIM A., 2011 : Aridoculture et le développement durable. Algerian journal of arid environment 3 vol. 1, : 3-9.

HALITIMA., ROBERT M., 1987 : Interaction du gypse avec les autres constituants du sol, analyse microscopique de sols gypseux en zone aride. (Algérie) et études expérimentations. In fedoroff et all (Ed): soil micromorphology. Afes, pp: 179 – 186.

Halitime, A. 2011_ Aridoculture et le développement durable. Algerian journal of arid environment 3 vol. 1, N° 1, Janvier: 3-9.

Halitime A., 1988: Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p

Hamrouni Lamia et Hanana Mohsen et Olivier Cagnac et Eduardo Blumwald, 2011_ Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les

Liste des références

plantes, Article environnementale, DOI: 10.1139/a11-003 disponible en <https://www.researchgate.net/publication/263311182>.

Hopkings W.G., 2003 : Physiologie végétale. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruxelles .pp : 61-476

Houche Radia et Gherbi Zohra, 2013 _ Caractérisation pédologique des sols de la station De STEP (Said-Otba Ouargla). mémoire master académique , université , ouargla pp1

I Forkutsa et Rolf Sommer et Y. I. Shirokova et J. P. A. Lamers et K. Kienzler et B. Tischbein et Ioannis Massas and Petros Kerkides, 2018 _ Soil Salinity Assessment Using Saturated Paste and Mass Soil:Water 1:1 and 1:5 Ratios Extracts, University of

Idder, T., Idder, A., Tankari Dan-Badjo, A., Benzida, A., Merabet, S., Negais, H. & Serraye, A. (2014). Les oasis du Sahara algérien, entre excédents hydriques et salinité. L'exemple de l'oasis de Ouargla. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 27 (2), 155–164. <https://doi.org/10.7202/1025565ar>

Iptrid, 2006. Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation, 12p.

IRD, 2008. Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles. 21p

Khadraoui., Safia., 2005 : qualité des eaux dans le sud algérien, 169p.

Kol Naima, 2007 _ effet de la matière organique sur les propriétés physique et chimique des sols sableux de région de Ouargla, mémoire magister , université Ouargla Disponible en https://www.memoireonline.com/03/11/4331/m_Effet-de-la-matiere-organique-sur-les-proprietes-physiques-et-chimiques-des-sols-sableux-de-la-r14.html consulté en 18/09/2020.

Lakhdhar, A., Hafsi, C., Rabhi, M., Debez, A., Montemurro, F., Abdelly, Jedidi N., & Ouerghi, Z. (2008). Application of municipal solid waste compost reduce the negative effects of saline water in *Hordeum maritimum* L. *Bioresourcetechnology*, 99(15), 7160-7167.

Lakhdhar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C (2009). Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Journal of hazardous materials*, 171(1), 29-37.

Legros. J.P., 2009 _ La salinisation des terres dans le monde. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, 2009, <http://academie.biu-montpellier.fr/>, conférence n°4069, Bull. n°40, p. 257-269.

Lehouerouh .N. 1995: Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Option méditerranéenne. Série B : études et recherches n 10 ; Cheam. Montpellier, 397p.

LES Sols Salins en Algérie ; 2008 _ INSTITUT NATIONAL DES SOLS, DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE

Levy Y., E. Raveh & J. Lifshitz. 2000: The effect of rootstock and nutrition on the response of grapefruit trees to salinity. In *Proc. Int. Soc. Citricult*, Vol. 1, pp. 334-337.

Liste des références

Madani Djamila, 2007_Relation entre le couvert végétale et condition édaphique en zone à déficit hydrique, Mémoire Magister, Université Batna pp 13_14.

MarletS., 2004. Evolution des systèmes d'irrigation et gestion de la salinité des terres irriguées. Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée, Rabat. 11 p

Masmoudi Ali,2011_EFFET DE LA SALINITE DES EAUX ET LA FREQUENCE D'IRRIGATION SUR LE SOL ET LE VEGETAL Effect of water salinity and frequency of irrigation on the soil and plant, Université Biskra

Mathieu C et PieltainF., 2009 - Analyse chimique des sols: méthodes choisies. 2ème édition. Edition Tec & Doc Lavoisier. 317 p.

Mebrouki Itidal et Moukar Meriem,2019_ Détermination de la conductivité électrique(CE),pH, et le SAR du sol par plusieurs rapports dans les régions sahariennes, mémoire master université Ouargla pp112.

Merican Societyof Civil Engineers, juin1947, page783

Meriem Barbouchiet Rachid Lhissou et KaremChokmani et Riadh Abdelfattah et Abderrazak El Harti,etNadhira Ben Aissa 2013.CARACTÉRISATION DE LA SALINITÉ DES SOLS À L'AIDE DE L'IMAGERIE RADAR SATELLITAIRE: CAS DE LA TUNISIE ET DU MAROC.Centre Eau Terre et Environnement. Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE) 490, rue de la CouronneQuébec (QC) G1K 9A9 Rapport N° R1480

MUNNS R., RICHARD A.J, LAUCHLI A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany, Vol. 57, No. 5, pp. 1025–1043.

Nedjraoui D., 2003 : country pasture , forage ressourceprofil . ed. FAO. Grassland and pasture crops Algérie, pp: 1-29.

Observatoire du Saharaet du Sahel (OSS),2003_système aquifère du SaharaseptentrionalGestion commune d'un basin transfrontière, 1ere éditionrapport desynthèse pp148.

Oustani.M. 2006, Contribution à l'étude de l'influence des amendements organique sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salé et salé dans les régions sahariennes

Ramade F., 2003 : élément d'écologie. 3 eme édition. Dunod, 690 p.

Rechachi Miled Zohra 2017. Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la salinisation sols en régions arides et semi arides : cas de la région du Ziban .Thèse de doctorat .université de Biskra p33

Richards L. A., 1954_ Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA gricultural Handbook 60, Washington, USA, p. 160.

Robert M., 1996. Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Dunod Masson, paris. 240 p.

Liste des références

Rouahna Houria. ,2006 _relation entre la nappe et la salinité dans les soles gypseux de la région de ain ben nouibiskra ,ThèseMagister.Université.Batna 17p .

Ruellan, A., Blanchart, É., Brauman, A., Grimaldi, M., Grünberger, O., Barbiero, L., Chaplot, V., Olivier, M., Bernoux, M. 2008. Les sols, des milieux vivants très fragiles, les dossiers thématiques de l'IRD. 21pages

Saoud Mohamed ;2014 _Evolution spatiale de la salinité des sols du Bas-Chélif.Mémoire magister université alger

SELTZER P., 1946 - Le climat de l'Algérie. Inst. Météor. et de Phys. du Globe. Alger.219P.

Serge Maletet Jean, 2006 _Processus et gestion de la salinité des sols ,in book: Traité d'irrigation Edition: Seconde édition Chapter: Processus et gestion de la salinité des sols Publisher: Tec & Doc Lavoisie

SNOUSSI et HALITI, 1998, Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées : cas de la tomate et du haricot. EGS. 5, 4, pp 289 – 298.

Soffih Mohamed.,2017_contribution au diagnostic de l'état de salinisation des sols de la plaine d'el hmadna ,Mémoire. Master Académique.Université.Mostaganem pp23_43.

Soltner D., (1988) - Les bases de la production végétale. Le sol, le climat, la plante. Tome1.16ème édition. Coll. Science et technique agricoles. Paris, 466p.

Stéphane Follain, ElenBless, François Colin, Xavier Le Clanche, Armand Crabit, Nicolas Devaux, Olivier Philippon .,2016_Dépérissements et salinité des sols diagnostic et action de lutte en zone littorale

Tahar Idder, AbdelhakIdder, AbdourahamaneTankari Dan-Badjo, Amina

Tahraoui,2015_Effet des sels solubles sur la production de la biomasse et l'absorption des éléments minéraux chez l'orge (*Hordiumvulgare*) et le blé dur (*Triticumdurum*),mémoire mégister université Biskra

Wang L., Sun X., LI T.S., ZHANG W. ETZHAI P. (2014) -Application of organic amendments to a coastal saline soil in North China: effects on soil physical and chemical properties and tree growth. *PLoS ONE*, **9** (2): e89185.

Wri ., 2002: World resources institute.Drylands,people,and ecosystem goods and services :aweb-based geospatial analysis.

Youcefi Moustafa.,2011_Étude de l'impact de l'hydro-halomorphie des solssur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla, Mémoire Magister.Université.Ouargla 3_4p

Résumé

L'extension de l'agriculture irriguée et l'utilisation des eaux salines souterraines pour l'irrigation, combinées à une forte évaporation dans les régions arides, conduisent inévitablement à la salinisation des sols et des nappes d'eau. Dans de nombreuses régions arides, et en particulier au Sud de l'Algérie, cette situation est aggravée par la raréfaction des ressources en eau douce suite aux faibles précipitations caractérisant ces régions. En effet, les eaux salines constituent la majorité des eaux souterraines. Le présent travail consiste à une recherche bibliographique sur la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation. Notre synthèse nous a amené à conclure que la salinité des sols est présente dans la plupart des grands systèmes d'irrigation à travers le monde sous l'effet conjugué d'une mauvaise qualité des eaux d'irrigation, de l'aridité et d'un drainage insuffisant du sol et de la forte charge saline des aquifères.

Mots clés : Sol, Irrigation, Salinité, Salinisation, Zones arides.

ملخص

. إن التوسع في الزراعة المروية واستخدام المياه الجوفية المالحة للري ، بالإضافة إلى التبخر العالي في المناطق القاحلة ، يؤدي حتما إلى تملح التربة والمياه الجوفية . في العديد من المناطق القاحلة ، ولا سيما في جنوب الجزائر ، يزداد هذا الوضع سوءاً بسبب ندرة موارد المياه العذبة بعد انخفاض هطول الأمطار الذي يميز هذه المناطق. في الواقع ، تشكل المياه المالحة غالبية المياه الجوفية. يتكون العمل الحالي من بحث ببيولوجرافي عن ملوحة التربة ومياه الري. قادنا توليفنا إلى استنتاج أن ملوحة التربة موجودة في معظم أنظمة الري الكبيرة حول العالم في ظل التأثير المشترك لسوء جودة مياه الري والجفاف و تصريف التربة غير الكافي والحمل الملحي العالي لخزانات المياه الجوفية.

الكلمات المفتاحية: التربة، الري، الملوحة، التملح، المناطق الجافة.

Abstract

The expansion of irrigated agriculture and the use of saline groundwater for irrigation, combined with high evaporation in arid regions, inevitably lead to the salinization of soils and water tables. In many arid regions, and in particular in southern Algeria, this situation is aggravated by the scarcity of freshwater resources following the low rainfall characterizing these regions. In fact, saline water constitutes the majority of groundwater. The present work consists of a bibliographical search on the salinity of the soil and that of the irrigation water. Our synthesis led us to conclude that soil salinity is present in most large irrigation systems around the world under the combined effect of poor quality of irrigation water, aridity and insufficient soil drainage and high saline load in aquifers.

Key words: soil, irrigation, salinity, salinization, dry areas.