

UNIVERSITE KASDI
MERBAH - OUARGLA
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie
Département des Sciences
Agronomiques



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences agronomiques
Spécialité : Protection des Ressources Sol Eau et Environnement

Présenté par : Me. **BERREEUH CHAIMA**
TABOUN SALMA

Thème

**Caractérisation de la salinité globale du sol
par la mesure de la conductivité électrique
(Pate saturée et extraits dilués)**

Soutenu publiquement
Le : 09/07/2019

Devant le Jury :

M.r	KARABI	MOKHTAR	M.C.A.	Président	UKM Ouargla
M.me	OUSTANI	MABROUKA	M .C.A	Encadreur	UKM Ouargla
M.	IDDER	Abd Elhakk	M.A.A.	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2021 /2022

Remerciment

Nous tenons à remercier en premier lieu et avant tout, notre bon Dieu le Tout-Puissant qui nous a éclairé notre chemin, Et nous a donné le courage, la volonté, la patience et l'intelligence nécessaire pour parvenir jusqu'au dernier moment de ce long parcours d'étude.

Nous remercions particulièrement notre encadreur de nous avoir dirigés durant la préparation et la finalisation de ce travail. Sans hésiter à nous venir en aide à tout moment. Ses précieux conseils et différentes remarques nous étaient indispensables. Nous tenons aussi à remercier les membres du jury pour leur temps accordé à l'étude de notre mémoire.

Mes remerciements, les personnels côtoyés tout au long de notre cursus universitaire. Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin et par une quelconque forme de contribution pour la réalisation de ce projet

Dédicace

*Je dédie ce travail à Mon cher papa Décédé tu as été toujours
de mon côté ton amour me guide.*

*A Ma mère source de tendresse de patience et de générosité, qui
m'a toujours encouragé et soutenu dans mes études jusqu'à ce que
j'aie atteint ce stade.*

A mes chères sœurs ...

Et a mes chers frères...

A tout ma famille...

A tous mes amis qui ont toujours été là pour moi...

**BERREEUH CHAIMA
TABOUN SALMA**

Table des Matières

Remerciment.....	
Dédicace	
Table des Matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux.....	
Liste des Abréviations.....	
Introduction	1

Chapitre I: Salinité des Sols

I.1.Définition des sols salés	5
I.2.Définition de la salinité	5
I.3.Définition de la salinisation.....	5
I.4.Les sols salés dans le monde et en Algérie	6
I.4.1. Salinité dans le monde.....	6
I.4.2. Salinité en Algérie.....	6
I .5. Causes de la salinité des sols	6
I.6.Type de la salinisation.....	7

I.6.1. Salinisation primaire ou naturelle	7
I.6.2. Salinisation secondaire	8
I.7. Paramètres de caractérisations des sols salés	8
I.7.1. Conductivité électrique.....	9
I.7.2. pH de sol.....	9
I.7.3. ESP (Taux de sodium échangeable).....	9
I.7.4. Sodium en solution (SAR)	9
I.8. Echelle de la salinité	10
I.9. Classifications des sols salés	10
I.9.1. Sols salins ou « solontchaks »	10
I.9.2. Sols salins- sodiques ou « solontchaks- solonetz ».....	10
I.9.3. Sols sodiques ou « solonetz »	10
I.10. Impacts de la salinité sur le sol et la plante	11
I.10.1. Effets de la salinité sur les propriétés physiques des sols	11
I.10.2. Effets de la salinité sur les propriétés chimiques des sols	11
I.10.3. Effets de la salinité sur les propriétés microbiologiques des sols.....	11
I.10.4. Effets de la salinité sur les plantes	11
I.11. Mise en valeur des sols salés	12

Chapitre II: Salinité de l'eau d'irrigation

I. Eau d'irrigation.....	14
I.1. Qualité de l'eau d'irrigation	14
I.2. Paramètres de détermination de la qualité d'une eau d'irrigation	14
I.2.1. Salinité.....	14
I.2.2. Alcalinité	16
I.2.3. Toxicité des ions spécifiques	16
I.2.4. Classification des eaux d'irrigation	16
III. Processus de dégradation de qualité du sol suite à l'irrigation	17
VI. Lutte contre la salinisation des sols liée à l'irrigation.....	18
VI.1. Gestion de l'irrigation avec des eaux salées.....	18
VI.1.1. Lessivage des sels.....	18
VI.1.2. Drainage.....	19
VI.1.3. Fréquence d'irrigation.....	19
VI.1.4. Méthode d'irrigation	19

VI.2. Contrôle régulier de la qualité de l'eau d'irrigation.....	20
--	----

Chapitre III : La conductivité électrique

III.1. Conductivité électrique.....	22
III .2. Principe de mesure de la conductivité électrique.....	22
III.3. Méthode de mesure de la conductivité électrique.....	22
III.3.1. Technique de l'extrait saturé.....	22
III.3.2. Méthode de l'extrait dilué.....	23

Chapitre IV : Matériel et Méthodes

IV.1. Objectif de l'étude.....	25
IV.2. Présentation du contexte écologique de la zone l'étude.....	25
IV.2.1. Localisation géographique.....	25
IV.2.2. Choix des régions d'étude.....	25
IV.2.3. Situation et les limites géographiques des régions de l'étude.....	26
IV.2.4. Hydrogéologie.....	27
IV.2.4.1. Région d'Ouargla.....	27
IV.2.4.2. Région d'Oued Souf.....	28
IV.2.4.3. Région de Ghardaïa.....	29
IV.2.4.4. Région de Biskra.....	30
IV.2.4. 5. Région de Touggourt.....	31
IV.2.4. 6. Région d'Illizi.....	31
IV.2.4. 7. Région de Bechar.....	32
IV.2.4. 8. Région d'Adrar.....	32
IV.2.4. 9. Région d'Ain Salah.....	32
IV.2.4. 10. Région de Tindouf.....	33
IV.2.4. 11. Région de Tamanrasset.....	33
IV.2.5. Pédologie.....	33
IV.2.5.1. Région d'Ouargla.....	33
IV.2.5.2. Région d'Oued souf.....	33
IV.2.5.3. Région de Ghardaïa.....	34
IV.2.5.4. Région de Biskra.....	34
IV.2.5.5. Région de Bechar.....	34
IV.2.5.6. Région d'Adrar.....	35

IV.2.5.7. Région d' Ain Salah	35
IV.2.5. 8. Région de Tamanrasset.....	35
IV.2.6. Climatologie.....	36
IV.2.6.1. Température	36
IV.2.6.2. Pluviométrie	38
IV.2.6.3. Synthèse climatique.....	38
IV.2.6.3.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnoulset Gausson.....	39
IV.2.6.3.2. Climagrammed'Emberger.....	41
IV.3.Techniques des analyses physico-chimiques du sol et de l'eau d'irrigation des régions d'étude.....	42
IV.3.1. Technique d'échantillonnage du sol et de l'eau d'irrigation	42
IV.3.2.Méthode d'analyse	44
IV.3.1. 2.1. Conductivité électrique	44
IV.3.1.3. Méthode de mesure de pH	46
IV.3.2. Méthodes d'analyses de l'eau d'irrigation.....	46
IV.3.2.1. Techniques d'échantillonnage	46
IV.3.2. 2.Méthodes d'analyses	46

Chapitre V : Résultats et discussion

.I : Résultats	48
V.I.1. Résultats de mesure de la conductivité électrique et du pH du sol au niveau des	48
V.I.1.1. Conductivité électrique des extraits dilués et de la pâte saturée du sol cultivé	48
V.I.1.1.1. Extraits dilués et la pâte saturée.....	48
V.I.1.1.2. Résultats de la mesure de conductivité électrique de la pâte saturée du sol au niveau des onze régions d'étude	51
V.I.1.1.3. Comparaison entre la conductivité électrique des extraits dilués et celles de la pâte saturée au niveau des onze régions d'étude.....	51
V.I.1.2. Conductivité électrique des extraits dilués et de la pâte saturée du sol non cultivé ...	53
V.I.1.2.1. Extraits dilués et la pâte saturée.....	53
V.I.1.2.2. pH du sol cultivé (extrait dilué : 1/2,5 et 1/5) au niveau des onze régions d'étude	55
V.I. 2. Résultats de la mesure de la conductivité électrique du pH de l'eau d'irrigation (sol cultivé) au niveau des onze régions d'étude.....	58
V.I.2.1. Résultats de la mesure de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation (sol cultivé) au niveau des onze régions d'étude.....	58

V.I.2.2. Résultats de la mesure de pH de l'eau d'irrigation (sol non cultivé) au niveau des onze régions d'étude.	59
V.I .3. Etude de quelques corrélations	60
V.I.3.1. Corrélation entre la conductivité électrique des extraits dilués (1/1, 1/2,5, 1/5).....	60
V.2. Discussion générale	61
Conclusion.....	65
Références bibliographiques.....	67
Annexes	76

Liste des figures

Figure N° 1: Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation	18
Figure N° 2: Position géographique des régions de l'étude	26
Figure N° 3: Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal).	27
Figure N° 4: Températures moyennes, minimales et maximales dans les onze régions d'étude période (2010-2020).....	37
Figure N° 5: Précipitation moyenne annuelle en (mm) des onze régions d'étude période (2010-2020)	38
Figure N° 6:: Diagramme ombrothermiques de Gaussen et appliqué sur les onze régions d'étude.....	40
Figure N° 7: Position des onze régions d'étude dans le climagramme d'Emberger.	41
Figure N° 8: Sites de prélèvement des échantillons du sol	43
Figure N° 9: Valeurs moyennes de la conductivité électrique de l'extrait dilué (1/1, 1/2,5, 1/5) du sol cultivé au niveau des Onze régions d'étude.	50
Figure N° 10: Valeurs moyennes de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol cultivé des onze régions d'étude	51

Figure N° 11: Valeurs comparatives entre la CE (dS/m) de la pâte saturée et des extraits dilués au niveau du sol cultivé des onze régions d'étude.....	53
Figure N° 12: Valeurs moyenne de CE des extraits dilués (1/5).(1/2.5).(1/1) au niveau du sol non cultivé des onze régions d'étude	54
Figure N° 13: Valeurs moyenne de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol non cultivé au des onze régions d'étude	55
Figure N° 14: Valeurs comparatives entre la CE (dS/m) de la pâte saturée et des extraits dilués au niveau du sol non cultivé des onze régions d'étude.	55
Figure N° 15: Valeurs moyennes de pH1/2.5 du sol au niveau des onze régions d'étude.....	56
Figure N° 16: Valeurs moyenne de pH des extraits dilués (1/5) au niveau des Onze régions d'étude	57
Figure N° 17: Valeurs moyennes de la conductivité électrique l'eau d'irrigation au niveau des onze régions d'étude.	58
Figure N° 18: valeurs de la mesure de pH de l'eau d'irrigation du sol cultivé au niveau des onze régions d'étude.	59
Figure N° 19: Correlation entre la CE des extraits dilués et la CE pâte saturée du sol cultivé60	
Figure N° 20: Correlation entre la CE eau d'irrigation et CE pâte saturée dans le sol cultivé	61

Liste des tableaux

Tableau N°1.Évaluation du danger de salinité en fonction de la sensibilité des plantes	15
Tableau N°2. Classification du sol d'après l'échelle de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (AUBERT, 1978) au niveau des huit régions d'étude	49
Tableau N°3. Classification de sol d'après l'échelle de pH de l'extrait (1/2.5) (CRAAQ, 2005), au niveau du sol cultivé ou non cultivé des onze régions d'étude.....	57
Tableau N°4. Classification de sol d'après l'échelle de pH de l'extrait 1/5 (SOLTNER, 1989), au niveau des onze régions d'étude	58
Tableau N°5. Classification de la conductivité de l'eau d'irrigation	59

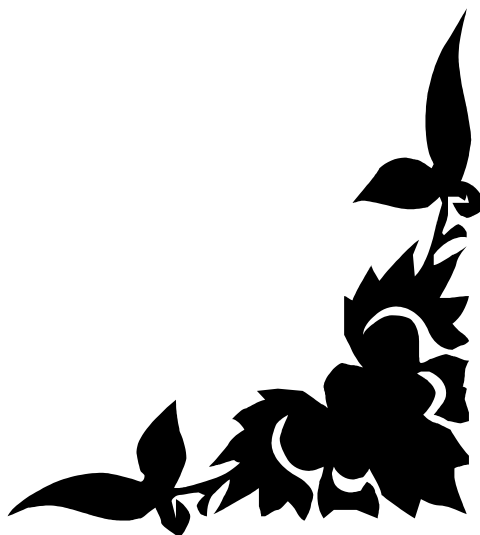
Liste des Abréviations

Abréviatiion	Signification
CE	Conductivité électrique
A.N.R.H	Agence nationale des ressources hydrauliques
ESP	Taux de sodium échangeable
FAO	Food and Agriculture Organisation
SAR	Sodium Adsorption Ratio.
CRSTRA	Centre de Recherche Scientifique et Technique des RegionsSeches



Introduction

Générale



Introduction

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 entraîner la fixation de sodium par le complexe adsorbant de sol, donc un processus de salinisation, avec ces conséquences éventuelles pour les propriétés des sols : tendance à la dispersion des argiles à la dégradation de la structure à 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 conditions de leur emploi et en particulier de l'efficacité du système de drainage, cependant ces pratiques d'irrigation accroissant le risque de salinisation au point que plus de 20% des sols irrigués sont affectés 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'originesouterraine. Les eaux des nappes phréatiques sont toujours très salées avec plus de 4 à 5 g⁻¹ derésidus secs et bien souvent trois fois plus **(MASMUDI, 2011)**.

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

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

Dans tous les cas où cela est possible, pour définir la salinisation d'un sol, il est préférable d'extraite la solution du sol et d'en mesurer directement la conductivité électrique (CE). Cette mesure, rapide et fiable permet d'estimer la charge globale en sels de la solution. Si la solution du sol ne peut pas être extraite, on estime sa conductivité électrique à partir d'un modèle de calcul et de valeurs de CE mesurées au laboratoire sur des extraits aqueux (extrait 1/5 et extrait de la pâte saturé)**(HALITIM, 1988)**.

La technique de l'extrait saturée paraitune méthode de référence car elle a été utilisée dans la plupart des travaux concernant la salinité et les risque de salinisation et a été choisie pour l'élaboration des principales tables de tolérance des cultures vis-à-vis de la salinité **(BERNESTEIN et FRANCOIS, 1965 ; MAAS et HOFFMAN, 1977)**.

Le principal avantage de cette méthode (raison pour laquelle elle est la méthode de référence) est que le taux de dilution effectif obtenu est en fait peu différent d'un sol à un autre et ainsi, les mesures obtenues ont un caractère « universel » **(HULIN, 1984)**. Par ailleurs, cette méthode permet de se rapprocher de la réalité agronomique, l'humidité étant à proximité de la capacité de rétention la plus favorable pour la plante.

L'utilisation d'extraits de saturation comme méthode de mesure et de référence de la salinité fournit une relation directe avec la gamme d'humidité du champ pour la plupart des sols.

Néanmoins, il reste plus facile de fabriquer et d'extraire des suspensions d'eau du sol de différents rapports tels que 1:1, 1:2, 1:5 que d'obtenir des extraits de saturation.

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif de notre travail expérimental qui vise en premier temps à mettre en évidence la salinité du sol (Extrait de la pâte saturée et extraits dilués) et celle de l'eau, et en deuxième temps à estimer la relation entre ces deux types de salinité au niveau de onze régions sahariennes typiques de l'Algérie.

Cette étude comporte trois grandes parties :

- La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique traitant trois chapitres essentiels : Salinité des sols, les eaux salines et la Conductivité électrique.
- La deuxième partie est consacrée au matériel et méthodes utilisés pour la réalisation de cette étude.
- La troisième et la dernière partie est consacrée à la discussion des résultats obtenus. Enfin on terminera par une conclusion.



Chapitre I :

Salinité des Sols

I.1.Définition des sols salés

Les sols sont dits salés lorsqu'ils contiennent une certaine quantité d'éléments minéraux, dont notamment le Sodium (Na), sous forme dissoute, échangeable ou précipitée. Ils comprennent plusieurs types de sols qui se sont formés à partir de trois processus physicochimiques : la salinisation, la sodisation et l'alcalinisation (**GIRARD et al, 2005**). Lors de périodes de forte évapotranspiration, le sel remonte par ascension capillaire et forme souvent des efflorescences blanches en surface (**MATTHIEU, 2009**).

Les termes salins et sodiques s'appliquent aux sols qui contiennent une certaine quantité d'éléments minéraux, dont notamment le sodium sous l'une ou l'autre de ses formes : saline (NaCl, Na₂SO₄...) ou échangeable Na⁺, parfois les deux, ainsi que des sols associés de magnésium ou de potassium (**MATTHIEU, 2009**).

I.2.Définition de la salinité

La salinité est un phénomène mondiale qui affecte 1 milliard d'hectares, soit 7% de la surface terrestre (**NIXHA, 1995**). L'accumulation de sels dans les horizons sols peut engendrer une dégradation des caractéristiques physiques des sols (**DURAND, 1983**). Cette dégradation du sol affecte ainsi leur fertilité d'où leur réserve en matières organiques et minérales appauvries (**FROSSARD, 1996**).

I.3.Définition de la salinisation

La salinisation est l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol. Ces sels sont le potassium, le magnésium, le calcium, le chlorure, le sulfate, le carbonate, le bicarbonate et le sodium. L'accumulation du sodium est aussi appelée sodification. Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent (**S.O.C.O., 2009**).

Tout d'abord, la salinisation implique une accumulation de sels par des processus naturels du fait d'une forte teneur en sels du matériau parent ou des nappes souterraines. En second lieu, la salinisation est provoquée par des interventions humaines, telles que des pratiques d'irrigation inappropriées, par exemple avec de l'eau d'irrigation riche en sels et/ou par un drainage insuffisant (**S.O.C.O., 2009**).

I.4. Les sols salés dans le monde et en Algérie

I.4.1. Salinité dans le monde

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent un grand problème pour l'agriculture. Selon ZAMAN *et al.* 2018, environ 23 % (0.34×10^9 ha) des terres cultivées sont salines et 37 % (0.56×10^9 ha) sont sodiques et sont essentiellement économiquement improductives. Selon les prévisions, la salinisation des sols devrait s'accroître avec les scénarios de changement climatique à venir, comme l'élévation du niveau de la mer et son impact sur les zones côtières, ainsi que l'augmentation de la température, qui entraînera une augmentation de l'évaporation et de la salinisation (ZAMAN *et al.*, 2018).

I.4.2. Salinité en Algérie

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1983). Ils sont répartis dans les basses plaines d'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au Sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains Chotts comme Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et d'autres (DURAND, 1983). Les sols salés de l'Algérie sont caractérisés en générale par une conductivité électrique supérieure à 7 dS/m et de pourcentage de sodium échangeable qui varie de 5 à 60 % de la C.E.C (AUBERT, 1975).

En Algérie, plus de 20% des sols irrigués sont affectés par la salinisation, principalement dans les régions arides et semi-arides où 50% des sols sont salins (DEHNI, 2018).

I.5. Causes de la salinité des sols

Selon BOLT *et al.* (1978), les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturales sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème où une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité inférieure de l'eau d'irrigation (ASHRAF *et FOOLAD*, 2007 IN HAMMIA, 2012).

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures (DENDEN *et al.*, 2005 IN HAMMIA, 2012).

L'eau saline occupe 71% de la surface de la terre. Environ la moitié des systèmes d'irrigation existant du monde sont sous l'influence de la salinisation. De tels sols défavorables, de faibles fertilités sont généralement peu convenables pour la production agricole, entraînant la réduction des rendements. En raison du besoin accru de distribution de la production alimentaire et de l'augmentation des sols affectés par la salinité (HAMMIA, 2012).

I.6. Type de la salinisation

I.6.1. Salinisation primaire ou naturelle

C'est un processus lié à la pédogenèse, en autre terme à l'altération des roches salifères qui libèrent des sels sous l'effet de différents facteurs géologiques, géomorphologiques et climatiques (GAUCHER et BRUDIN, 1974 *in* MISSAOUI, 1991).

Les sels solubles peuvent provenir :

- ✓ Soit le matériau géologique, par le biais de l'altération, peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roches volcaniques, ou encore dissolution des évaporites, qui sont des accumulations salines anciennes).
- ✓ Soit par l'eau de mer est, bien entendu, une source principale de sel en milieu côtier. La salinisation peut alors être un phénomène permanent lié aux marées (salinisation marine), ou encore due à la présence de lentilles d'eau sur salées lorsque les zones basses sont isolées de la mer par un colmatage alluvial (salinisation lagunaire) ;
- ✓ Soit une nappe phréatique, d'origine continentale et salée par héritage géologique, peut contaminer le sol par ascension capillaire (IRD, 2008).

I.6.2. Salinisation secondaire

Dans ce cas le sol avait déjà formé et avait acquis une personnalité pédologique. Parexemple, si une partie d'une plaine littorale est envahie par la mer, bien que le contact soit direct, la salinisation reste secondaire. Il en est de même d'un sol alluvial qui se sale sous l'effet de la remontée d'une nappe chlorurée. Cette distinction tend à faire préciser à quel moment de son histoire, un sol a acquis le caractère halomorphie SANDA (ABBANI B, et ABDE-LALI Y, 2005).

La salinisation d'origine secondaire induite par l'activité humaine, liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées (MERMOUD, 2006). C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin. L'irrigation altère le bilan hydrique du sol, en générant un apport d'eau supplémentaire. Cet apport est toujours associé à un apport de sels.

En fait, même une eau douce de meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportés par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. Les échanges de cations entre le sol et l'eau d'irrigation sont le début de la salinisation du sol. La salinisation peut être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines salines ou résulter d'une irrigation réalisée avec de l'eau saline (IPTRID, 2006).

I.7. Paramètres de caractérisations des sols salés

Le diagnostic de la salinité des sols se base sur un ensemble de mesures physicochimiques (CE, pH et CEC) et chimiques (cations solubles, anions solubles et sodium échangeable). Ces paramètres nous permettent d'apprécier le degré et la charge saline ainsi que le faciès chimique des sels et le taux de sodium échangeable. La mesure de la conductivité électrique et du pH nous permettons d'estimer la salinité globale dans le sol (HADDAD et ABBES, 2015).

L'étude d'un sol sur le plan de la salinité se base sur un ensemble des facteurs sont :

I.7.1. Conductivité électrique

La salinité est mesurée par la CE de l'extrait de pâte saturé ou l'extrait diluée dusol. Elle est exprimée en dS/m à 25 C° (USSL, 1954) (Tableau1).

L'échelle agronomique mise au point par United State SalinityLaboratory (USSL)1954 est graduée selon les valeurs de la CE, de 0 à 16 m mhos/cm. Un sol considéré salé lorsque la CE est supérieure à 4 millimhos /cm (4 dS/m) à 25°C (USSL, 1954 ;CALVET, 2003).

I.7.2.pH de sol

Selon SOLTNER, 1989 la notion de pH du sol permet de façon commandée et précise de désigner la réaction du sol salins. Les sols salés ont un pH supérieur à 7, et il augmente en corrélation avec le rapport Na^+ / CEC .

La mesure du pH du sol s'effectue dans une suspension de l'échantillon de sol dans l'eau (pHeau) ou dans l'eau plus de chlorure de potassium (pHkcl) dans laquelle on mesure la concentration en ions H^+ et OH^- à l'état dissocié, dans le liquide surnageant. Le rapport sol/eau étant généralement de 1/2,5. Aussi dans le sol, le pH de la solution varie habituellement de 4,5 à 9,5 (MATHIEU et LOZET, 2011).

I.7.3.ESP (Taux de sodium échangeable)

Selon RICHARDES (1954) ce terme permet de caractériser le stade d'alcalinisation d'un complexe d'échange. L'ESP est fonction de la CEC exprimée en (meq/1).

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

I.7.4. Sodium en solution (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 :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2}} : (\text{Na}^+, \text{Mg}^{++}, \text{Ca}^{++} \text{ définie par méq/l})$$

(CLAVET ,2003).

I.8.Echelle de la salinité

Les échelles de salinité des sols ont été mises au point à des fins agronomiques. Lorsque l'on considère les sols avec des conductivités électriques supérieures à 8 dS/m on sait que la plupart des plantes cultivées dans ces conditions voient leurs rendements nettement affectés par la salinité, sachant que déjà à partir de 4dS/m la situation est défavorable pour plusieurs types des cultures (MATHIEU *et al*, 2003).

I.9.Classifications des sols salés

La classification des sols salés prend en considération le niveau de la salinisation globale et de la sodicité, ainsi que l'état de dégradation de la structure du sol et on reconnaît, en général, trois (3) catégories de sols salés (Richards *et al*,1954; Aubert, 1983):

I.9.1. Sols salins ou « solontchaks »

Sols salins : dont la salinité globale déterminée sur pâte saturée est supérieure à 4mmhos/cm à 25°C et l'ESP inférieur à 15%, et habituellement leur pH est inférieur à 8,5.

I.9.2. Sols salins- sodiques ou « solontchaks- solonetz »

Sols salins à alcalin ou sols salins- sodiques : dont la salinité globale est supérieure à 4 et l'ESP est supérieur à 15 % de la CEC. Le pH est supérieur à 8.5. (SERVANT, 1970 ; HALITIM, 1973).

I.9.3. Sols sodiques ou « solonetz »

Sols sodiques ou sols à alcalin : dont la salinité globale est inférieure à 4, et l'ESP supérieur à 15, et leur pH varie entre 8,5 et 10.

Le pH élevé caractérisant ces sols permet la dissolution de la matière organique en donnant une couleur noire, d'où l'apparition du salant noir dans les régions arides sahariennes (Servant, 1970 ; Marlet *et Job*, 2006).

I.10. Impacts de la salinité sur le sol et la plante

I.10.1. Effets de la salinité sur les propriétés physiques des sols

Lorsque le sodium est présent en quantité importante sur le complexe d'échange, le sol devient instable et acquiert une capacité de gonflement. Ce dernier entraîne une diminution de la porosité et la dispersion conduisant au colmatage des pores par les particules colloïdales (REGUIG ET LARROUSI., 2007).

La formation de la croûte de battance entraîne une modification de la structure du sol susceptible de se répercuter sur les écoulements des eaux et par la suite elle influence sur le métabolisme et le développement des végétaux. L'humectation rapide du sol provoque la compression de l'air dans les pores fermés et l'éclatement des agrégats et par conséquent l'érosion et l'imperméabilisation des surfaces (MIMOUNE, 1995).

I.10.2. Effets de la salinité sur les propriétés chimiques des sols

La salinité agit sur le complexe adsorbant par les cations échangeables (Na^+ et Mg^{++}) ce qui provoque le lessivage des bases, la destruction des ponts calciques et comme conséquence une forte vitesse d'infiltration des eaux. Le complexe adsorbant devient saturé en Na^+ et ce qui provoque la dispersion d'argiles (fraction fine) diminuant ainsi la porosité (aération) et le magasinage de l'eau (MADJID et TAIR, 2012).

I.10.3. Effets de la salinité sur les propriétés microbiologiques des sols

Dans les sols salins, l'augmentation de la pression osmotique peut affecter fortement la croissance des organismes du sol, et les transformations microbiennes (NAËMAN *et al*, 2000). Selon KILLIAN et FEHER (1939), dans les sols salins, le développement des bactéries est très faible ou rare indiquant une faible résistance à la salinité. De ce fait, les processus de décomposition par minéralisation et synthèse par l'humification de la MO ne sont plus assurés (NAËMAN *et al*, 2000).

I.10.4. Effets de la salinité sur les plantes

L'effet osmotique est le résultat de la réduction du potentiel hydrique du sol suite à une augmentation du potentiel osmotique dans la zone racinaire (SHANNON, 1992 ; LEVIGNERON *et al*, 1995 ; FLOWERS et FLOWERS, 2005). Une forme de sécheresse

physiologique survient lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, ce qui rend de plus en plus difficile l'acquisition d'eau et de nutriments par les plantes et le maintien de la turgescence (HOPKINS, 2003). PARIDA et DAS (2005) ; NABI (2009), notent que l'altération de l'état hydrique conduit à la réduction de la croissance et la limitation de la productivité des plantes.

SLAMA (2004) note que l'effet de NaCl sur la photosynthèse s'exerce par une baisse de la teneur en chlorophylle, une diminution de la surface foliaire, du nombre de feuilles, des dimensions des stomates, de la conductance stomacale et par l'augmentation de la résistance stomatique. Les teneurs en protéines solubles des feuilles se trouvent également réduites (PARIDA *et al*, 2002).

I.11.Mise en valeur des sols salés

Selon GIRARD *et al.*(2005) une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- ✓ L'élimination des excès de sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- ✓ L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- ✓ La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles encalciées échangeables.
- ✓ Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface.



Chapitre II :

Salinité de l'eau d'irrigation

I. Eau d'irrigation

Les eaux d'irrigation, par leur composition peuvent avoir une influence sur le sol (COUTINET, 1965 In BENAÏSSA, 2017). De ce fait, une analyse de leur qualité physicochimiques'avère impertive pour la détermination de la part de leur influence sur les sols.

I.1. Qualité de l'eau d'irrigation

L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation nécessite l'utilisation d'une grille de qualité à laquelle on doit se référer pour juger si une eau convient ou non à l'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).

I.2. Paramètres de détermination de la qualité d'une eau d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation est influencée par plusieurs paramètres :

I.2.1. Salinité

L'eau d'irrigation, qu'elle que soit son origine superficielle ou souterraine, n'est jamais pure ; elle contient des sels dissous qui peuvent affecter les sols et les cultures suivant leur concentration, il est important alors d'adopter les pratiques agricoles à l'eau dont on dispose, sachant que les comportements seront différents suivant la nature des sels en cause. La composition chimique d'une eau d'irrigation doit donc être examinée en fonction de son impact sur la terre et les plantes (TERICHI, 2015).

La salinité peut être déterminée directement par la somme des concentrations mesurées en éléments dissous et indirectement, à partir de la conductivité électrique (mS/cm). Toutefois, le terme de salinité est souvent utilisé comme synonyme de chlorinité qui désigne la concentration en chlore dissous sous forme de chlorures (mg/l ou g/l) (KLOPMAN *et al*, 2011).

Par le terme minéralisation, on désigne la concentration des solides totaux dissous (CTD), ou charge totale dissoute (CTD). Le terme correspondant dans la littérature internationale est TDS, l'abréviation anglaise de Total Dissolved Solids. Le terme salinité est synonyme de TDS et s'exprime généralement en mg/l ou g/l.

Usuellement, on considère en fonction de leur salinité, les eaux douces, saumâtres, salines et les saumures (**KHARAKA et HANOR, 2005**).

- Eau douce : eau dont la salinité est inférieure à 1g/l.
- Eau saline : eau dont la salinité est comprise entre 1 g/l et 35 g/l.
- Eau saumâtres, eau dont la salinité est comprise entre 1 et 10 g/l.
- Saumure : eau dont la valeur de salinité est supérieure à la valeur moyenne de celle de l'eau de mer, c'est-à-dire plus de 35 g/l TDS (3.5 10⁴ mg/l TDS) (**FEKRACHE, 2015**).

Le tableau 03 donne l'évaluation de la qualité de l'irrigation en fonction de la sensibilité des plantes.

Tableau N°1.Évaluation du danger de salinité en fonction de la sensibilité des plantes

Classe de salinité	US Salinity aboratory de Riverside (1945)	Thorn and Peterson(1954)	Carter(1969)	Ayers and Westcot(1976)
	CE (dS/m)	CE (dS/m)	CE (dS/m)	CE (dS/m)
C1	0.1-0.25	<0.25	<0.4	<0.75
C2	0.25-0.75	0.25-0.75	0.4-1.2	0.75-1
C3	0.75-2.25	0.75-2.25	1.2-2.25	1.5-3.0
C4	>2.25	2.5-4.0	2.25-4.0	>3.0
C5		4.0-6.0		

- C1: satisfaisante pour toutes les cultures excepté les cultures très sensibles.
- C2: Généralement satisfaisante bien que quelques cultures sensibles seront affectées.
- C3: Satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats.
- C4: Normalement non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées. Le lessivage et le drainage sont impératifs.

I.2.2. Alcalinité

L'augmentation de la teneur du sodium soluble dans l'eau d'irrigation entraîne une augmentation de la teneur en sodium échangeable. Un taux élevé de sodium échangeable ESP peut se traduire par une dispersion des particules des argiles et une dégradation de la structure et par conséquent une diminution importante de la perméabilité.

Le SAR est utilisé pour caractériser le pouvoir alcalinisant de l'eau :

$$\text{SAR} = [\text{CNa}] / [\sqrt{(\text{CCa} + \text{CMg})/2}]$$

Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. De part cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (**TODD, 1980 ; ROUABHIA et DJABRI, 2010**).

I.2.3. Toxicité des ions spécifiques

En plus de l'effet osmotique général, il a été retenu que les concentrations excessives de sel ont une action perturbatrice sur la physiologie des plantes soit par un effet direct de toxicité d'ions déterminés, soit par l'apparition de désordres nutritionnels provoqués par l'action de certains ions sur l'absorption et le métabolisme des éléments nutritifs (**BOUGENDRE, 1973**).

Les principaux ions toxiques sont Na, Cl et le bore. Le seuil de carence et le seuil de toxicité du Bore sont assez voisins (**BOULAINÉ, 1974**).

Certains ions sont plus nocifs par les modifications du milieu qu'ils entraînent que par leur nature. Ainsi, le Na_2CO_3 élève le pH de la solution du sol et entraîne des blocages des oligoéléments.

II.1.4. Classification des eaux d'irrigation

Selon **MASMOUDI (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.

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

Les processus de dégradation de la qualité du sol liée à l'irrigation par des eaux fortement chargées en sels sont schématisés dans la figure N°01.

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, IPRID, 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 (**MATHIEU et al, 2007**).

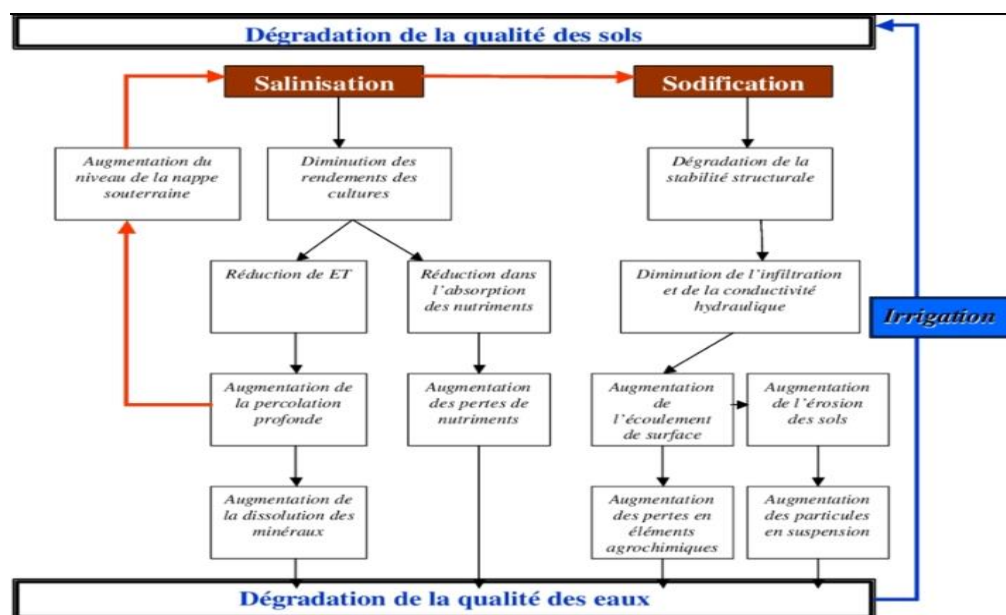


Figure N° 1: Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation

(SOUDI *et al.*, 2000).

VI. Lutte contre la salinisation des sols liée à l'irrigation

Le contrôle de la salinisation du sol en cas d'irrigation par des eaux chargées en sels nécessite :

VI.1. Gestion de l'irrigation avec des eaux salées

La gestion de l'irrigation avec les eaux salées comporte principalement : la gestion de lessivage, le drainage, la fréquence d'irrigation et la gestion des différentes sources d'eaux.

VI.1. 1. Lessivage des sels

En zone aride et semi aride, l'irrigation des sols salés nécessite un apport d'eau supérieur du besoin des cultures (VALLES *et al.*, 1988) qui peut permettre l'alixiviation des sels. Le lessivage est le facteur principal par lequel la salinité du sol peut être maintenue à un niveau acceptable pour les plantes cultivées.

Il faut lessiver les sels hors de la zone racinaire avant que leur niveau puisse affecter la croissance. La fréquence et la quantité de lessivage dépendent de la qualité d'eau, le climat, le

sol et la tolérance des plantes à la salinité. En général, le lessivage est appliqué à chaque irrigation ou périodiquement quand l'accumulation des sels devient excessive (**MASMOUDI, 2012**).

VI.1.2. Drainage

Le drainage naturel ou artificiel est le complément indispensable de l'irrigation (**VANHOORN, 1995** in **MASMOUDI, 2012**). Par le drainage on évacue les eaux chargées en sels et on peut maintenir le niveau de la nappe à une profondeur constante. La salinité peut être provoquée par la remontée saline de l'eau souterraine. Cette remontée capillaire apporte les sels à la surface du sol et dans le profil. Le drainage est important dans ces conditions non seulement pour empêcher la salinisation mais aussi de fournir une aération adéquate aux racines des plantes (**HAMDY et RAJAB, 2001 ; MASMOUDI, 2012**).

VI. 1.3. Fréquence d'irrigation

La plupart des auteurs montrent que l'augmentation de la fréquence d'irrigation en conditions salines a un effet favorable sur les cultures. En effet, la chute de rendement augmente avec le temps d'exposition à la salure ; lorsque le sol s'assèche, sa solution se concentre et il peut y avoir des effets très marqués sur les cultures (**BERTRAND, 1981**). Cependant, l'effet néfaste de l'eau salée peut être moins accentué si l'intervalle entre 2 irrigations est réduit par l'augmentation de la fréquence d'irrigation puisque la pression osmotique sera réduite par l'apport de l'eau à travers l'irrigation (**PALIWAL, 1972**).

Ainsi **PALIWAL (1972)** a montré que lorsqu'on irrigue avec l'eau salée, le sol ne doit pas être séché en comparaison avec l'irrigation avec l'eau non salée. Car l'effet négatif de la salinité peut être atténué par une humidité élevée constante, c'est-à-dire le rapprochement des périodes d'arrosage.

Le maintien d'un équilibre entre les besoins de la culture et les apports en eau est très recommandé. En fait, tout apport supplémentaire correspondra à un apport de sels supplémentaire, surtout si la culture ne bénéficie pas de systèmes de drainage.

VI. 1. 4. Méthode d'irrigation

Le choix de la méthode d'irrigation avec l'eau salée dépend :

- ✓ de la distribution des sels et l'eau dans le sol
- ✓ de la sensibilité des plantes au mouillage foliaire
- ✓ la fréquence d'irrigation

Le mauvais choix de la méthode d'irrigation non seulement aggrave la salinisation du sol mais aussi peut créer des problèmes de drainage (**HAMDY, 2001**).

VI.2. Contrôle régulier de la qualité de l'eau d'irrigation

Le contrôle de la qualité de l'eau d'irrigation peut se faire en :

- ✓ Evitant d'irriguer avec une eau caractérisée par un SAR supérieure à 6 ou une salinité de 1,5 mmho/cm.
- ✓ Effectuant un suivi continué qualitatif et quantitatif des ressources en e



Chapitre III :

La conductivité électrique

III.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. Elle est exprimée en décisiemens 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 la solution du sol.

III.2. Principe de mesure de la conductivité électrique

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) 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/cm ou dS/m (mmho=millimho, S=siemens) à une température de 25°C, la conductivité électrique est la conductance mesurée dans des conditions spécifiques entre les faces opposées d'un cube unité matérialisé par une cellule conductimétrique composée de deux électrodes de 1 cm² de surface distante de 1cm (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).

III.3. Méthode de mesure de la conductivité électrique

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

III.3.1. Technique de l'extrait saturé

La teneur en eau à la saturation du sol est prise comme état hydrique de référence. Elle est variable car elle dépend de la texture de l'échantillon. La méthode nécessite la fabrication d'une pâte saturée en eau qui doit présenter des caractéristiques physiques particulières (consistance, brillance...) demandant une longue préparation. La qualité opératoire de celle-ci

est primordiale car elle est source d'importantes erreurs. En fait, en détruisant la structure de l'échantillon, cette méthode porte l'échantillon à une teneur en eau qui ne correspond pas à la saturation réelle du sol en place mais plutôt à une saturation « potentielle » plus élevée (**MONTOROI, 1997**).

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. L'extrait de la pâte saturée est une technique qui a été proposée par **L'U.S.SL (1954)**.

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.

III.3.2. Méthode de l'extrait dilué

Les extraits dilués sont au 1/1, 1/2,5, 1/5, 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**).



Chapitre IV :

Matériel et Méthodes

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

IV.1. Objectif de l'étude

Ce travail expérimental vise dans un premier temps à caractériser la salinité du sol (par l'extrait de la pâte saturée et par l'extrait dilué) et celle de l'eau d'irrigation au niveau de onze régions situées au Sahara Algérien, et en deuxième temps, à apprécier la salinisation du sol liée à l'irrigation au niveau de ces régions.

IV.2. Présentation du contexte écologique de la zone l'étude

IV.2.1. Localisation géographique

Le Sahara est le plus grand des déserts, mais également le plus expressif et typique par son extrême aridité, c'est à dire celui dans lequel les conditions désertiques atteignent leur plus grande ampleur (TOUTAIN, 1979 ; OZENDA, 1991). Le Sahara est un désert atténué caractérisé par des facteurs climatiques contrastés, particulièrement le phénomène thermique (OZENDA, 1983).

La plupart des grands déserts du globe ont connu au cours de leur histoire des conditions morphoclimatiques diverses, plus ou moins éloignées de celles d'aujourd'hui. Beaucoup de formes de paléosurfaces ont été conservées grâce à la déficience des systèmes morphodynamiques arides ou subarides qui se sont succédé (JOLY, 2008).

IV.2.2. Choix des régions d'étude

Notre étude a porté sur onze régions sahariennes réparties presque sur tout le Sahara Algérien.

Ces régions sont :

- La région de Touggourt
- La région d'Ouargla
- La région d'Oued Souf
- La région de Biskra
- La région de Ghardaïa
- La région de Bechar
- La région d'Adrar
- La région de Tindouf
- La région d'El Lizi

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

- La région d'Ain Saleh
- La région de Tamanrasset

Le choix de ces régions a été basé sur les critères suivants :

- Situation en milieu aride chaud (Saharien)
- Teneur variable en sels dans le sol et au niveau de l'eau d'irrigation
- Agriculture irriguée

IV.2.3. Situation et les limites géographiques des régions de l'étude

La situation et les limites géographiques des régions de l'étude sont illustrées dans la figure 03.

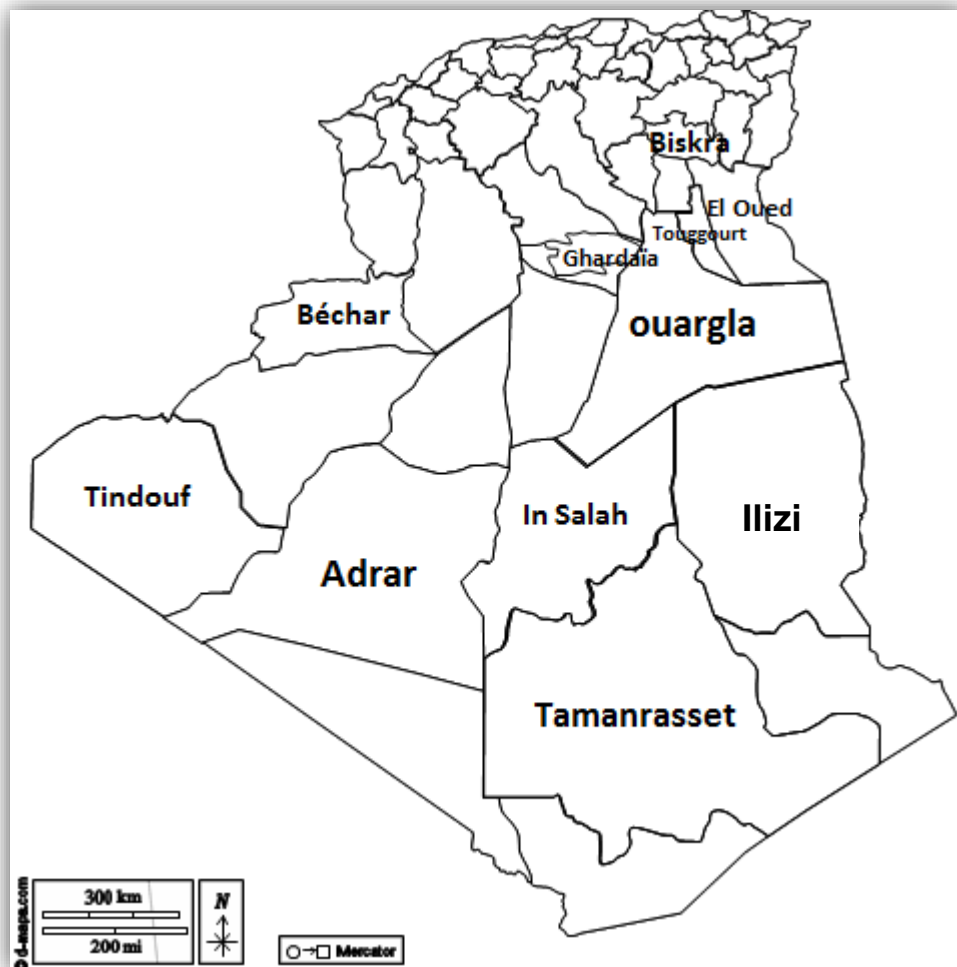


Figure N° 2: Position géographique des régions de l'étude

IV.2.4. Hydrogéologie

Le système aquifère du Sahara septentrional contient deux grandes nappes importantes à savoir :

- ❖ La nappe du Complexe Terminal
- ❖ La nappe du Continental Intercalaire (Figure 3).

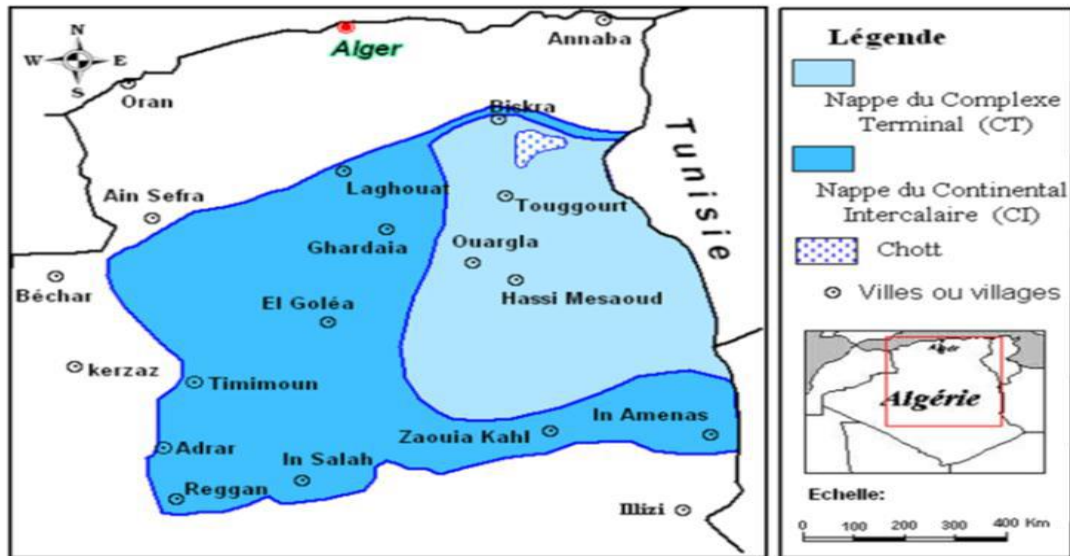


Figure N° 3: Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal) (UNESCO, 1972).

IV.2.4.1. Région d'Ouargla

Les formations géologiques de la région d'Ouargla contiennent deux grands ensembles de formation aquifère : le Continental Intercalaire à la base et le Complexe Terminal au sommet. Une troisième formation d'importance plus modeste s'ajoute aux deux précédents : la nappe phréatique ou nappe superficielle (NASRAT, 2007).

- **Nappe phréatique**

La nappe phréatique est contenue dans les sables alluviaux de la vallée. Elle se localise principalement dans la vallée d'Oued Righ et dans la cuvette d'Ouargla. Elle est caractérisée par son niveau piézométrique très variable, mais très proche de la surface par endroit (NEZLI, 2009). Cette nappe s'écoule du sud vers le nord, suivant la pente de la vallée. Sa profondeur varie de 1 à 8 m en fonction du lieu et de la saison. Les analyses des eaux de la

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

nappe phréatique montrent quelle est très salée, avec une conductivité électrique de l'ordre de 5 à 10 dS/m, et dépassant parfois les 20 dS/m (MAHANI, 2006).

- **Nappe du complexe terminal**

La nappe du complexe terminal s'étend sur une superficie d'environ 350 000 km². Dans le bassin occidental, il se confond avec le complexe intercalaire sous le grand erg occidental, alors que dans le bassin oriental, il forme un aquifère nettement distinct. Le Complexe Terminal (CT) comprend deux nappes différentes qui de haut en bas sont le Miopliocène et le Sénonien (IDDER, 2006).

- **Nappe du Miopliocène**

Elle est appelée aussi nappe des sables, et fut à l'origine des palmeraies irriguées. Elle s'écoule du sud-ouest vers le nord-est, en direction du chott Mélgbir. La salinité de la nappe est très variable 4,7 à 8,3 dS/m (BOUZIANE et SLIMANI, 2012).

- **Nappe du Sénonien**

La nappe artésienne du sénonien est exploitée dans les calcaires entre 140 et 200 m de profondeur. La salinité de cette nappe est très variable 3,8 à 5,5 dS/m. Elle est surtout utilisée pour l'alimentation en eau potable (YOUCEFI, 2011).

- **Nappe du Continental Intercalaire**

La nappe du continental intercalaire ou albienne est une nappe fossile fortement artésienne qui n'est pas réalimentée par la climatologie actuelle. Elle est captée à plus de 1000 m au centre du Sahara et affleure dans la région d'Adrar et Timimoune. Les eaux du Continental Intercalaire sont caractérisées par une température qui dépasse parfois les 60°C (MERABET, 2011 ; YOUCEFI, 2011). La salinité moyenne de cette nappe est d'environ 2,4 dS/m (BOUZIANE et SLIMANI, 2012).

IV.2.4.2. Région d'Oued Souf

La région de Ouedsouf qui fait partie du Sahara septentrional recèle dans son sous sol d'importantes réserves en eau contenues dans des aquifères superposées de la nappe

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

phréatique dite libre à la nappe la plus profonde dit albien. la vallée du souf et sa périphérie puisent son eau dans les nappes profondes suivantes :

- **La nappe du Complexe Termina :**

La zone de production de cette nappe se situe entre 200 et 500 m. Le débit moyen par forage varie entre 25 et 35 l/s avec une qualité chimique de 2 à 3 g/l de résidu sec. Le niveau hydrostatique de la nappe oscille entre 10 et 60 mètres selon les zones. (A.N.R.H 2009)

- **La nappe du Continental Intercalaire**

La nappe du Continental Intercalaire est captée à une profondeur moyenne de 1900 m, l'eau de cette nappe se distingue par sa température très élevée atteignant plus de 60 °C, et un résidu sec de 2 à 3 g/l. (A.N.R.H 2009)

IV.2.4.3. Région de Ghardaïa

Les principales ressources en eau de la wilaya sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères ; les nappes superficielles d'inféro-flux (Phréatique), et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire dite albienne.

- **Les nappes superficielles (phréatiques) :**

Elle est constituée par l'accumulation des eaux d'infiltration au-dessous d'une couche étanche située à quelque distance de la surface libre du terrain (Mayer, 1954 in Bahaz 2013).

Dans la région de Ghardaïa, trois types de nappes superficielles ont été distinguées :

- La nappe d'eau contenue dans les calcaires du Sénonien carbonate ;
- La nappe d'eau contenue dans les calcaires fissurés du Turonien ;
- Les nappes alluvionnaires de l'Inféro-flux (Oueds), cette dernière concerne principalement notre zone d'étude de METLILI.

- **Les nappes alluvionnaires :**

Les nappes phréatiques de surface sont très fréquentes dans notre zone d'étude. Elles sont formées d'alluvions et de sables du Quaternaire. Constituées de galets et de poudingues qui tapissent les lits des oueds de la dorsale du M'zab. Les alluvions reposent sur les couches

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

calcaires dures du turonien. Ces nappes présentent un intérêt très important dans le domaine agricole, elles servent comme une source vitale pour l'irrigation des oasis implantées dans les vallées des oueds et elles servent également pour l'alimentation en eau potable à l'amont de la vallée de METLILI.

- **La nappe du Continental Intercalaire (CI) dans la commune de Metlili :**

La nappe du Continental intercalaire représente la principale ressource en eau de la région. L'aquifère est composé de sables, grès, marne et d'argiles sableuses d'âge Albien. Elle est captée à une profondeur allant de 280 à 500m. Cette nappe est Jaillissante (**A.N.R.H, Ghardaïa 2011**).

IV.2.4.4. Région de Biskra

Selon **Durand (1953)**, l'hydrogéologie de la région de Biskra est caractérisée par la présence des quatre nappes principales, où la notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra distingue les nappes suivantes.

- **La nappe phréatique quaternaire :**

Elle se localise sur des accumulations alluvionnaires. **Mimeche, 1999 (in Khechai, 2001)** note que le substratum est formé par une épaisse formation argileuse, contenant quelques niveaux de sable, de gravier et des marnes. La plupart des eaux de cette nappe sont salées ou très salées. Les nappes les plus importantes dans la Wilaya de Biskra sont celles de l'Oued Biskra et de l'Oued Djedi, leur alimentation est assurée par les précipitations (**A.N.A.T., 2005**).

- **La nappe du miopliocène :**

Sa litho stratigraphie est mal connue avec l'alternance de couches d'argiles imperméables. A peine la formation de quelques horizons aquifères dans les terrains continentaux du tertiaire et quaternaire sont connus. Les eaux sont de mauvaise qualité, alimentées à partir des zones d'affleurement du miopliocène. Selon **Khechai, (2001)**, l'écoulement de cette nappe se fait du Nord-Ouest vers le Sud -Est libre, semi libre et semi captif.

- **La nappe des calcaires de l'éocène et de sénonien :**

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

Cette nappe est localisée dans la totalité de la région de Biskra. Son réservoir est constitué essentiellement de calcaire de l'Eocène inférieur et du Cénomanién supérieur, avec un toit composé des formations argilo-sableuses du miopléocène au Nord et des marnes gypseuses moyennes au Sud. Elle recèle des réserves très importantes qui sont liées d'une part aux faciès et à l'état de fissuration de la roche, et d'autre part à sa recharge souterraine à partir de l'Atlas Saharien. Elle est la plus sollicitée dans les palmeraies des Ziban, où elle est appelée « Nappe de Tolga » sa profondeur est de 100 à 500m.

IV.2.4. 5. Région de Touggourt

- **Continental Intercalaire :**

C'est un aquifère de 1500 m et plus de profondeur ; composé de sables gréseux ou argileux qui s'étend sur plus de 600 000 Km², son épaisseur peut atteindre 1000 m au Nord-Ouest du Sahara. Il se situe entre 700 et 2000 m de profondeur. Du point de vue lithologique, le continental intercalaire est formé par une succession de couches de sables, de grès, de grès argileux et d'argile. La qualité de l'eau du Continental. L'eau d'Albien est relativement peu minéralisée de conductivité électrique de 3 mmhos/cm, mais dont la température est supérieure à 50 °C quand elle jaillit, ce qui pose des problèmes de refroidissement préalable à l'irrigation (SAYAH LEMBAREK, 2008).

- **Complexe Terminal (CT):**

Le Complexe Terminal contient plus d'une nappe (Mio-pliocène, sénonién carbonates et l'Eocène) d'extension considérable de 350 000 Km², une puissance moyenne de 50 à 100 m et une profondeur variante entre 200 et 500 m. On distingue trois aquifères principaux :

- ✓ **La première nappe :** dans les sables et argiles du pliocène, qui est en fait un réseau de petites nappes en communication ;
- ✓ **La deuxième nappe :** dans les sables grossiers à graviers du Miocène supérieurs ;
- ✓ **La troisième nappe :** dans les calcaires fissurés et karstiques de l'Eocène inférieur.

IV.2.4. 6. Région d'Illizi

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

Le complexe hydrogéologique du bassin d'Illizi est situé dans le Cambro-Ordovicien. Ses eaux sont riches en chlore et en calcium. Cet aquifère se trouve à partir de la profondeur de 50m. A El-Adeb-Larache et Tiguentourine, l'aquifère est à 100m. A Zarzaitine et à Taouratine, il est à au moins 350m.

Les diverses études de reconnaissance du sol confirment qu'aucune nappe phréatique n'est rencontrée à moins de 15m. Ceci met les structures souterraines des bâtisses à l'abri des phénomènes physiques et mécaniques liés à la présence de la nappe phréatique et à ses fluctuations.

IV.2.4. 7. Région de Bechar

La région de Béchar se distingue surtout par ses eaux superficielles provenant du sud de l'Atlas Saharien (Oued Guir) et également par les nappes phréatiques des Oueds de Zousfana et de la Saoura. D'autres formations aquifères de Turonien et du carbonifère constituent une ressource relativement importante quant à la région du Tindouf, elle présente plusieurs aquifères, à savoir : Nappe phréatique Nappe des hammadas (sable) Viseen terminal (**KHADRAOUI, 2004**).

IV.2.4. 8. Région d'Adrar

Les ressources hydriques du Sud-ouest Algérien, notamment la région d'Adrar sont représentées essentiellement par la nappe continentale intercalaire d'âge albien qui alimente en eau toutes les oasis au travers de techniques très anciennes dénommées foggaras. Cet ouvrage hydraulique est un système gravitaire d'exploitation des eaux souterraines utilisé pour l'irrigation (**DUBOST, 2002**).

IV.2.4. 9. Région d'Ain Salah

La région d'In Salah est caractérisée par un aquifère Continental Intercalaire (Albien). Cet aquifère se trouve parmi les plus grands aquifères du monde. Il contient une nappe captive ou localement libre, profonde. Il couvre toute la surface du bassin du Tidikelt. Il est formé par des dépôts gréseux, conglomératiques et des sables bariolés. Dans la région de In Salah cet aquifère peut être libre (exploité par des foggaras) ou captive (forage artésien de la région d'Igosten) (**MEHDI, 2006**).

IV.2.4. 10. Région de Tindouf

Suivant le caractère désertique de la région de Tindouf, les Oueds sont complètement temporaires et occupés par la végétation. A la Hamada du Drâa, creusent le dépôt tabulaire de la Hamada, et convergent vers la Sebka de Tindouf. Toutefois, dans la région de Sud-est, le réseau hydrographique est très différent à cause des accumulations dunaires (CAVAROC et al, 1976)

IV.2.4. 11. Région de Tamanrasset

La formation du continental intercalaire est très important du point de vue hydrogéologique, en effet, c'est sous cette formation que se trouve la nappe albienne. Cette dernière s'étend sous tout le Sahara, de l'Atlas saharien au Hoggar (GRENOT, 1976 in DJEMOUAL-LEMITI, 2008).

IV.2.5. Pédologie

IV.2.5.1. Région d'Ouargla

La région d'Ouargla est caractérisée par des sols à prédominance sableuse et à structure particulière. Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, une activité biologique faible, un PH alcalin, une forte salinité et bonne aération (ROUVILOIS-BRIGOL, 1975). D'après HALILAT (1993), la typologie des sols de la région est comme suite :

- Sol salsodique
- solHydromophe
- sols minéraux brutes

IV.2.5.2. Région d'Oued souf

Le sol du Souf prend deux aspects. Le plus dominant est l'ensemble dunaire. Ce sont de grandes accumulations sableuses. L'autre aspect est appelé localement « SHOUNES » (plusieurs sahanes), où la superficie du sol est parfois caillouteuse avec de croûtes gypseuses entourées par des hautes dunes (GHROUD) qui leur donnent ainsi une forme de cratères (O.N.R.G.M, 1999)

Chapitre IV:Matériel et Méthodes

IV.2.5.3. Région de Ghardaïa

Généralement, les sols des lits d'Oued sont des sols de regs, hamadas qui sont caractérisés par l'érosion ou d'accumulation d'alluviaux (**KADI et KORICHI, 1993**). Les alluvions quaternaires sont formées de sable, galets et argile qui tapissent le fond de la vallée de l'oued de Metlili, d'une épaisseur de 20 à 35 m (**ANRH, 2005**). Ainsi, le sol est peu évolué d'apport alluvio-colluvial, peu caillouteux avec une texture sablo-limoneuse (**D.S.A, 2005 ; DAHOU, 2014**).

IV.2.5.4. Région de Biskra

Les études réalisées par **Khechai (2001)** montrent qu'il y a une hétérogénéité des sols de la région de Biskra. Allant du Nord, caractérisé par des montagnes où les sols sont limono – argileux en passant par le périmètre de l'Outaya jusqu'aux sols argilo – limoneux dans la zone de Sidi Okba, à l'Est de Biskra des sols calcaires, limono – sableux dans la zone des Ziban, pour cela, les différents types de sols rencontrés sont :

- Les sols calcaires.
- Les sols gypseux.
- Les sols gypseux calcaires.
- Les sols salés.
- Les sols argilo – sodiques.
- Les sols peu évolués d'apport alluvial.
- Les sols colluvionnaires
- Les sols à formation éolienne.

IV.2.5.5. Région de Bechar

Selon **DUTIL (1971)**, les principales classes des sols dans la région de Béchar sont :

- Les sols minéraux bruts : ce sont les sols perméables, à percolation rapide, résultant d'une faible pédogenèse.
- Les sols peu évolués : ce sont des sols d'alluvions récentes ne montrant qu'un début de pédogenèse.
- Les sols d'apport éolien : ces sols sont développés sur des formations éoliennes fixées (nebkhas, dunes, microdunes).

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

- Les sols halomorphes : ce sont des sols salés plus ou moins perméables, accentués par une forte évaporation, trouvée dans les dépressions privées de drainage.

IV.2.5.6. Région d'Adrar

Le climat sec de la région d'Adrar favorise la formation de deux types de sols :

- Des sols minéraux bruts d'ablation en position topographique haute avec une concentration d'éléments grossiers et des sols minéraux bruts d'apports éoliens.
- Des sols salés avec des encroûtements gypso-salins, gypseux, ou gypso-calcaires dans les zones basses et endoréiques où l'évaporation intense conduit à l'extension de ce type encroûtements (DAOUD et HALITIM, 1994 in ZIZA, 2006).

IV.2.5.7. Région d'Ain Salah

La région d'Ain Salah fait partie de la zone hyper aride, caractérisée par une salinisation secondaire surtout dans les palmeraies. La solution du sol est très chargée en chlorures et en sulfate dénotant une salinisation sols sodiques. La prospection des sols de la région d'étude fait ressortir un gradient de salinisation croissant du Nord Est (de région d'Igosten, 273m d'altitude) au Sud-ouest (de la région de sebkhat et Ezzebara 256 d'altitude).

L'irrigation se traduit souvent par une remontée de la nappe superficielle salée salinisant le sol (MEHDI, 2006). Pour les sols hors palmeraies, généralement situés sur des terrasses d'apport faisant la transition entre la terrasse d'érosion au-dessus et les sebkhas au-dessous. Dans certains sols les dépôts colluviaux et éoliens se sont formés simultanément. Dans ces sols contrairement aux sols irrigués. Il n'y a pas de processus d'accumulation des carbonates ou du gypse est peu visible dans ces sols (S.E.D.A.T, 2012).

IV.2.5.8. Région de Tamanrasset

Les sols de la région de Tamanrasset sont généralement peu ou non salés, très pauvres en calcaire et en matière organique, sauf là où il y a de la végétation, notamment dans les palmeraies et sous les touffes de la végétation naturelle. En général, les sols rencontrés dans cette région se révèlent peu ou très peu évolués, suite à une humidité insuffisante. Ce sont des sols azonaux, bruts (OZENDA, 1983), avec des profils peu différenciés voire inexistantes (LOURCI *et al*, 2014).

IV.2.6. Climatologie

Les caractères du climat saharien sont dus tout d'abord à la situation en latitude, au niveau tropique, ce qui entraîne de fortes températures, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs (**OZENDA, 1991**).

IV.2.6.1. Température

La température est considérée comme étant le facteur le plus important. Elle agit sur la répartition géographique des animaux et des plantes ainsi que sur la durée de leurs cycles biologiques. Elle conditionne de ce fait les différentes activités de la totalité des espèces et des communautés vivant dans la biosphère (**CHEHMA, 2011**).

Les températures moyennes, minimales et maximales au niveau de régions d'étude sont illustrées dans la figure N°04.

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

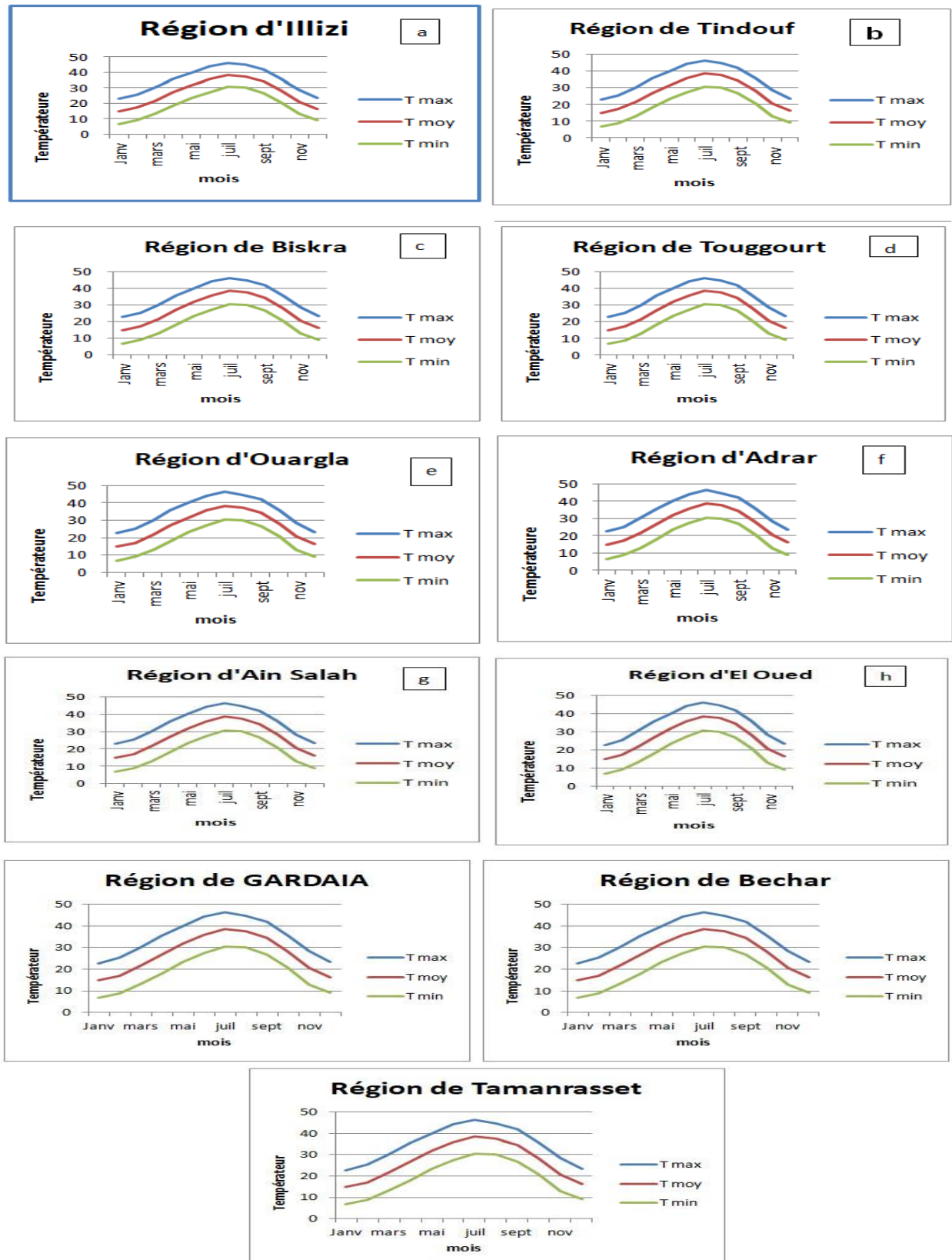


Figure N° 4: Températures moyennes, minimales et maximales dans les onze régions d'étude période (2010-2020)

<https://fr.tutiempo.net>

IV.2.6.2. Pluviométrie

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat (FAURIE et al, 1980). Les précipitations moyennes mensuelles (mm) des onze régions d'étude sont présentées dans la figure N°5.

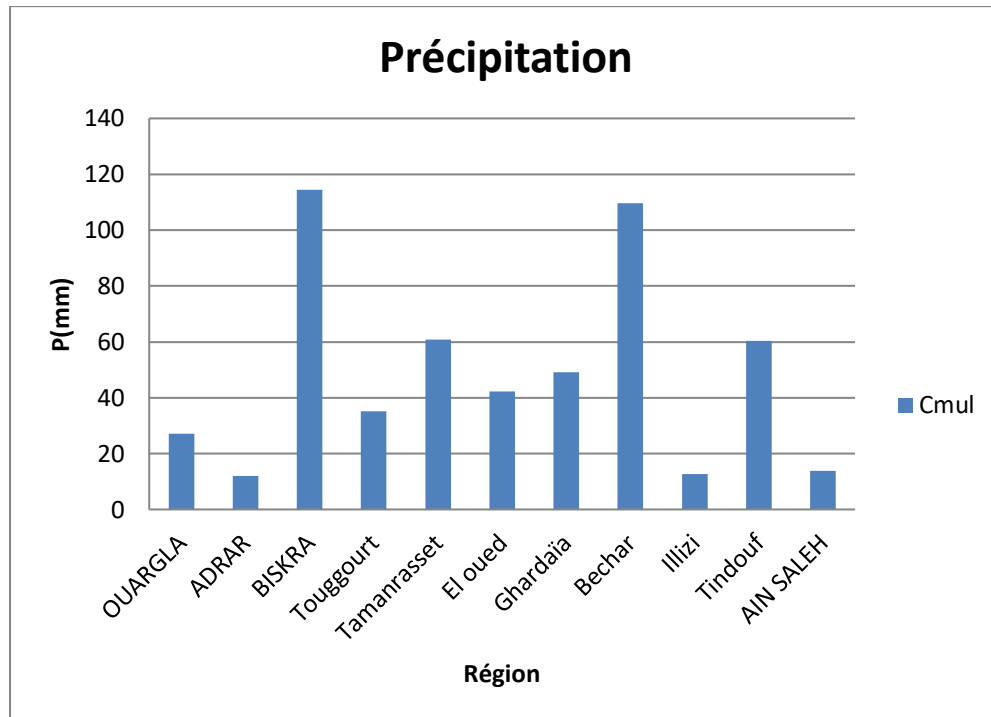


Figure N° 5: Précipitation moyenne annuelle en (mm) des onze régions d'étude période (2010-2020)

[https : // fr.tutiempo.net](https://fr.tutiempo.net)

Les valeurs des cumulatives annuelles de la pluviométrie mentionnée dans la figure N°06 montrent que la région la plus pluvieuse pour la période (2010-2020) est BISKRA avec un cumul annuel de 117mm, et la moins pluvieuse est la région d'Illizi avec un cumul annuel de 13mm.

IV.2.6.3. Synthèse climatologique

La synthèse des données climatiques peut être effectuée par plusieurs indices climatiques tels que l'indice des pluies de Thornthwaite, l'indice xérothermique, l'indice d'aridité de Martonne, le diagramme ombrothermique de Bagnoulet Gausson et le climagramme d'Emberger (DAJOZ, 1971).

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

Pour la caractérisation du climat de nos régions d'étude on s'est limité aux trois derniers indices climatiques : le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen, Climagramme d'Emberger et l'indice d'aridité (Ia).

IV.2.6.3.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen permet de définir les mois secs. D'après **DAJOZ (1971)**, Gaussen considère que la sécheresse s'établit lorsque la pluviosité mensuelle P exprimée en millimètres est inférieure au double de la température moyennement mensuelle T exprimée en degrés Celsius. Le diagramme ombrothermique est un mode de représentation classique de climat d'une région donnée.

Le Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls montre que la période sèche s'étale sur toute l'année pour l'ensemble des régions d'étude (Figure 06).

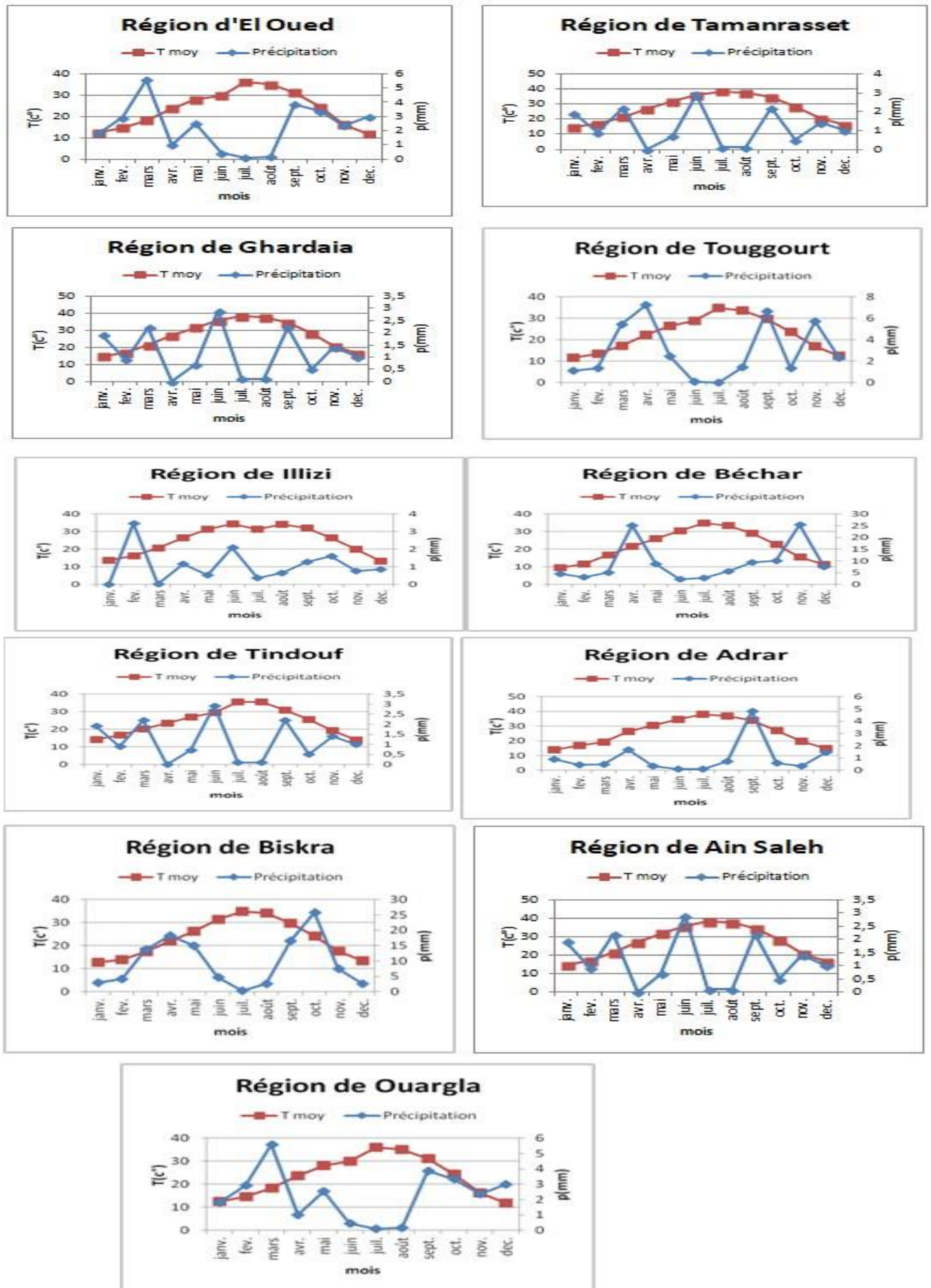


Figure N° 6:: Diagramme ombrothermiques de Gausson et appliqué sur les onze régions

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

IV.2.6.3.2. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger permet le classement des différents types de climat. En d'autres termes, il permet de classer une région donnée dans l'un des étages bioclimatiques en se basant sur les températures et les précipitations de cette dernière. Emberger propose une formule plus élaborée qui tient compte de la variation annuelle de la température.

Le quotient pluviométrique d'Emberger est donné par la formule modifiée par **Stewart (1969)**.

$$Q3 = 3.43 \times P / (M - m)$$

Où:

- Q3: Quotient pluviométrique
- P : Précipitation annuelle en mm.
- M : Moyenne des maxima des températures du mois le plus chaud en °C.
- m : Moyenne des minima des températures du mois le plus froid en °C.
- 3,43 : Coefficient de Stewart établi pour l'Algérie.

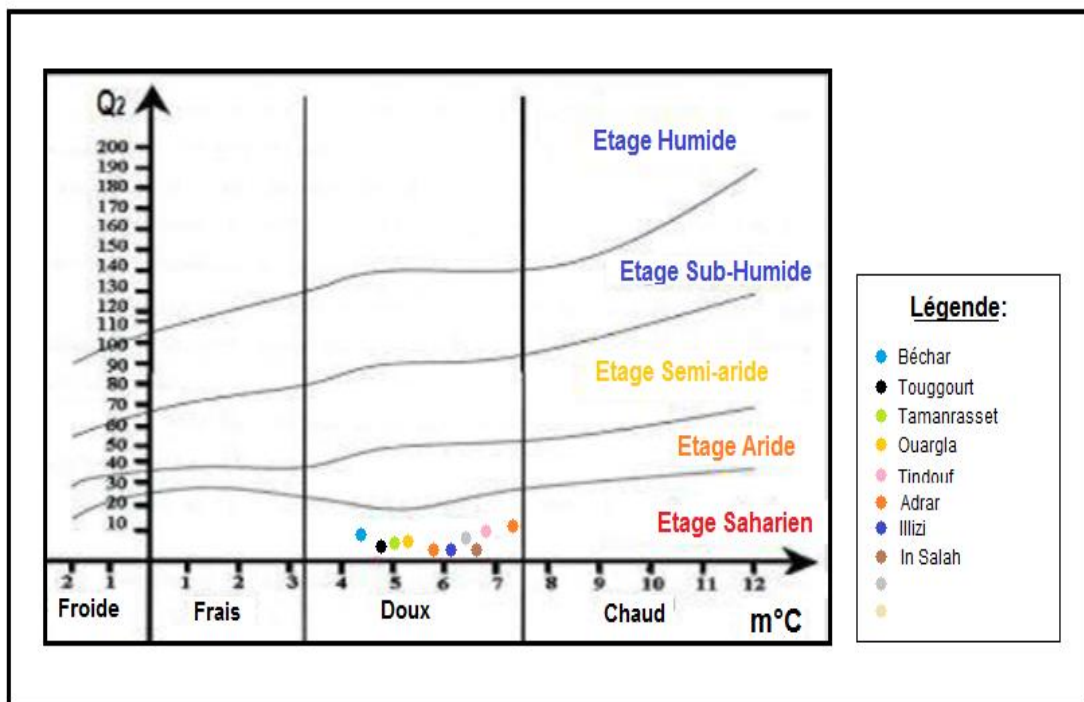


Figure N° 7: Position des onze régions d'étude dans le climagramme d'Emberger.

IV.3. Techniques des analyses physico-chimiques du sol et de l'eau d'irrigation des régions d'étude.

Avant d'entamer cette partie de notre travail, il est intéressant de mentionner que par manque de produits et de quelques appareils au niveau des laboratoires de la faculté (SNV), et même au niveau du laboratoire de CRSTRA (Touggourt) on n'a pas pu réaliser quelques manipulations très intéressantes et qui seraient en mesure de nous donner quelques éléments de réponse pour bien discuter nos résultats, il s'agit notamment de la détermination du SAR, le bilan anionique et cationique du sol et de l'eau d'irrigation au niveau des régions de l'étude .

IV.3.1. Technique d'échantillonnage du sol et de l'eau d'irrigation

Des échantillons représentatifs du sol obtenus par l'homogénéisation de plusieurs prélèvements (09 prélèvements) ont été réalisés au niveau de la couche arable du sol cultivé, ainsi qu'au niveau du sol non cultivé pour chaque région d'étude. Il est à noter que l'échantillonnage du sol cultivé a été effectué en parallèle à l'échantillonnage de l'eau utilisée pour l'irrigation. La caractérisation physico-chimique du sol et de l'eau d'irrigation a été effectuée au niveau du laboratoire **CRSTRA** (Touggourt).

Les sites de prélèvement des échantillons du sol sont présentés dans la Figure N°08.



Figure N° 8: Sites de prélèvement des échantillons du sol

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

IV.3.2. Méthode d'analyse

IV.3.1. 2.1. Conductivité électrique

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

Utilisées :

➤ **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 EC_e (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 qu'il 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 efficace 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**).

Étant 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

Chapitre IV: Matériel et Méthodes

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.

Manipulation

Une quantité de sol de 200 g tamisé à 2 mm est placée dans un bécher. On ajoute de l'eau distillée à la terre tout en remuant avec une spatule. Les volumes pédologiques utilisés varient d'un échantillon à l'autre de même que la nature des sols. De ce fait, les volumes d'eau utilisées pour obtenir la pâte saturée varient également d'un échantillon à l'autre (**BAIZE, 1988**). L'eau distillée est ajoutée à la terre jusqu'à saturation c'est-à-dire jusqu'à sa limite de liquidité d'Atteberg. On crée ainsi un rapport terre/eau variable selon la texture. Selon Pelvon (1955), à saturation la pâte brille à la lumière et glisse librement le long de la spatule. Ainsi faite, on laisse la préparation reposer librement à la température ambiante l'extraction de la solution de sol est faite par centrifugation à 3000 tours/minutes pendant 10 minutes. La solution ainsi récupérée est mise dans des bouteilles après l'avoir filtrée jusqu'à sa limpidité. La solution liquide récupérée est prête pour la mesure de la conductivité électrique et les analyses chimiques.

➤ Technique de l'extrait dilué

Les extraits dilués sont au 1/1, 1/2,5, 1/5, 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.

➤ Principe de l'extrait dilué

Cette méthode consiste à faire des extractions aqueuses de rapports (sol/eau (m/v) fixes pour obtenir des fortes dilutions (sol/eau de 1/5 ou 1/10. Le rapport 1/5 est le plus souvent utilisée) ; ce rapport sol/eau restant donc constant quelle que soit la nature de l'échantillon et, notamment, sa granulométrie. La conductivité électrique de ces extraits dilués est spécifiée en ajoutant le rapport sol/eau comme indice à l'abréviation CE, par ex. CE_{1/5}. Cette méthode est plus rapide et moins consommatrice de quantité d'échantillon (**MATHIEU et al, 2003**).

Manipulation

- Pour le rapport 1/1 : peser 50 g de sol sec tamisé à 2 mm, introduire dans un flacon bouché et ajouter 50 ml d'eau déminéralisée, agiter durant 2 heures par l'agitateur rotatif, laisser reposer jusqu'à ce qu'il y ait sédimentation de la terre et filtrer avec papier filtre et faire les mesures conductimétriques.
- Pour le rapport 1/2,5 : peser 20 g de sol sec tamisé à 2 mm, introduire dans un flacon bouché et ajouter 50 ml d'eau déminéralisée, agiter durant 2 heures par l'agitateur rotatif, laisser reposer jusqu'à ce qu'il y ait sédimentation de la terre et filtrer avec papier filtre et faire les mesures conductimétriques.
- Pour le rapport 1/5 : peser 10 g de sol sec tamisé à 2 mm, introduire dans un flacon bouché et ajouter 50 ml d'eau déminéralisée, agiter durant 2 heures par l'agitateur rotatif, laisser reposer jusqu'à ce qu'il y ait sédimentation de la terre et filtrer avec papier filtre et faire les mesures conductimétriques.

IV.3.1.3. Méthode de mesure de pH

La notion de pH est la mesure du nombre d'ions d'hydrogène (H⁺) présents dans le sol. Le pH du sol permet de façon commandée et précise de désigner la réaction du sol salins ; il est classé selon le pH de l'extrait 1/5 (SOLTNER, 1989 in HADDAD et ABBES 2015). Sa valeur, le plus souvent mesurée à l'aide d'un pH-mètre ou de "papier pH", indique si l'eau est acide (de 1 à <7), neutre (7), ou basique (de > 7 à 14). On dit aussi alcaline (Annexe1) (MATHIEU et PIELTAIN ,2009).

IV.3.2. Méthodes d'analyses de l'eau d'irrigation

IV.3.2.1. Techniques d'échantillonnage

Pour les analyses de l'eau d'irrigation, des échantillons représentatifs d'eau ont été prélevés des points d'eau destinés à l'irrigation au niveau de chaque région d'étude. Ces échantillons sont mis à la caractérisation suivant les méthodes d'analyse suivantes :

IV.3.2. 2.Méthodes d'analyses

Le pH et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation ont été mesurés parallèlement aux analyses du sol en utilisant le même appareillage.



Chapitre V :

Résultats et discussion

.I : Résultats

V.I.1. Résultats de mesure de la conductivité électrique et du pH du sol au niveau des onze régions d'étude

V.I.1.1. Conductivité électrique des extraits dilués et de la pâte saturée du sol cultivé

V.I.1.1.1. Extraits dilués et la pâte saturée

Les résultats de mesure de la conductivité électrique des extraits dilués du sol au niveau des onze régions d'étude sont présentés dans la figure N°9, a, b, c.

Extrait 1/1 : Les résultats de mesure de la CE de l'extrait du sol (1/1) montrent que la conductivité électrique la plus faible a été enregistrée au niveau du sol de la région de Tamanrasset 2.57dS/m, alors que la plus élevée a été enregistrée au niveau du sol de la région de Aïn Salah 17.67dS/m (Figure N°9 a).

Extrait 1/2.5 : Les résultats de mesure CE de l'extrait du sol (1/2.5) montrent que la conductivité électrique la plus faible a été enregistrée au niveau du sol de la région de Tamanrasset 1.82dS/m, et la plus élevée a été enregistrée au niveau du sol de la région de Aïn Salah 10.36dS/m (Figure N°9 b).

Extrait 1/5 : Les résultats de mesure CE de l'extrait du sol (1/5) montrent que la conductivité électrique la plus faible a été enregistrée au niveau du sol de la région de Ghardaïa 1.88dS/m et la plus élevée a été au niveau du sol de la région de Ouargla 6.70dS/m (Figure N°9 c).

D'après l'échelle de la classification de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 à 25°C, (AUBERT, 1978) (Annexe N°01), les sols des onze régions d'étude appartiennent aux classes suivantes :

Chapitre IV: Résultats et discussion

Tableau N° 2. Classification du sol d'après l'échelle de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (AUBERT, 1978) au niveau des huit régions d'étude

Région	CE (dS/m à 25°C) de l'extrait 1/5		Classe de sol
	Sol cultivé	Sol non cultivé	
Ouargla	6,68	6,49	Sol extrêmement salé
Tindouf	2.75	2.54	Sol très salé
Oued Souf	2,74	1.94	Sol très salé
Touggourt	5,05	5.13	Sol extrêmement salé
Biskra	2,16	1,44	Sol très salé
Illizi	2.95	2.68	Sol très salé
Ghardaïa	1.88	1.00	Sol salé
Bechar	3.7	3.13	Sol très salé
Adrar	1.15	0.90	Sol salé
Ain Salah	6.70	7.64	Sol extrêmement salé
Tamanrasset	1.45	0.81	Sol peu salé

CE du sol cultivé

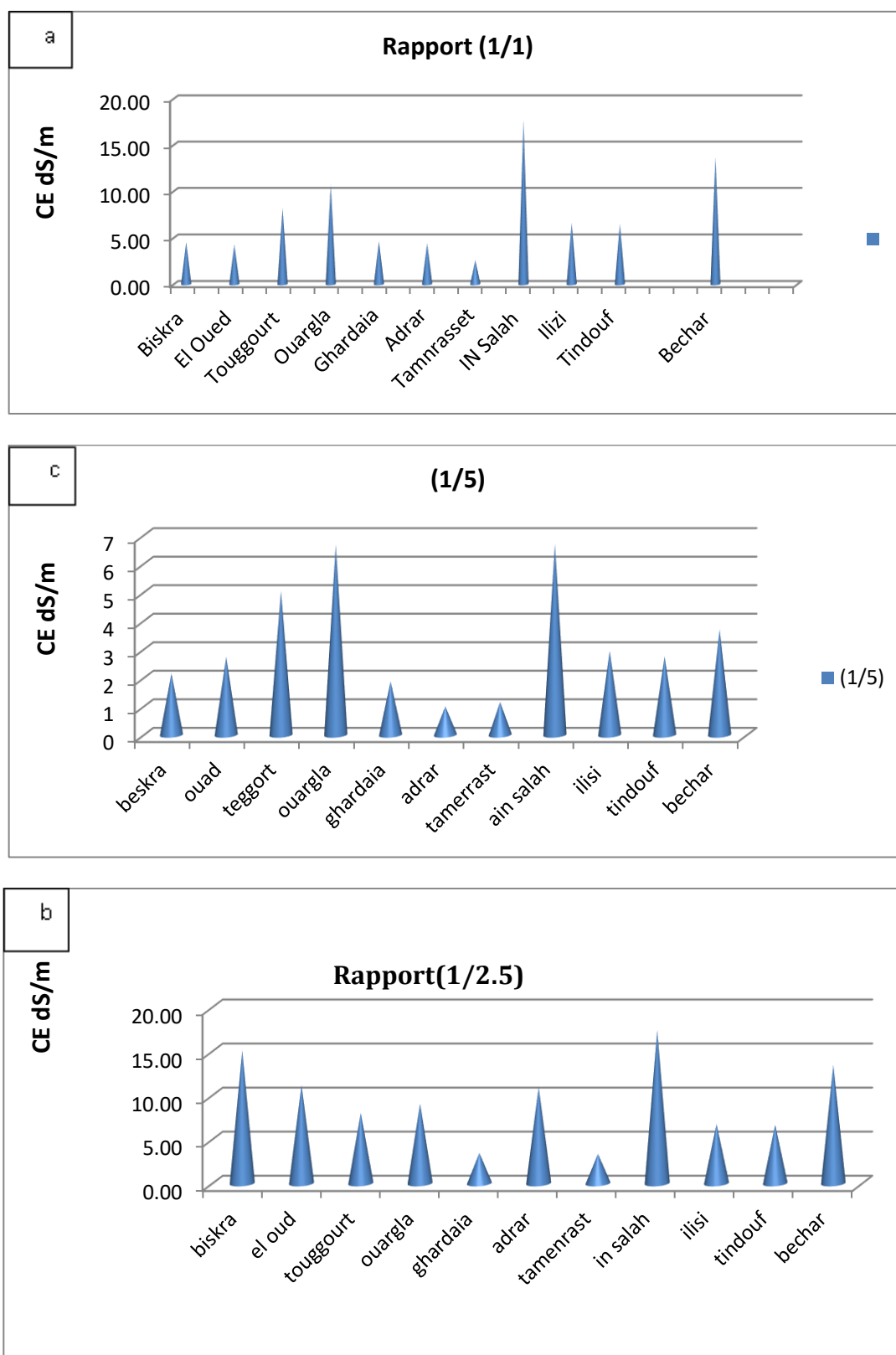


Figure N° 9: Valeurs moyennes de la conductivité électrique de l'extrait dilué (1/1, 1/2,5, 1/5) du sol cultivé au niveau des Onze régions d'étude.

Chapitre IV: Résultats et discussion

V.I.1.1.2. Résultats de la mesure de conductivité électrique de la pâte saturée du sol au niveau des onze régions d'étude

Les résultats de la mesure de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol au niveau des onze régions d'étude sont présentés dans la figure N°10. Ces résultats montrent que la conductivité électrique la plus faible a été enregistrée au niveau du sol de la région de Tamanrasset (5.82dS/m) et la plus élevée a été enregistrée au niveau du sol de la région d'Ain Salah (19.23dS/m).

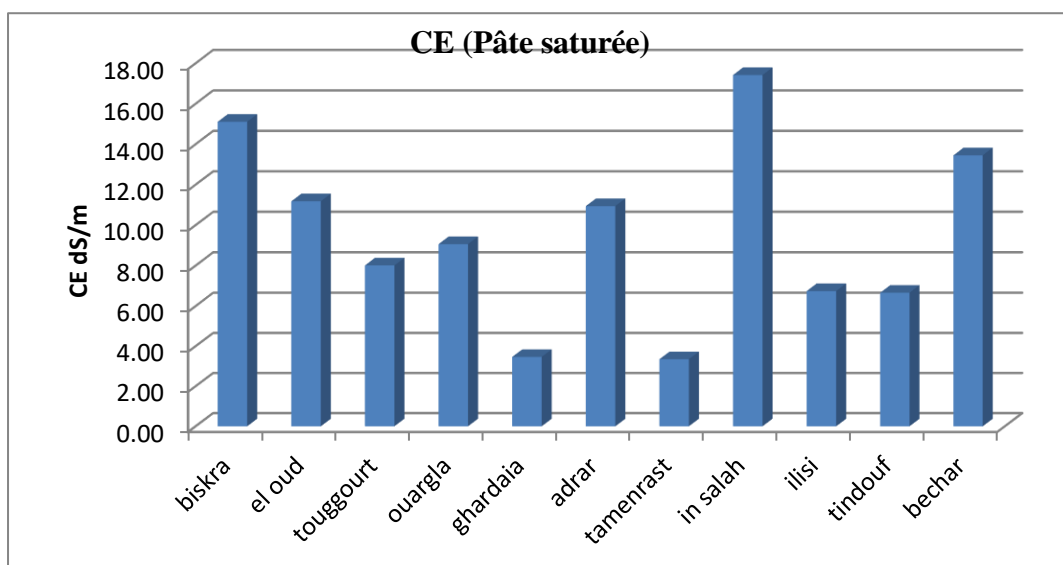


Figure N° 10: Valeurs moyennes de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol cultivé des onze régions d'étude

Selon USSL (1954) (Annexe N°02), un sol est dit salé quand la conductivité électrique de l'extrait pâte saturée, est supérieure à 4 dS/m. en se basant sur cette référence, hormis le sol la région de Tamanrasset, tous les sols sont considérés comme des sols salés.

V.I.1.1.3. Comparaison entre la conductivité électrique des extraits dilués et celles de la pâte saturée au niveau des onze régions d'étude

Les valeurs comparatives entre la conductivité électrique de la pâte saturée et celles des extraits dilués au niveau des onze régions d'étude sont présentées dans les figures N°11, les résultats obtenus montrent ce qui suit :

Pour la région d'Ouargla, la conductivité enregistrée varie entre une valeur minimale enregistrée par le rapport (1/5) (6.68dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (13.36dS/m).

Chapitre IV:Résultats et discussion

Pour la région d'ELOued, la conductivité enregistrée varie entre une valeur minimale enregistrée par le rapport (1/5) (2.74dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (13.68dS/m).

Les valeurs de la conductivité électrique dans la région Biskra varient entre une valeur minimale enregistrée par le rapport (1/5) (2.16dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (17.36dS/m).

Quant à la région de Ghardaïa, les valeurs de la CE varient entre une valeur minimale enregistrée par le rapport (1/5) (1.88dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (6.8dS/m).

Pour les sols d'Adrar, la conductivité électrique varie entre une valeur minimale enregistrée dans rapporte (1/5) (1.15dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extraitde la pâte saturée (13.38dS/m).

La conductivité électrique deTamanrasset varie entre une valeur minimale enregistrée dans rapport (1/5) (.077 dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (13.35dS/m).

Les valeurs de la conductivité électrique d'AinSalah varient entre une valeur minimale enregistrée dans rapport (1/5) (6.70dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (19.23dS/m).

A Bechar, les résultats de la conductivité électrique varient entre une valeur minimale enregistrée par le rapport (1/5) (3.7dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (15.95dS/m).

La comparaison des onze régions entre elles montrent que la plus petite conductivité électrique la plus élevée été enregistré par l'extrait de la pâte saturée dans la région de Ain Salah et la plus faible CE a été enregistrépar l'extrait du sol (1/5) dans la région de Tamanrasset

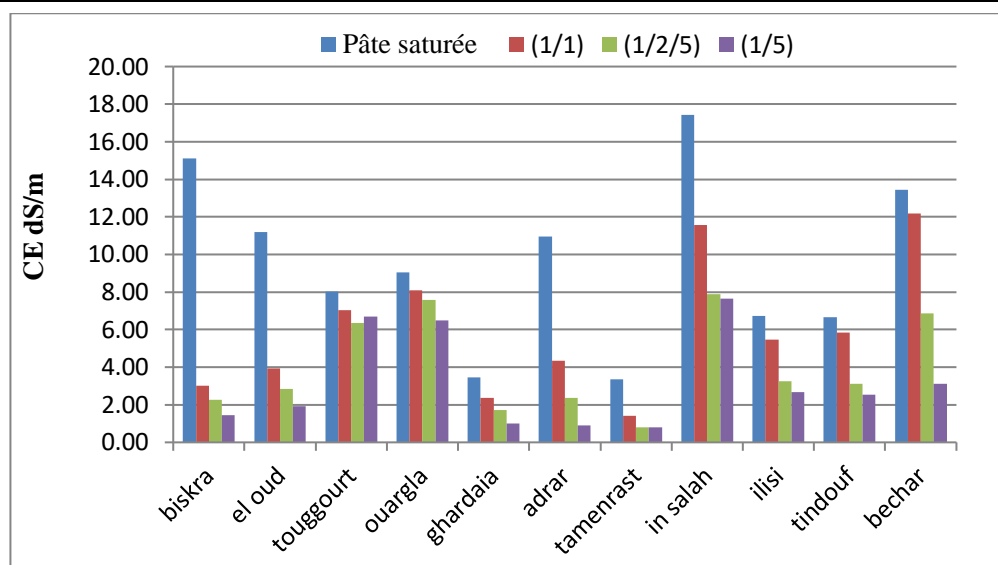


Figure N° 11: Valeurs comparatives entre la CE (dS/m) de la pâte saturée et des extraits dilués au niveau du sol cultivé des onze régions d'étude.

V.I.1.2. Conductivité électrique des extraits dilués et de la pâte saturée du sol non cultivé

V.I.1.2.1. Extraits dilués et la pâte saturée

Les résultats de mesure de la conductivité électrique des extraits dilués du sol au niveau des huit régions d'étude sont présentés dans la figure N° 12, a,b,c.

Extrait 1/1 : les résultats de mesure de la CE de l'extrait du sol (1/1) montrent que la conductivité électrique la plus faible a été enregistrée au niveau du sol de la région de Tamanrasset 1.40dS/m, alors que la plus élevée a été enregistrée au niveau du sol de la région de Bechar 12.19dS/m (Figure N° 12 a).

Extrait 1/2.5 : les résultats de mesure CE de l'extrait du sol (1/2.5) montrent que la conductivité électrique la plus faible a été enregistrée au niveau du sol de la région de Tamanrasset 0.79 dS/m, et la plus élevée a été enregistrée au niveau du sol de la région de Ain Salah 7.89dS/m (Figure N° 12 b).

Extrait 1/5 : les résultats de mesure CE de l'extrait du sol (1/5) montrent que la conductivité électrique la plus faible a été enregistrée au niveau du sol de la région de Tamanrasset 0.81 dS/m et la plus élevée a été au niveau du sol de la région de In salah 7.64dS/m (Figure N° 12 c).

Sol non cultivé

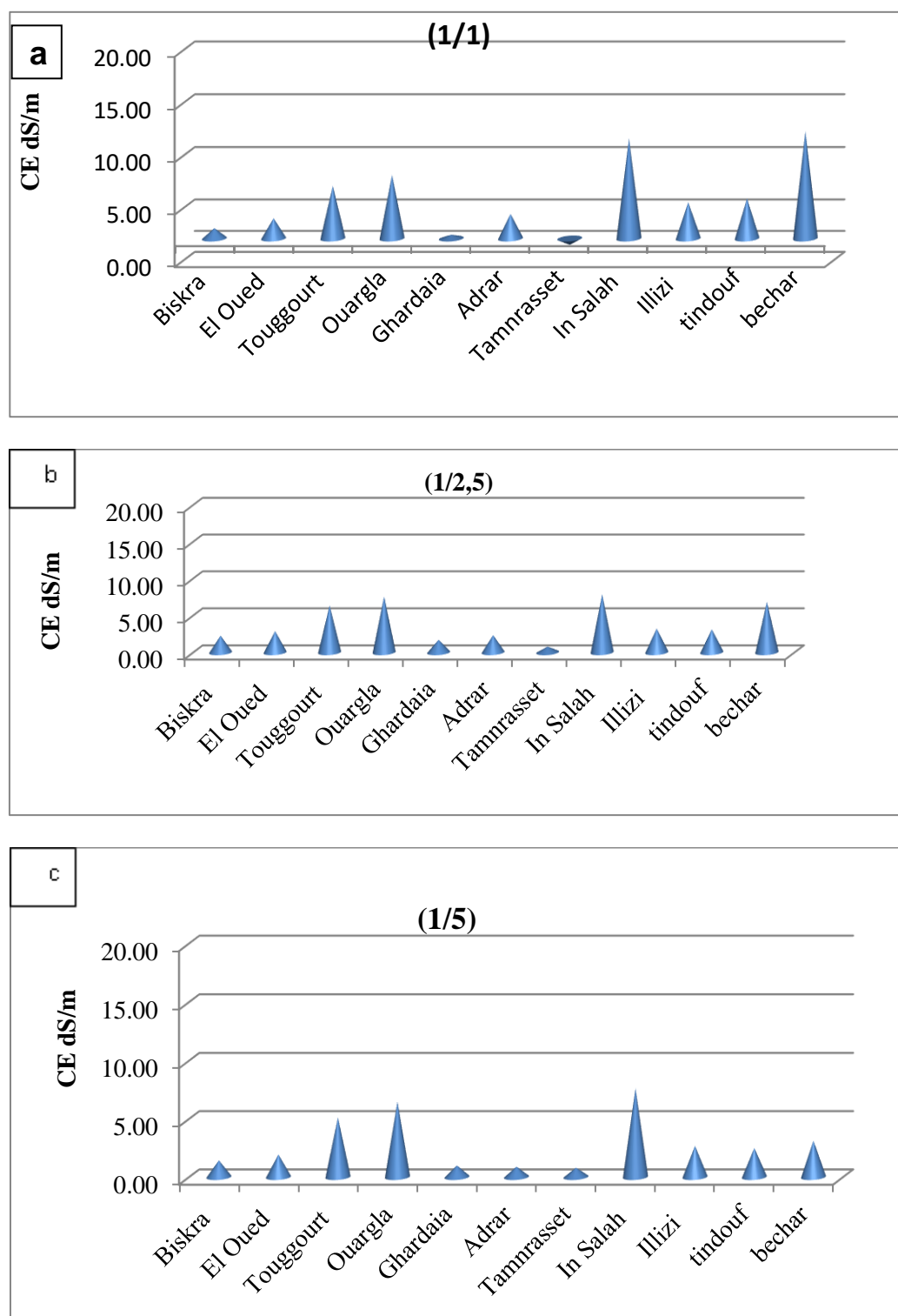


Figure N° 12: Valeurs moyenne de CE des extraits dilués (1/5).(1/2.5).(1/1)au niveau du sol non cultivé des onze régions d'étude

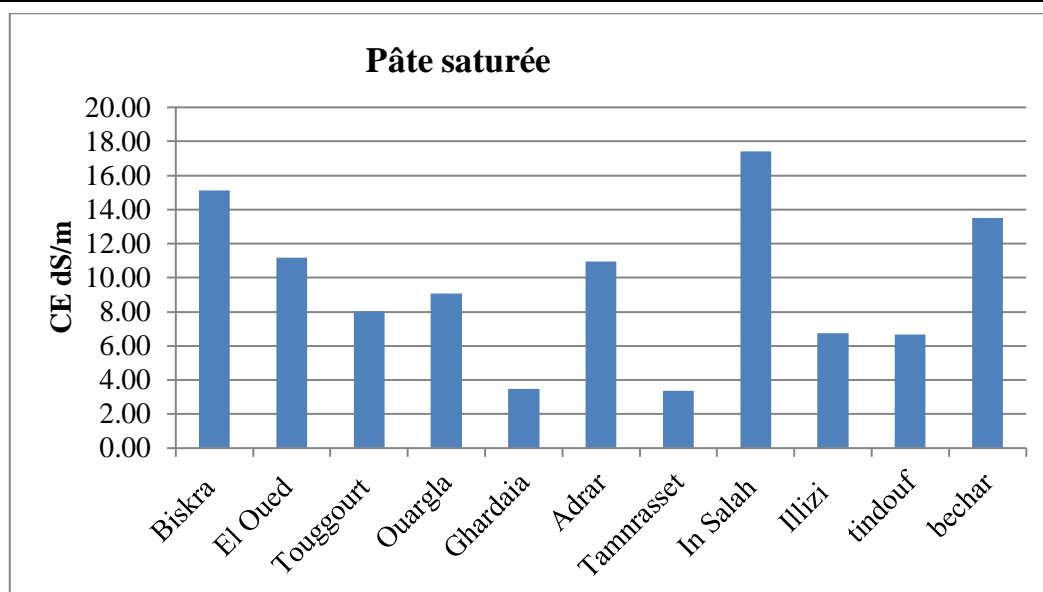


Figure N° 13: Valeurs moyenne de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol non cultivé au des onze régions d'étude

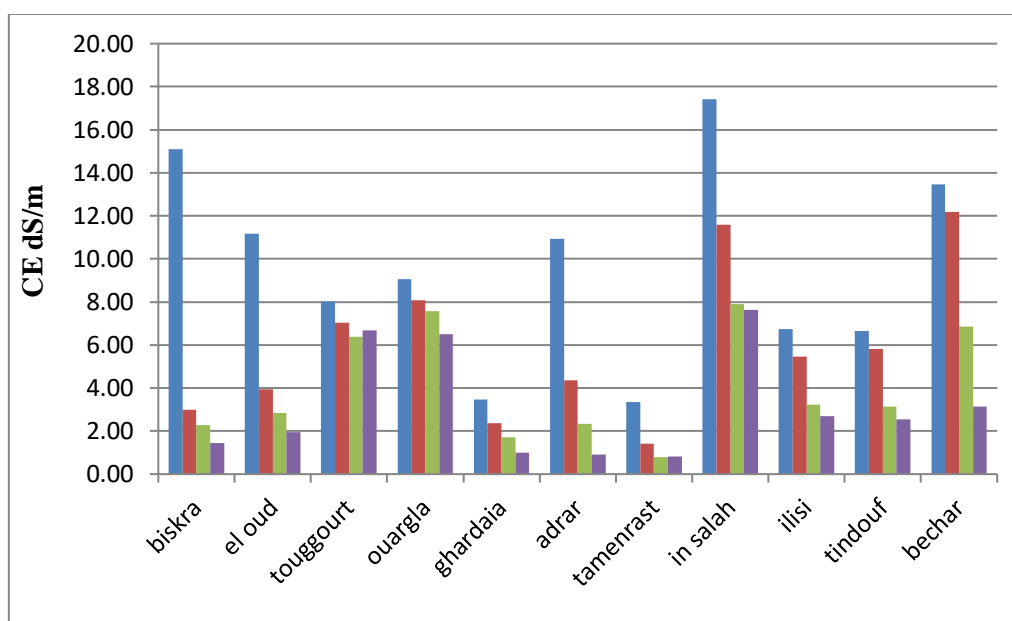


Figure N° 14: Valeurs comparatives entre la CE (dS/m) de la pâte saturée et des extraits dilués au niveau du sol non cultivé des onze régions d'étude.

V.I.1.2.2.pH du sol cultivé (extrait dilué : 1/2,5 et 1/5) au niveau des onze régions d'étude

Les résultats de mesure de pH des extraits dilués (1/2.5 et 1/5) du sol au niveau des onze régions d'étude sont présentés dans la figure N°15a, b.

Chapitre IV:Résultats et discussion

Ces résultats montrent que le pH de l'extrait dilué (1/2.5) varie entre une valeur minimale enregistrée dans la région de Biskra 7.35 et une valeur maximale enregistrée dans la région de Ouargla 7.82 dS/m. Les autres régions enregistrent des valeurs de pH de 7.58; 7.72; 7.61 :7.68 ; 7.73;7.66 ; 7.62 et 7.68 respectivement pour la région de In Salah, Adrar, Tamerrast .Ghardaia.Touggourt, El Oued .Bechar,Tindouf.

Quant à l'extrait dilué (1/5), le pH varie entre une valeur minimale enregistrée à la fois au niveau du sol de la région de Biskra (7.43) et une valeur maximale enregistrée dans la région d'Ouargla 7.71. Les autres régions enregistrent des valeurs de pH de 7.77 ; 7.77 ; 7.53 ; 7.70 ; 7.49 ; 7.62 ; 7.76 et 7.78 respectivement pour la région In Salah, Adrar, tamerrast.Ghardaïa.touggourt. El Oued.Tindouf

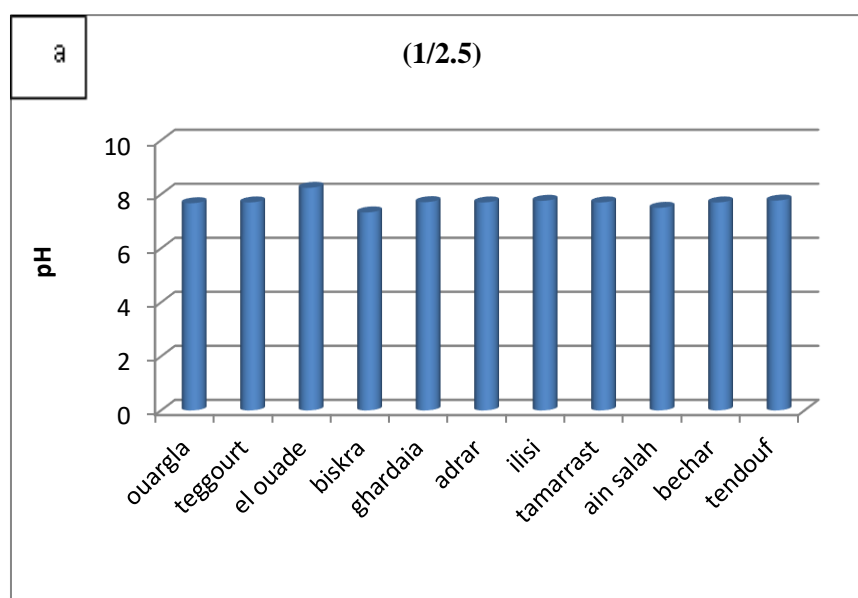


Figure N° 15: Valeurs moyennes de pH 1/2.5 du sol au niveau des onze régions d'étude

D'après l'échelle de classification de pH des sols (extrait 1/2.5), (CRAAQ, 2005) (Annexe N°04), le pH des sols des onze régions appartient aux classes suivantes :

Chapitre IV: Résultats et discussion

Tableau N°3. Classification de sol d'après l'échelle de pH de l'extrait (1/2.5) (CRAAQ, 2005), au niveau du sol cultivé ou non cultivé des onze régions d'étude.

Region	pH de l'extrait 1/2.5	Classe de sol
Ouargla	7.82	Sol faiblement alcalin
Teggourt	7.83	Sol faiblement alcalin
EL Oued	7.66	Sol faiblement alcalin
Biskra	7.35	Sol faiblement alcalin
Ghardaïa	7.68	Sol faiblement alcalin
Adrar	7.72	Sol faiblement alcalin
lizi	7.67	Sol faiblement alcalin
Tamanrasset	7.61	Sol moyennement alcalin
Ain Salah	7.58	Sol faiblement alcalin
Bechar	7.62	Sol faiblement alcalin
Tindouf	7.67	Sol faiblement alcalin

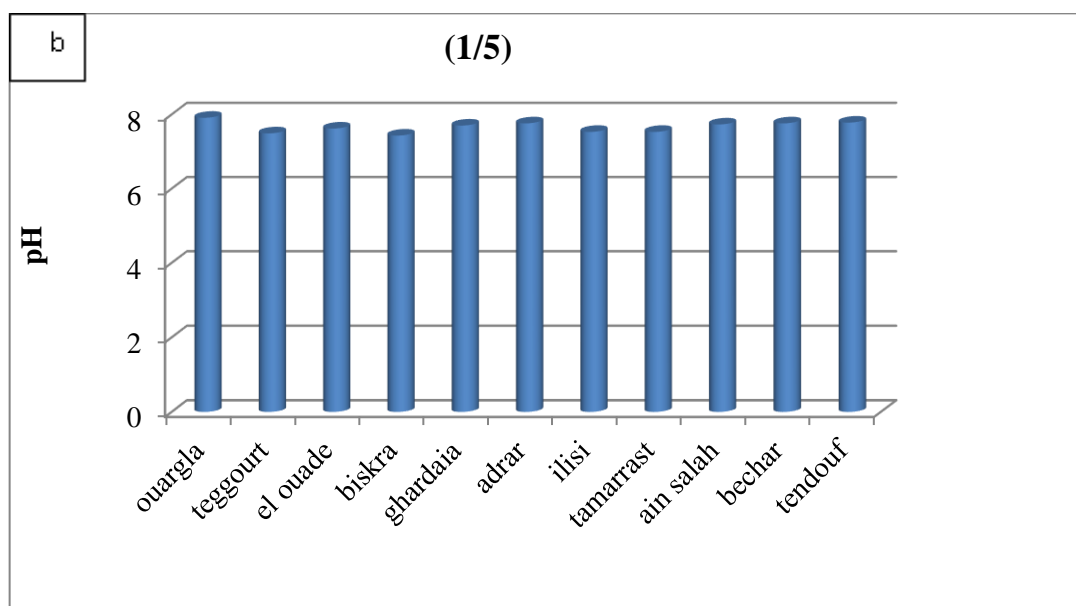


Figure N° 16: Valeurs moyenne de pH des extraits dilués (1/5) au niveau des Onze régions d'étude

D'après l'échelle de classification de pH des sols (extrait 1/5) (SOLTNER, 1989), le pH des sols des onze régions appartient aux classes suivantes :

Chapitre IV: Résultats et discussion

Tableau N° 4. Classification de sol d'après l'échelle de pH de l'extrait 1/5 (SOLTNER, 1989), au niveau des onze régions d'étude

pH de sol	Classe
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	Alcaline
>8	Très alcaline

V.I. 2. Résultats de la mesure de la conductivité électrique du pH de l'eau d'irrigation (sol cultivé) au niveau des onze régions d'étude

V.I.2.1. Résultats de la mesure de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation (sol cultivé) au niveau des onze régions d'étude.

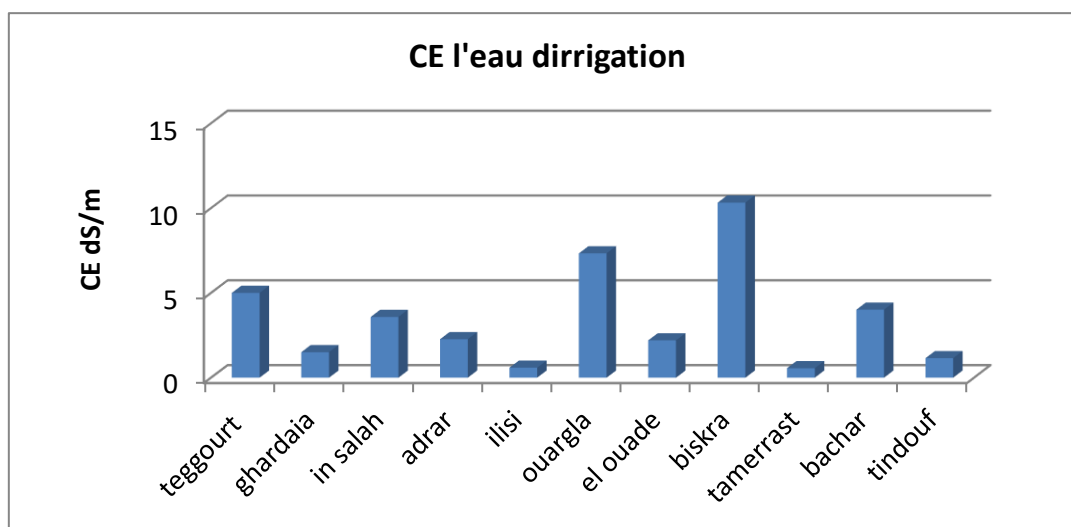


Figure N° 17: Valeurs moyennes de la conductivité électrique l'eau d'irrigation au niveau des onze régions d'étude.

D'après l'échelle de classification de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation (Durand, 1958) (Annexe N°03), l'eau d'irrigation au niveau des onze régions d'étude appartient aux classes suivantes :

Chapitre IV: Résultats et discussion

Tableau N°5. Classification de la conductivité de l'eau d'irrigation (Durand, 1958)

Niveau des onze régions d'étude

Région	CE de l'eau d'irrigation	Classe
Ouargla	7.33	Salinité excessive.
Touggourt	5	Salinité excessive
EL Oued	3.77	Salinité excessive
Biskra	10.32	Salinité excessive
Ghardaïa	1.54	Forte salinité
Adrar	3.12	Salinité excessive
Ilizi	0.59	Salinité moyenne
Tamanrasset	0.56	Salinité moyenne
Ain Salah	4.23	salinité excessive
Bechar	4.01	Salinité excessive
Tindouf	1.15	Forte salinité

V.I.2.2. Résultats de la mesure de pH de l'eau d'irrigation (sol non cultivé) au niveau des onze régions d'étude.

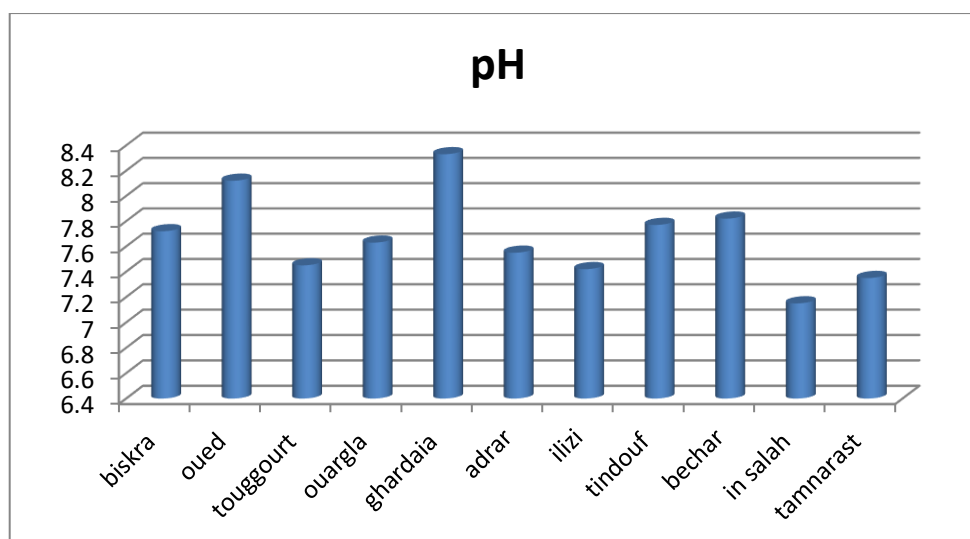


Figure N° 18: valeurs de la mesure de pH de l'eau d'irrigation du sol cultivé au niveau des onze régions d'étude.

V.I.3. Etude de quelques corrélations

V.I.3.1. Corrélation entre la conductivité électrique des extraits dilués (1/1, 1/2,5, 1/5) et la conductivité électrique de la pâte saturée.

La corrélation entre la conductivité électrique des extraits dilués (1/1, 1/2,5, 1/2.5) et la conductivité électrique de la pâte saturée au niveau des onze régions d'étude est présentée dans la figure N° 18 (a, b, c).

L'examen de cette figure montre que les valeurs de la CE des extraits dilués augmentent proportionnellement avec l'augmentation de la CE pâte saturée.

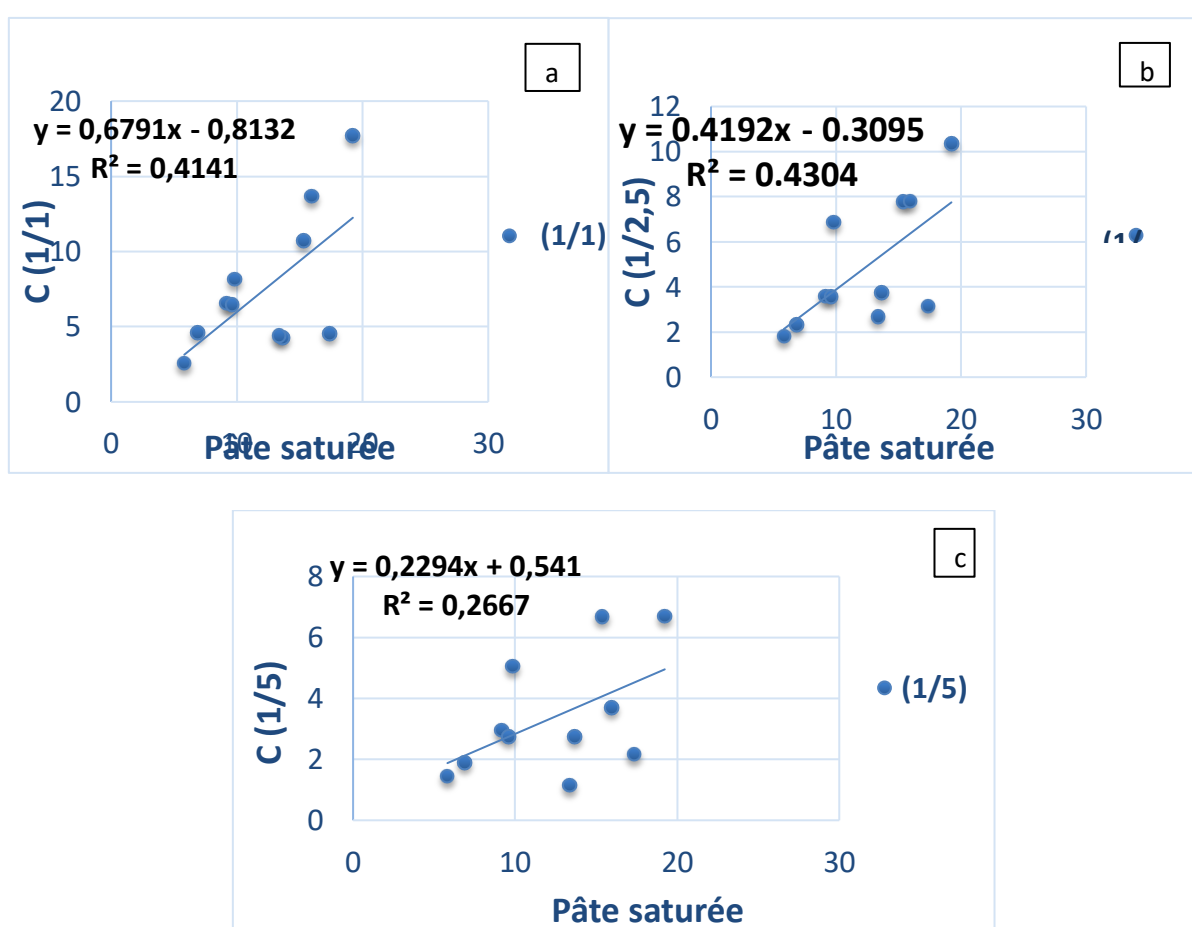


Figure N° 19: Correlation entre la CE des extraits dilués et la CE pâte saturée du sol cultivé

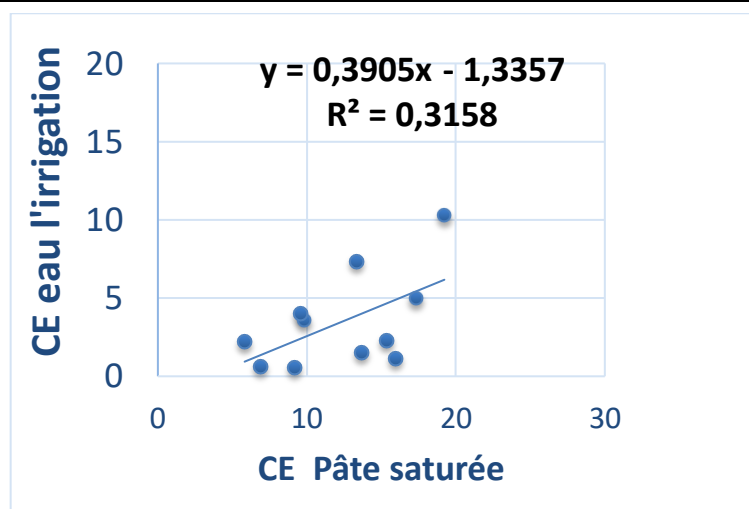


Figure N° 20: Correlation entre la CE eau d'irrigation et CE pâte saturée dans lesol cultivé

V.2. Discussion générale

La conductivité électrique mesurée (pâte saturée et extraits dilués) dans les sols des onze régions d'étude montre une certaine variabilité entre ces régions, toutefois, il est clair d'après les résultatsobtenus que les sols dominants sont des sols salés à très salés.

Selon **CALVET (2003)**, un sol est dit salé quand la conductivité électrique de l'extrait pate saturée, est supérieure à 4 dS/m.

La forte salinité enregistrée dans les onze 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.

Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline, et les pratiques culturelles sont parmi les principaux facteurs qui contribuent à la forte salinité à l'extension de processus de salinisation des sols dans ces régions (**DAOUD et HALITIM, 1994 ; DJILI et al., 2003**). En fait, les onze ragions appartiennent à l'étage bioclimatique saharien avec un indice d'aridité élevé.

La forte salinité du sol enregistrée notamment à Ain Salah, due à l'extension de l'agriculture irriguée, à la forte concentration des eaux souterraines en sels.

Chapitre IV: Résultats et discussion

La salinité relèvement moins élevée enregistrée au niveau de la région d'Oued malgré la forte activité agricole, est probablement due la texture du sol trop grossière très favorable au processus de lessivage des sels.

Les résultats obtenus montrent une certaine proportionnalité entre la salinité de l'eau et celle de l'irrigation dans la plupart des régions étudiées, ce qui nous permette d'estimer l'origine secondaire de la salinité dans ces régions.

Quant à la région de Tamanrasset, la très faible salinité enregistrée à la fois au niveau du sol et de l'eau d'irrigation au niveau de cette région malgré l'aridité, s'interprète par l'appartenance du Tassili à un système géologique cristallin, volcanique et sédimentaire qui diffère de celui du reste du Sahara (**ELIES, 2004**).

Bien que, le recours à l'irrigation par des eaux chargées en sels a de graves conséquences sur les plantes ; l'activité agricole dans les régions sahariennes n'est possible qu'avec ce type d'irrigation. Cette dernière repose presque totalement sur des eaux souterraines fossiles très minéralisées.

A titre d'exemple, en Algérie les eaux salées d'Oued Rhir sont utilisées depuis longtemps en irrigation en produisant souvent des récoltes satisfaisantes au moins pour certaines cultures. Il est à signaler que ces eaux sont appliquées sur des sols sableux et gypseux et avec l'existence des réseaux de drainage ce qui permet de créer un bon équilibre dans ces oasis (**MASMOUDI, 1996**).

Selon **AUBERT et OLLAT (1969)**, la teneur en sels et la teneur en sodium admissible pour l'eau d'irrigation dépendent pour une part des propriétés des sols (texture, structure, perméabilité) qui y influencent la circulation de l'eau. Enfin, l'eau salée est fréquemment la seule eau disponible, il devient alors nécessaire d'accepter ses limitations et de l'utiliser sagement (**ISRAELSEN, 1965**).

La bonne gestion des eaux d'irrigation et la maîtrise de la balance des sels dans le sol des sahra sont des priorités qui doivent tenir en compte dans telles conditions.

Il nous semble que des mesures de lutte contre la salinisation doivent être entreprendre en particulier le lessivage et le drainage des sels solubles accumulés au cours de la saison, c'est une opération indispensable pour commencer la saison prochaine des cultures car les sels

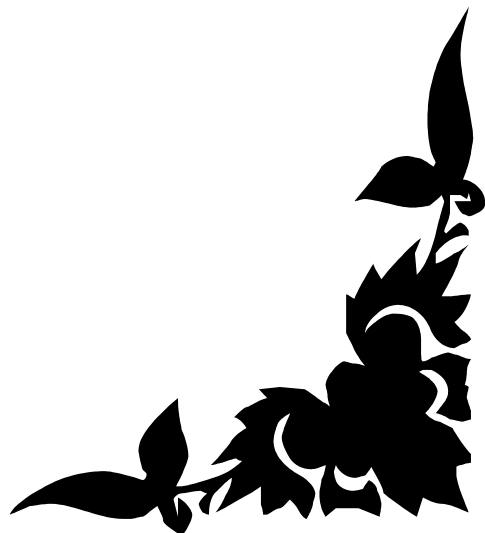
Chapitre IV:Résultats et discussion

accumulés constituent un danger pour les nouvelles cultures 'ils ne sont pas lessivés d'avance (AYERS et WESTCOT, 1985 ; SHARMA et MUNHAS, 2003).

Par ailleurs, le pH révèle une réaction légèrement basique à basique du sol au niveau presque toutes les régions, ce qui confirme la description dessolsalgériens citépar Durand(1968).



Conclusion



Conclusion

Notre travail expérimental a été basé sur la détermination de la conductivité électrique par deux méthodes de mesure sont l'extrait diluée (1/1, 1/2,5, 1/5), et la pâte saturée des sols et sols et celle l'eau d'irrigation au niveau des onze régions différentes dans le Sahara de l'Algérie.

Les résultats obtenus ont indiqué que la conductivité électrique du sol (extrait pâte saturée) la plus élevée a été enregistrée dans la région d'Ain Salah (19.23dS/m), alors que la plus faible a été enregistré dans la région de Tamanrasset (5.82dS/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 Biskra, 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 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. Le suivi de l'évolution des sols sous irrigation apparaît indispensable pour garantir une agriculture irriguée rentable et durable dans la région aride.

Les corrélations étudiées entre la salinité de sol et celle de l'eau d'irrigation nous laissent estimer 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.

Toutefois, l'eau à forte concentration en sels peut être utilisée 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).

Références Bibliographique

Références bibliographiques

- (EZZOUA ET IN GHAR).mission i : étude préliminaire. Souk Essebt BP 788 RP Ouargla..
- A.N.R.H Ghardaïa 2011. Inventaire des forages en enquête sur les débits extraits de la nappe Albienne dans la wilaya de Ghardaïa.
- A.N.R.H., (2005):Etude sur un modèle mathématique de système aquifère de région de Biskra, Ministère des Ressources en Eau, Biskra, pp : 11-32. Algerie SES. Alger. 269 p.
- ABBANI .B, et ABDE-LALI .Y, 2005. Contribution à l'étude de la qualité des eaux
- ACHOUR M, 2003.étude hydrogéologique de la nappe phréatique de la vallée de metlili(Ghardaïa) 36 P.
- 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
- AL-KARAKI G.N., 2000.Growthwater use efficiency. And sodium and potassium
- 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
- ASHRAF M ET FOOLAD M.R, 2005. Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88:223-271.
- AUBERT G., 1978. Méthode d'analyse des sols. C.R.D.P., Marseille, 546p.
- AUBERT G., 1983. Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou sal-sodiques. *Pédologie*, 20(1) : 73-78.
- AYERS R.S, WESTCOT D.W. (1985). Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage paper 29.174P. Rome, Italy.
- BAIZE D, 1988. Guide des analyses courantes en pédologie, choix expression, présentation, interprétation. INRA. Paris, 172 p.
- Bekaddour S, Laskri S, Hartani T, 2018 Effets de l'irrigation en milieu aride :
- BENAÏSSA A., 2017 : Impact de la qualité des eaux des forages Albien et Mio-pliocène sur certains paramètres physico-chimiques du sol dans la zone de Hassi Ben Abdallah (Wilaya de Ouargla) Diplôme de Magister, 28p

- **BENZAHI Y, 1994.** contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué sous palmerie. Thèse Ing. I.N.F.S.A.S. Ouargla, 111P
- **Bouchmal Fatoume, 2017.** Diagnostique de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra, Thèse doctorat, Université Biskra pp1
- **BOUZIANE F. et SLIMANI R. (2012)** Mode de dégradation du sol sableux naturel dans la cuvette de Ouargla par deux formes chimique précipité et complexe possibilité d'utilisation agricole. Mém. Ing., Agro., université d'Ouargla, 98 p.
- **CAVAROC V., PADGETT G. et DAN., 1976 - Late**
- **CLAVET R., 2003.** Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511
- **COUTINET, S. 1965.** Méthodes d'analyses utilisables pour les sols salés, calcaires et
- **DAJOZ, R. 1971.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.
- **DAOUD, y et HALITIM, A 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien .Sécheresse.5, 3 ; 151-160.
- **Dehni, Abdellatif. 2018.** "Télédétection de La Salinité Des Sols à l ' Aide Des Techniques de Traitement d ' Images Satellitaires — Application à La Région
- **DHW in Salah, Décembre 2010.** Etude de la station de déminéralisation de FoggaratEzzoua
- **Dib Moussa ,1995.** ANA Lyse deux méthodes d'évaluation de la répartition spatiales de la salinité de sol drainage paper 29.174P. Rome, Italy.
- **DUBOST, 2002.** Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algérienne. Ed, CRSTRA. Alger .423 p.
- **DURAND J.H 1983.** Les sols irrigables. Étude pédologique. ED. Imprimerie Boudin.
- **Durand J.H., (1953):** Etude hydrogéologiques, géologique et pédologique des croûtes
- **DURAND J.H., 1958.** Les sols irrigables. Etude pédologique -Ed. Imbert, Alger, p190.
- **FAO, 2006.** World Reference Base for Soil Resources 2006: A framework for international classification, correlation and communication. Rome, 128 p.
- **FAO., 1976.** La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin d'irrigation et de drainage, 29-82p
- **FAO., 2006.** Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégies de réhabilitation. Organisée et coordonnée par Programme International pour la Technologie Recherche en Irrigation et Drainage, du 6 février au 6 Mars 2006. 12p.

- **F.A.O., 2008:**Annuaire statistique de la FAO.
 - **FAURIEC., FERRAC.ET MEDORIP., 1980** -*Ecologie*.Ed.Baillère, Paris, 168p
 - **FEKRACHE F., 2015.** Contribution a l'étude de l'origine de la salinité des eaux du lac FETZARA-ANNABA(ALGERIE) P 272.
 - **FLOWERS T.J. et FLOWERS S.A., 2005-** Why does salinity pose such a difficult
 - **FROSSARD M., 1996-** Coordination, intégration, réseaux de servicesEnjeux pour la gestion des politiques publiques en direction des personnes âgées.
 - **GHASSIMI F., JAKEMAN AJ., NIX HA., 1995-** Salinisationofland and water is
 - **GIRARD J. F., LEGCHENKO A., BOUCHER M., 2005** - Stability of MRS signal
 - **Girard M., Walter C., Rémy J., Berthelin J., Morel M., 2005,** Sols et environnement cours, exercices et études de cas), Ed. DUNOD. Paris, 816p.
- Gypseux.Agron. Trop., 12, pp: 1242-1253.
- **Hachicha, M., 2007_** Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie. Sécheresse 18 (1), pp. 45–50
 - **HADDAD A, 2011.**Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la végétation spontanée de la région de Biskra. P113.
 - **HADDAD S., ABBES K., 2015** - Etude de l'impact de l'irrigation-drainage sur la
 - **HajnadjibBassel, 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 : 4151pp 21_22
 - **HALITIM A, 1988.** Sols des régions arides. Edit. OPU, 1988.
 - **HALITIM A., 2011:**Aridoculture et le développement durable. Algerian journal of
 - **HAMDI A, 1999.** Saline irrigation and management for sustainable use In:Advanced
 - **HAMMIA I, 2012.** Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies d'ouedRigh. Mém.Ing.Agro, Universitéde Ouargla, p18
 - **HOPKINS., 2003,** *Physiologie Végétale*, Boeck, Bruxelles, 514p.
 - **Idder M.A. (2006)**Mode de fixation et de cristallisation des sels dans un sol nunon irrigué dans la région de Ouargla .Mém., Mag., INA., El-Harrach, 102 p.
 - **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 etsalinité. L'exemple de l'oasis d'Ouargla. Revue des sciences de l'eau / Journal ofWater Science, 27 (2), 155–164. <https://doi.org/10.7202/1025565ar>
 - **IPTRID. (2006):**conférence électronique sur la salinisation. Extension de la

- **IRD, 2008.** Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles. 21p.
- **ISRAELSEN O.W, HANSENV.E., 1965** Traité pratique de l'irrigation. Ed.
- **KHADRAOUI A., 2005.** Sols et hydraulique agricole dans les oasis Algériennes.
- **Khechai S., (2001):** Contribution à l'étude du comportement hydrophysique des sols du périmètre irrigué de l'ITDAS, dans la plaine de l'Outaya (Biskra). Thès. Mag. Univ. Batna, 178 p.
- **Lakhdhar, A., Hafsi, C., Rabhi, M., Debez, A., Montemurro, F., Abdelly, Jedidi N.,** Legros <http://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/>)
- **Lakhdhar, A., Hafsi, C., Rabhi, M., Debez, A., Montemurro, F., Abdelly, Jedidi N., & Ouerghi, Z. (2008).** Application of municipal solid waste compost to reduce the negative effects of saline water in *Hordeum maritimum* L. *Bioresourcetechnology*, 99(15), 7160-7167.
- **LEGROS, 2009** - Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, 2009, (Jean-Paul
- **MADJIDN, TIARK., 2012.** Mémoire en ligne géographie impact de la salinité due au traitement des sols sur l'environnement. Cas d'ENASEL EL-OUTAYA wilaya de Biskra par Nacer Madjid Tiar Khaled ; Université Mohamed khider Biskra-Algérie ingénieur d'état en écologie et environnement, 41p.
- **MADJIDN, TIARK., 2012.** Mémoire en ligne géographie impact de la salinité due au traitement des sols sur l'environnement. Cas d'ENASEL EL-OUTAYA wilaya de Biskra par Nacer Madjid Tiar Khaled ; Université Mohamed khider Biskra-Algérie ingénieur d'état en écologie et environnement, 41p.
- **Mahani K. (2006)** Contribution à l'étude de l'impact de quelques contraintes physico-chimiques du sol sur le rendement du palmier dattier chez la variété Déglet-Nour (Ouargla). Mém., Ing., Agro., université de Ouargla, 108 p..
- **MAHDI Y., (2006)** ; Etude de la salinisation des sols salés agricoles d'une région hyper aride (*IN-SALAH*). Thèse Doctorat, E. N. S de C. Kouba, Alger 1-44p.
- **MARLET.S ET JOB.J, 2006,** Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin Jean- Robert (ed.), Vidal Alain (ed.). *Traité d'irrigation*. Paris : Lavoisier Tec et Doc, 02p Robert (ed.), Vidal Alain (ed.). *Traité d'irrigation*. Paris: Lavoisier Tec et Doc, 02p.
- **MASMOUDI A, 2012.** Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban. P137.
- **Masmoudi Ali, 2011.** EFFET DE LA SALINITE DES EAUX ET LA FREQUENCE

- **MATHIEU C et PIELTAIN F., 2009** - Analyse chimique des sols: méthodes choisies. 2ème édition. Edition Tec & Doc Lavoisier. 317 p
- **MATHIEU ET AL, 2003.** Mathieu C.,Pielatain,.,Jeanroy E,.,Marcovercchio F,.,Servain F,.,Scoucheyre H .Analyses chimiques des sols: méthodes choisies.
- **Matthieu C., 2009,** Les principaux sols du monde, voyage à travers l'épiderme vivant de la planète terre, Ed. Tec et Doc, Paris, 231p
- **Merabet S. (2011)** Etude comparative de deux systèmes aquatiques dans le Sahara septentrional (Chott Merouane et Ain El Beida), environnement et signes de dégradation. mém. Ing., Agro., université d'Ouargla, 141 p.
- **MERMOUD, A. 2006.** Cours physique du sol. Maitrise de la salinité des sols, pp1-14
- **MIMOUNE., 1995.**Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique d'Algérie (sudduchottElHodna).Thèse de Doc. Univ. D'AixMarseilleÉ. 204p.
- **MONTOROI J.P, 1997** .Etude et Gestion des sols, Chapitre conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol, APPLication à un sol sulfaté acide salé de basse –casamance (Sénégal).P 20.
- **MONTOROI J.P, 1997** .Etude et Gestion des sols, Chapitre conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol , APPLication à un sol sulfaté acide salé de basse –casamance (Sénégal).P 20.
- **NAÂMAN F., DENOEL A ., SOUDI B., CHIANG C N., 2000-** *Terres irriguées et micro-organismes telluriques*, séminaire Intensification agricole et qualité des sols et des eaux, 2-3 Novembre 2000, Rabat, Pp 49:73
- **NABI F., 2009.** Effet de la salinité sur la germination, la croissance et les composantes du rendement du *Vignaunguiculata L. (Walp.)*.P 133.
- **Nasrat A. (2007)** Contribution à l'étude de l'expérience de la concession agricole dans le périmètre de khchemErrih (Région d'Ouargla cas de l'exploitation del'I.T.A.S). Mém., Ing., Agro., université d'Ouargla, 76 p.
- **Nezli I.E. (2009)** Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Thèse de doc, Université Mohamed Kheider, Biskra, Algérie,
- **O.N.R.G.M., 1999-** Livret des substances utiles non métalliques d'Algérie Ouargla.p 21. P.U. France, 190 P.

- **OUSTANI M., HALILAT M. T., & CHENCHOUNI H. 2015.** Effect of poultry manure on the yield and nutrients uptake of potato under saline conditions of arid regions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27 (1), 106 -120.
- **OZENDA, P. 1983.** Flore du Sahara. Ed. C.N.R.S., Paris, 622 p.
- **OZENDA, P. 1991.** Flore de Sahara (3 édition mise à jour et augmentée) Paris, Edition du CNRS. 622 p.
- **PARIDA A., DAS A. B. and DAS P., 2002.** NaCl stress causes changes in
Paris 339p.
Problem for plant breeders. *Agricultural water management*. Vol. 78 . N°1-2: 15-24.
- **RechachiMiled 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
- **RechachiMiled 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 p 33
- **REGUIGHADJ LARROUSSI., 2007.** Contribution à l'étude de la relation sol-végétation dans les régions sud de la zone humide de chott et Hodna. *mémoire de biologie*.
- **Richards L. A., 1954.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook 60, Washington, USA, p. 160.
- **Richards L. A., 1954_** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook 60, Washington, USA, p. 160.
- **Richards L., Allison L., Bernstein L, Bower C., Brown J., Fireman M, Hatcher J., Hayward H., Pearson J., Reeve R., Wilcox L., 1954,** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, *Soil Science Society of America Journal*, 348p.
- **ROUVILOIS-BPIGOL M., 1975.** Le pays d'Ouargla (Sahara Algérien). Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique.
- **S.E.D.A.T, 2011-** (Société des Etudes Diverses et Assistance Technique). *ETUDE DE*
- **S.O.C.O, 2009.** Sustainable Agriculture and soil conservation: Salinisation et sodification : <http://soco.jrc.ec.europa.eu>
Salinisation des sols à l'exploitation de l'université. Mémoire master agronomie. Université Ouargla. 42p
Salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation. p 2, 11.
- **SAYAH LEMBAREK MOHAMMED, 2008.** Etude hydraulique du canal oued righ
- **Servant J., 1970,** Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques, *Sci. Du sol.* 2 : 87-103

- **Servant J.M, 1970.** Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols salés de la région méditerranéenne Française. Ann. del'I.N.A., El Harrach, Vol. VI.

Short Course on saline irrigation Proceeding, Agadir. 152-227.

SYSTEME DE DRAINAGE DE LA REGION DE TIDIKELT (IN SALAH, FOUGARET

- **TOUTAIN, G. 1979.** Elément agronomie saharienne, de la recherche au développement. Ed :I.N.R.A., Paris. 276p
- **VALLES V, BOURGEATF, GUIRESSEM., 1988**
Calcul des doses d'irrigation pour les sols salés. Application d'une méthode géochimique de calcul à un sol tunisien. Cahier
- **VAN HOORNJ.W., 1991** Saline irrigation problems and perspectives. European Mediterranean conference on the use of saline water in irrigation. Abstracts of MAI/ Bari
- **Youcefi M. (2011)** Etude de l'impact de l'hydro-halophilie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla. mém, mag, université d'Ouargla, 122 p.
- **Zaman, Mohammad, Shabbir A. Shahid, Lee Heng, Shabbir A. Shahid, Mohammad Zaman, and Lee Heng. 2018.** "Soil Salinity: Historical Perspectives and a World Overview of the Problem." Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques, 43–53. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_2.
- **ZID E., GRIGNON C., 1991-** Les tests de sélection précoce pour la résistance des
- **ZIZA FZ, 2006.** Evolution de la salinité des sols irrigués dans une région saharienne .P121.

Annex

Annexes

Tableau N°01. Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25°C(1.5)(AUBERT, 1978)

CE ds/m à 25°C	Degrés de salinité
CE<0.6	Sols non salés
0.6<CE<1.2	Sols peu salés
1.2<CE<2.4	Sols salés
2.4<CE<6	Sol très salés
CE plus de 6	Sols extrêmement salés

Tableau N°02. Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de saturation à 25°C (USSSL (1954))

Classes	CE (dS.m ⁻¹)	ESP (%)	pH
Non salin	<4	<15	<8.5
Salin	>4	<15	<8.5
Sodique	<4	>15	>8.5
Salin-sodique	>4	>15	>8.5

CE = conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée

pH = pH de l'extrait de pâte saturée

ESP = pourcentage de sodium échangeable

Tableau N°03 : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation à 25°C.

Conductivité électrique (dS/m)	Concentration (g/l)	Evaluation américaine	Evaluation russe	Evaluation DURAND l'Algérie de pour
CE < 0.25	< 0.2	Faible salé	Faible qualité	Non saline
0.25<CE<0.75	0.2-0.5	Moyennement salée		Salinité
0.75<CE<2.25	0.5-1.5	Fortement salée	Risque de salinisation	moyenne
2.25<CE<5	1.5-3	T. fortement salée		Forte salinité
5<CE<20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Très forte salinité
				Salinité excessive

Tableau N° 04 : Classification des sols selon le pH de l'extrait aqueux au 1/2,5
(CRAAQ, 2005)

pH	Classes
pH<4,5	Extrêmement acide
4,5<PH<5	Très fortement Acide
5,1<PH<5,5	Fortement acide
5,6<PH<6	Moyennement Acide
6,1<PH<6,5	Faiblement Acide
6,6<PH<7,3	Neutre
7,4<PH<7,8	Faiblement Alcalin
7,9<PH<8,4	Moyennement Alcalin
8,5<PH<9	Fortement Alcalin
PH plus 9	Très Fortement Alcalin

Tableau N° 05 : Classification des sols selon le PH de l'extrait aqueux au1/5
(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 N°06 : Précipitations moyennes mensuelles (en mm) des 11 régions d'étude

Ouargla	1.82	2.91	5.56	1	2.53	0.45	0.09	0.18	3.86	3.36	2.36	3
Adrar	0.91	0.45	0.49	1.67	0.36	0.09	0.09	0.73	4.82	0.6	0.36	1.45
Biskra	2.92	4.11	13.82	18.35	14.98	4.67	0.38	2.65	16.62	25.86	7.54	2.59
Touggourt	1.12	1.36	5.43	7.27	2.47	0.09	0	1.45	6.64	1.36	5.71	2.31
Tamanrasset	0.18	0.27	4.27	0	2.01	3.92	11.55	24.54	7.84	5.64	0.36	0.18
El oued	2.22	5.55	5.57	9.1	1.09	0.45	0.23	1.55	7.65	2.27	5.85	0.72
Ghardaïa	2.55	2.18	10.1	4.22	3.15	2.27	0.98	3.32	9.9	4.45	3.19	2.74
Bechar	4.55	3.18	5.04	25.05	8.64	2.27	2.85	5.51	9.45	10.09	25.49	7.56
Illizi	0	3.45	0.02	1.15	0.52	2.09	0.36	0.64	1.27	1.6	0.77	0.85
Tindouf	1.18	0.27	0.47	2.19	4.38	1.18	0.3	8.13	16.58	15	7.89	2.73
	La période d'étude : 2009 -2018											
Ain saleh	1.9	0.9	2.2	0	0.7	2.9	0.1	0.1	2.2	0.5	1.4	1



Figure N°01 : Mesure de la conductivité électrique



Figure N° 02:Préparation de la pâte saturée



Figure N°03 : Mesure de pH



Figure N°04 : Centrifugation

Résumé

Dans les zones arides chaudes, l'extension de l'agriculture irriguée et l'utilisation des eaux salines souterraines pour l'irrigation, combinées à une forte évaporation, conduisent inévitablement à la salinité et la salinisation des sols. Dans ce cadre, la présente étude vise en premier temps à déterminer la conductivité électrique de sol et celle de l'eau d'irrigation dans les zones régions d'étude situées dans le Sahara Algérien (Ouargla, El Oued, Biskra, Ghardaïa, Touggourt, Tindouf, Illizi, Adrar, In Salah, Bechar et Tamanrasset), et en deuxième temps à estimer la relation entre la salinité du sol et celle de l'eau au niveau de ces régions. Pour ce faire, la conductivité électrique du sol cultivé et non cultivé (extrait de pâte saturée et des extraits dilués 1/1, 1/2.5 et 1/5) et celle de l'eau destinée à l'irrigation dans plusieurs régions sahariennes ont été mesurées. Les résultats obtenus ont indiqué que la conductivité électrique du sol (extrait pâte saturée) la plus élevée a été enregistrée dans le sol cultivé de la région de In Salah (19.23 dS/m), alors que la plus faible a été enregistrée dans le sol cultivé de la région de Tamanrasset (5.82 dS/m). Quant à la conductivité de l'eau d'irrigation, la conductivité la plus élevée a été enregistrée dans la région de Biskra (10.32 dS/m), alors que la plus faible a été enregistrée dans la région de Tamanrasset (0.56 dS/m). Par ailleurs, des corrélations positives ont été mises en évidence entre l'extrait de la pâte saturée et les différents extraits dilués réalisés. La conductivité électrique du sol a été également positivement corrélée avec celle de l'eau d'irrigation. L'ensemble des résultats obtenus permettent d'estimer l'origine secondaire de la salinisation du sol liée à l'irrigation au niveau de la plupart des régions étudiées.

Mot clés : Conductivité électrique, Pâte saturée, Extrait dilué, Sol, Eau d'irrigation, Sahara, Algérien.

ملخص

في المناطق القاحلة، يؤدي التوسع في الزراعة المرورية واستخدام المياه الجوفية المالحة لأغراض الري، إلى جانب ارتفاع التبخر في المناطق القاحلة، مما يؤدي إلى ملوحة التربة حتماً. وفي هذا السياق، تهدف هذه الدراسة أولاً إلى تحديد التوصيلة الكهربائية للتربة ومياه الري في إحدى عشر منطقة دراسية تقع في صحراء الجزائر (ورقلة، الوادي، بسكرة، غرداية، تقرت، تندوف، البزري، أدرار، عين صلاح، بشار، تمنراست)، وثانياً تقدير العلاقات بين ملوحة التربة وملوحة الماء على مستوى هذه المناطق. للقيام بذلك، تم قياس الناقلية الكهربائية للتربة المزروعة وغير المزروعة (مستخلص المعجون المشبع والمستخلصات المخففة 1/1، 1/2.5 و 1/5) وتلك الخاصة بالمياه المعدة للري في العديد من المناطق الصحراوية. أشارت النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن أعلى موصلية كهربائية للتربة (مستخلص معجون مشبع) سجلت في التربة المزروعة بمنطقة عين صالح (19.23 ديسي سيمنز / م) بينما سجلت أقل نسبة في التربة المزروعة في منطقة تمنراست (5.82 ديسي سيمنز / م). أما موصلية مياه الري، تم تسجيل أعلى موصلية فيمنطقة بسكرة (10.32 ديسي سيمنز / م) بينما سجلت أضعف موصلية في منطقة تمنراست (0.56 ديسي سيمنز / م). بالإضافة إلى ذلك، تم إبراز الارتباط الموجب بين مستخلص العجينة المشبعة والمستخلصات المخففة المختلفة المنتجة. كما ارتبطت الموصلية الكهربائية للتربة بشكل إيجابي مع توصيل مياه الري. جميع النتائج التي تم الحصول عليها تجعل من الممكن تقدير أن الأصل الثانوي لملوحة التربة المرتبطة بالري في معظم المناطق المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الناقلية الكهربائية، المشبعة، المستخلص المخفف، التربة، مياه الري، الصحراء، الجزائر.

Abstract

In hot arid areas, the extension of irrigated agriculture and the use of water under ground salt pans for irrigation, combined with high evaporation, lead inevitably to soil salinity and salinization. In this context, this study aims to first time to determine the electrical conductivity of soil and that of irrigation water in eleven study regions located in the Algerian Sahara (Ouargla, El Oued, Biskra, Ghardaïa, Touggourt, Tindouf, Illizi, Adrar, In Salah, Bechar and Tamanrasset), and secondly to estimate the relationship between the salinity of the soil and that of the water at the level of these regions. To do this, the electrical conductivity of cultivated and uncultivated soil (extract of saturated paste and diluted extracts 1/1, 1/2.5 and 1/5) and that of water intended for irrigation in several Saharan regions were been measured. The results obtained indicated that the highest electrical conductivity of the soil (saturated paste extract) was recorded in the cultivated soil of the In Salah region (19.23 dS/m), while the lowest was recorded in the soil grown in the Tamanrasset region (5.82 dS/m). About the conductivity of irrigation water, the highest conductivity was recorded in the Biskra region (10.32 dS/m), while the weakest was recorded in the region of Tamanrasset (0.56 dS/m). In addition, positive correlations were found between the extract of the saturated paste and the various diluted extracts produced. Conductivity Soil electricity was also positively correlated with that of irrigation water. All the results obtained make it possible to estimate the secondary origin of salinization soil related to irrigation in most of the regions studied.

Keywords: Electrical conductivity, Saturated paste, Diluted extract, Soil, Irrigation water, Sahara, Algerian.