



## Mémoire

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie  
**Filière :** Sciences agronomiques  
**Spécialité :** Protection de la ressource Sol, Eau et Environnement  
**Présenté :** Melle ALLALI NADIA  
Melle AOUTTI IMANE

### Thème

**Détermination de la conductivité électrique  
du sol et estimation de la salinisation liée à  
l'eau d'irrigation au niveau de quelques  
régions Sahariennes**

### Devant le Jury :

Mr	Chelloufi	Hamid	Président	Professeur	UKM
Mme	Oustani	Mabrouka	Promoteur	M.C.B	UKM
Mr	Idder	Abd El hak	Examineur	M.C.B	UKM

# *Dédicace*

*Nous dédions ce modeste travail à :*

*Nos chers parents ;*

*Nos familles ;*

*Nous remercions tous les enseignants, et*

*étudiantes de la promotion de*

*2eme année Master*

*« Protection de la ressource sol- eau et*

*environnement »*

*Collègues, amis et tous ceux qui ont contribué de*

*près ou de loin à la réalisation de ce rapport*

## Résumé

L'extension de l'agriculture irriguée et l'utilisation des eaux salines souterraines pour l'irrigation, combinées à une forte évaporation dans les régions arides, conduisent inévitablement à la 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 huit régions d'étude situées dans le Sahara Algérien (Ouargla, El Oued, Biskra, Ghardaïa, 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 (extrait de pâte saturée et des extraits dilués 1/1, 1/2.5 et 1/5) et celle de l'eau d'irrigation ont été mesurées. Les résultats obtenus ont indiqué que la conductivité électrique du sol (extrait pâte saturée) la plus élevée a été enregistrée dans la région de In Salah (19.46 dS/m), alors que la plus faible a été enregistrée dans la région de Tamanrasset (3.69 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.

## Abstract

In arid regions, the extension of irrigated agriculture and the use of saline groundwater for irrigation, combined with high evaporation in arid regions, inevitably lead to soil salinity and salinization. In this context, the present study aims firstly to determine the electrical conductivity of soil and irrigation water in eight study regions located in the Algerian Sahara (Ouargla, El Oued, Biskra, Ghardaïa, Illizi, Adrar, In Salah, Bechar and Tamanrasset), and secondly to estimate the relationship between soil salinity and water salinity in these regions. To do this, the electrical conductivity of the soil (saturated paste extract and diluted extracts 1/1, 1/2.5 and 1/5) and that of the irrigation water were measured. The results obtained indicated that the highest electrical conductivity of the soil (saturated paste extract) was recorded in the region of In Salah (19.46 dS/m), while the lowest was recorded in the region of Tamanrasset (3.69 dS/m). As for the conductivity of irrigation water, the highest conductivity was recorded in the region of Biskra (10.32 dS/m), while the lowest 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 made. The electrical conductivity of the soil was also positively correlated with that of the irrigation water. All the results obtained allow us to estimate the secondary origin of soil salinization related to irrigation in most of the regions studied.

**Key words:** Electrical conductivity, Saturated paste, Diluted extract, Soil, Irrigation water, Algerian Sahara.

## ملخص

في المناطق القاحلة، يؤدي التوسع في الزراعة المروية واستخدام المياه الجوفية المالحة لأغراض الري، إلى جانب ارتفاع التبخر في المناطق القاحلة، إلى ملوحة التربة حتما. وفي هذا السياق، تهدف هذه الدراسة أولا إلى تحديد التوصيلة الكهربائية للتربة ومياه الري في ثماني مناطق دراسية تقع في الصحراء الجزائرية (ورقلة، والوادي، وبسكرة، غرداية، إليزي، أدرار، عين صالح، وبشار وتمنراست)، لتقدير العلاقة بين التربة وملوحة المياه في هذه المناطق، تم قياس وأشارت. التوصيلة الكهربائية للتربة (مستخلص عجينة مشبعة ومستخلصات مخففة 1/1، 2.5/1 و 5/1) ومياه الري النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن أعلى التوصيلة الكهربائية للتربة (مستخلص عجينة مشبعة) سجلت في منطقة عين صالح (19.46 ديسي سيمنس/م)، في حين سجلت أدنى نسبة في منطقة تمنراست (3.69 ديسي سيمنس/م). أما بالنسبة /م)، في حين سجلت أدنى نسبة في لتوصيلية مياه الري، فقد سجلت أعلى نسبة توصيل في منطقة بسكرة (10.32 ديسي بالإضافة إلى ذلك، تم إثبات الارتباطات الإيجابية بين مستخلص عجينة مشبعة منطقة تمنراست (0.56 ديسي سيمنس/م إن جميع. مع مياه الري " ومقتطفات مخففة مختلفة. كما اثبت ان التوصيلية الكهربائية للتربة ارتبطت "بشكل إيجابي النتائج التي تم الحصول عليها تبين أنه من الممكن تقدير الأصل الثانوي لملوحة التربة المرتبطة بالري على مستوى معظم المناطق التي شملتها الدراسة.

**الكلمات الرئيسية :** التوصيلية الكهربائية، عجينة مشبعة، مستخلص مخفف، التربة، مياه الري، صحراء

الجزائرية.

## Tableaux des Matières



Titre	Page
Dédicace	
Tableaux des Matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des Abréviations	
Introduction générale	
<b>Chapitre I: Salinité des Sols</b>	
I.1.Définition des sols salés	04
I.2.Définition de la salinité	04
I. 3.Définition de la salinisation	04
I.4.Les sols salés dans le monde et de l'Algérie	05
I.4.1.Répartition des sols salés dans le monde	05
I.4.2.Répartition des sols salés en Algérie.	06
I.5.Genèse d'un sol salin et/ou sodique.	07
I.6. Causes de la salinité des sols	07
I.7. Origines de salinité	08
I.7.1. Salinisation primaire.	08
I.7.2. Salinisation secondaire.	08
I.8. Paramètres de caractérisations des sols salés :	09
I.8.1. La conductivité électrique(CE).	09
I.8.2. pH de sol.	09
I.8.3.Teneur en sodium échangeable (ESP).	09
I.8.4.Sodium en solution(SAR).	09
I.9.Echelle de la salinité	10
I.10.Classifications des sols salés.	10
I.10.1. Classification française CPCS	10
I.10.2. Classification FAO	10
I.10.2.1. Sol salins(Solonchaks).	10
I.10.2.2.Sol salés à alcali (Solontchaks solonetz).	11
I.10.2.3.Sol à alcali (solontetz).	11
I.10.3.Référentiel pédologique.	11
I.10.4. Soil Taxonomie (U S D A).	11

I.11. Impacts de la salinité sur le sol et la plante	12
I.11.1. Effet de la salinité sur les propriétés physiques des sols	12
I.11.2. Effet de la salinité sur les propriétés chimiques des sols	12
I.11.3. Effets de la salinité sur les propriétés microbiologiques des sols	12
I.11.4. Effets de la salinité sur les plantes	12
I.12. Mise en valeur des sols salés .	13
I.12.1. Récupération des sols salés .	13
I.12.2. Récupération des sols salins-alcalins .	13
I.12.3. Récupération des sols alcalins	14
<b>Chapitre II: les eaux salines</b>	
I. Qualité de l'eau d'irrigation	15
I.1. Paramètres de détermination de la qualité d'une eau d'irrigation	15
I.1.1. Salinité	15
I.1.2. Alcalinité	17
I.1.3. Toxicité des ions spécifiques	17
II. Classifications des eaux d'irrigation	17
II. 1. Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Richards	18
II.1.1. Classification de l'U.S.S.L	18
II.1.2. Classification de Christiansen (1977)	19
II.1.3. Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Wilcox	19
II.1.4. Classification par le Diagramme de faciès chimique des eaux	19
II.1.4.1. Diagramme de piper	19
II.1.4.2. Diagramme de Schoeller Berkloff	20
III. Processus de dégradation de qualité du sol suite à l'irrigation	20
VI. Lutte contre la salinisation des sols liée à l'irrigation	21
VI.1. Gestion de l'irrigation avec des eaux salées	21
VI.1.1. Lessivage des sels	21
VI.1.2. Drainage	22
VI.1.3. Fréquence d'irrigation	22
VI.1.4. Méthode d'irrigation	22
VI.2. Contrôle régulier de la qualité de l'eau d'irrigation	23
<b>Chapitre III : La conductivité électrique.</b>	
III.1. Généralités sur la conductivité électrique	24
III.2. Principe de mesure de la conductivité électrique	24
III.3. Méthode de mesure de la conductivité électrique	24

III.3.1. Technique de l'extrait saturé	25
III.3.2. Méthode de l'extrait dilué	25
III.4. Relations entre l'extrait de la pâte saturée et les extraits dilués	25
<b>Chapitre IV : Matériel et Méthodes.</b>	
IV.1. Objectif de l'étude	27
IV.2. Présentation du contexte écologique de la zone l'étude	27
IV.2.1. Localisation géographique	27
IV.2.2. Choix des régions d'étude	27
IV.2.3. Situation et les limites géographiques des régions d'étude	28
IV.2.4. Hydrogéologie	28
IV.2.4.1. Région d'Ouargla	29
IV.2.4.2. Région d'EL Oued	29
IV.2.4.3. Région de Ghardaïa	30
IV.2.4.4. Région de Biskra	30
IV.2.4.5. Région de Bechar	30
IV.2.4.6. Région d'Adrar	31
IV.2.4.7. Région de Ain Salah	31
IV.2.4.8. Région de Tamanrasset	31
IV.2.5. Pédologie	31
IV.2.5.1. Région d'Ouargla	31
IV.2.5.2. Région d'EL Oued	32
IV.2.5.3. Région de Ghardaïa	32
IV.2.5.4. Région de Biskra	32
IV.2.5.5. Région de Bechar	33
IV.2.5.6. Région d'Adrar	33
IV.2.5.7. Région d'Ain Salah	33
IV.2.5.8. Région de Tamanrasset	34
IV.2.6. Climatologie	34
IV.2.6.1. Température	34
IV.2.6.2. pluviométrie	36
IV.2.6.3. Synthèse climatique	37
IV.2.6.3.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	37
IV.2.6.3.2. Climagramme d'Emberger	39
IV.2.6.3.3. Indice d'aridité de DEMARTONNE	40
IV.3. Méthodes d'analyses	41

IV.3.1. Méthodes d'analyse du sol	41
IV.3.1.1. Techniques d'échantillonnage	41
IV.3.1. 2. Méthode de mesure de la conductivité électrique	43
IV.3.1. 2.1. Conductivité électrique de l'extrait saturé	43
IV.3.1. 2.2. Conductivité électrique de l'extrait dilué	44
IV.3.1.3. Méthode de mesure de pH	44
IV.3.2. Méthodes d'analyses de l'eau d'irrigation	44
IV.3.2.1. Techniques d'échantillonnage	44
IV.3.2.2. Méthodes d'analyses	44
<b>Chapitre V : Résultats et discussion</b>	
V.I : Résultats	46
V.I.1. Résultats de mesure de la conductivité électrique et du pH du sol au niveau des huit régions d'étude	46
V.I.1.1. Conductivité électrique des extraits dilués et de la pâte saturée du sol	46
V.I.1.1.1. Extraits dilués et la pâte saturée	46
V.I.1.1.2. Conductivité électrique de la pâte saturée du sol au niveau des huit régions d'étude	48
V.I.1.1.3. Comparaison entre la conductivité électrique des extraits dilués et celles de la pâte saturée au niveau des huit régions d'étude	49
V.I.1.1.4. pH du sol (extrait dilué (1/2.5 et 1/5) au niveau des huit régions d'étude	50
V.I.2. Résultats de la conductivité électrique et de pH de l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude	53
V.I.2.1. Conductivité électrique de l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude	53
V.I.2.2. pH de l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude	53
V.I.3. Etude de quelques corrélations	54
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	54
V.I.3.2. Corrélation entre la conductivité électrique des extraits dilués (pâte saturée 1/1,1/2.5, 1/5) du sol et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation	55
V.II. Discussion générale	57
<b>Conclusion</b>	59



## Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Carte des zones arides dans le monde	06
02	processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation	21
03	Position géographique des régions d'étude.	28
04	Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal)	28
05	Températures moyennes, minimales et maximales dans les 08 régions d'étude	35
06	Précipitation moyenne annuelle en (mm) des 8 régions d'étude	36
07	Diagramme ombrothermiques de Gaussen et appliqué des 08 régions d'étude.	38
08	Position des 08 régions d'étude dans le climagramme d'Emberger.	40
09	Sites de prélèvement des échantillons du sol	43
10	Valeurs moyennes de la conductivité électrique de l'extrait dilué du sol (1/1, 1/2.5, 1/5) au niveau des huit régions d'étude.	48
11	Valeurs moyennes de la conductivité électrique de la pate sautée du sol au niveau des huit régions d'étude	48
12	Valeurs comparatives entre la CE (dS/m) de la pate saturée et des extraits dilués au niveau des huit régions d'étude.	50
13	Valeurs moyenne de pH des extraits dilués (1/2.5 et 1/5) au niveau des huit régions d'étude	52
14	Valeurs moyenne de la conductivité électrique l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude.	53
15	Valeurs moyenne de pH de l'eau d'irrigation au niveau des 08 régions d'étude.	54
16	Corrélation entre la conductivité électrique des extraits dilués (1, 1/2.5, 1/5) du sol et la conductivité électrique de la pâte saturée.	54
17	Corrélation entre la conductivité électrique des extraits dilués (Pâte saturée 1/1, 1/2.5, 1/5) du sol et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation.	55

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Superficie affectée par la salinité dans le monde	05
02	Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation en fonction de la conductivité électrique	16
03	Évaluation du danger de salinité en fonction de la sensibilité des plantes	16
04	Classification des eaux d'irrigation selon le SAR	19
05	Précipitations moyennes mensuelles (en mm) des huit régions d'étude	36
06	L'étage bioclimatique des huit régions d'étude selon l'indice d'aridité de DEMARTONNE	41
07	Classification du sol d'après l'échelle de la conductivité électrique à 25°C de l'extrait 1/5) au niveau des huit régions d'étude	46
08	Classification du sol d'après l'échelle de pH de l'extrait 1/2.5 sol au niveau des huit régions d'étude.	51
09	Classification de pH de l'extrait 1/5 sol d'après l'échelle Soltner (1989) au niveau des huit régions d'étude.	52
10	Classification de l'eau d'irrigation d'après l'échelle de la conductivité électrique à 25°C (Durand, 1982), au niveau des huit régions d'étude.	54

## Liste des Abréviations

Abréviaton	Signification
CE	Conductivité électrique
FAO	Food and Agriculture Organisation
Ph	Potentiel hydrique
ESP	Taux de sodium échangeable
SAR	Sodium Adsorption Ratio.
A.N.R.H	Agence nationale des ressources hydrauliques

**INTRODUCTION**

**GENERALE**

## **INTRODUCTION**

Dans les zones arides, la salinité des sols et celle des eaux d'irrigation est l'un des principaux facteurs qui limite la productivité végétale et le rendement agricole (SZABOLOCS, 1979 ; ZHU, 2001; BAATOUR *et al.*, 2004, ALVAREZ *et al.*, 2015, OUSTANI *et al.*, 2015 ; MINHAS *et al.*, 2020). Ce stress abiotique constitue une menace sérieuse pour la sécurité et l'équilibre alimentaire (KINET *et al.*, 1998; BALKHODJA et BIDAI, 2004).

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'extension du problème de salinité est au processus de salinisation des sols et des eaux (FAO, 2006 ; MUNNS *et al.*, 2006).

Selon la FAO, la salinisation des terres affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (LEGROS, 2009). Près de 50% de terre irriguée salinisée se trouve dans les zones arides (MERMOUD, 2006). En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables chaque minute, dont 3 hectares du fait de la salinisation. En effet, 10 à 15% des surfaces irriguées sont soumises au phénomène de salinisation à des degrés divers. Elles sont estimées à environ 400 millions d'hectares (BOT *et al.*, 2000).

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).

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 (MESSEDI et ABDELLY ,2004 ; FAO, 2006).

Le recours à l'utilisation de l'eau salée devient de plus en plus une nécessité absolue vu l'absence ou la rareté des ressources d'eau douce dans les régions arides. Le manque d'eau de bonne qualité constitue désormais une contrainte majeure lorsque l'on veut créer de nouveaux périmètres irrigués (VAN HOORN, 1991 ; CHEVERRY, 1995).

En fait, la demande de l'eau douce est constamment en augmentation pour différentes utilisations compétitives (domestique, agriculture, industrie) ce qui crée un besoin crucial d'utilisation de l'eau salée en agriculture

A l'instar des régions arides chaud, au Sahara Algérien, le climat est caractérisé par la faiblesse des précipitations. La majorité des eaux d'irrigation dans la région saharienne en Algérie est d'origine souterraine. Le Sahara Algérien recèle de grande potentialité spécifique en eau constituée surtout par les deux grandes nappes, le complexe terminal (CT) et le continental intercalaire (CI). Toutefois, ces eaux sont très salées avec plus de 4 à 5 g.l<sup>-1</sup> de résidus sec et bien souvent trois fois plus notamment pour la nappe phréatique (MASMOUDI, 2011).

Les sols sont menacés par une salinisation croissante en raison de l'absence d'un réseau de drainage (BENNADJI, 1998 ; HARTANI, 1999). En effet, les études faites par DAUD et HALITIM (1994) et DJILI *et al.* (2003) dans les périmètres de mise en valeur au Sahara ont montré que l'irrigation par des eaux diversement minéralisées provoque la salinisation des sols et en particulier les horizons de surface. La charge saline a été multipliée par 4 à 6 suivant la source d'eau d'irrigation utilisée. C'est ainsi que la salinisation secondaire constitue un facteur de dégradation des sols qui se traduit par une chute de rendements (DJILI *et al.*, 2003).

Dans tous les cas où cela est possible, pour définir la salinisation d'un sol, il est préférable d'extraire 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 électriques 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 paraît une 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 et 1:10 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 le relation entre ces deux types de salinité au niveau de huit régions sahariennes typiques de l'Algérie .

Ainsi, ce manuscrit est divisé en trois parties :

- La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique qui porte essentiellement sur la salinité des sols, salinité de l'eau d'irrigation et la conductivité électrique.
- La deuxième partie illustre le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de notre approche expérimentale.
- Enfin, la troisième partie est consacrée aux résultats obtenus accompagnés d'une discussion ponctuée et d'une conclusion générale.

Chapitre 1 :

Salinité des Sols



### **I.1.Définition des sols salés**

Les sols salés sont naturellement présentes sous tous les climats et sur tous les continents (**SZABOLCS, 1989**). Ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eau marine). Les processus de formation des sols salés sont associés à la redistribution des sels dans les pédopsages par divers agents, l'eau mobilisant les sels à l'état dissous, le vent à l'état dissous ou cristallisé.

L'accumulation des cristaux de sel est favorisé sous les climats où les processus évaporatoires dominant (**BRESLER *et al.*, 1982 ; CHHABRA, 1996**). Les grandes dépressions endoréiques (chott, sebkha, takyr, playa ou salar) ou les bordures maritimes (marais côtiers, vasières) forment des sites naturels(**MICHAEL *et al.*, 2011**).

Les sols salés se rencontrent le plus souvent sous les climats à faible pluviosité et à forte évaporation (zones arides ou subarides). L'aridité est le plus important facteur de la salinité (**KAMALELDIN, 1990**). Les climats arides et semis arides qui contribuent au maintien des sels dans les couvertures pédologiques sont les plus favorables au développement des caractéristiques salines ou alcalines (**REFERENTIEL PEDOLOGIQUE, 1995**).

La présence de sels solubles dans les sols est en relation avec un ensemble de faits relatifs soit à l'origine de ces sels : roche mère salée, nappe phréatique salée, eau d'irrigation salée soit à l'absence d'évacuation de ces sels hors du sol : mauvais drainage, climat aride, mauvaise conduite des irrigations, remontée capillaire à partir d'une nappe (**BOULAINÉ, 1974**).

### **I.2.Définition de la salinité**

La salinité est définie comme la concentration de sels minéraux dissous présents dans le sol ou dans l'eau, est l'un des facteurs environnementaux les plus graves qui limitent la productivité des cultures agricoles. La plupart des cultures sont sensibles à la salinité causée par de fortes concentrations de sels dans le sol. La salinisation est souvent le résultat de pratiques agricoles. La salinisation associée à l'agriculture se produit lorsque les sels s'accumulent dans la zone des racines, soit parce que le sol est intrinsèquement salin, soit parce que le drainage de l'eau du sous-sol n'est pas suffisant pour empêcher les eaux salines de remonter dans la zone des racines (**PITMAN AND LAUCHLI, 2002**).

### **I.3.Définition de la salinisation**

La salinisation est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin. La salinisation peut aussi être définie comme

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

#### **I.4. Les sols salés dans le monde et de l'Algérie**

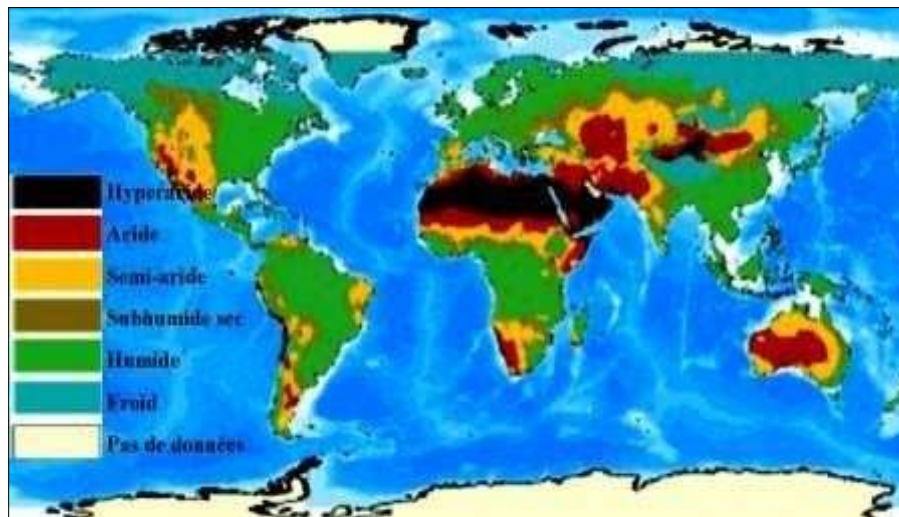
##### **I.4.1. Répartition des sols salés dans le monde**

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent une grande ampleur pour l'agriculture. Leurs distributions géographiques se superposent presque entièrement à celle des zones arides et semi arides et des zones côtières (**DURAND, 1983 ; FAO, 2005**). La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectares (Tableau 1), soit 23 % des terres cultivées (**FAO, 2008**). **WRI (2002)**, propose un classement des zones arides basé sur les valeurs du rapport ratio précipitation annuelle/évapotranspiration potentielle moyenne annuelle (Figure 1), le monde est de ce fait, divisé en :

- Zone hyper aride couvrant environs 11 millions de Kilomètres carrés, soit 8% des terres totales et elle correspond principalement au désert du Sahara.
- Zones arides, semi-arides et subhumides sèches qui couvrent près de 54 millions de kilomètres carrés principalement concentrés en Asie et Afrique.

**Tableau N°01 : Superficie affectée par la salinité dans le monde  
(HAMDY, 2005)**

<b>Region</b>	<b>Superficie (millions d'hectares)</b>
<b>Afrique</b>	<b>80,5</b>
<b>Europe</b>	<b>50,8</b>
<b>Amérique du nord</b>	<b>15,7</b>
<b>Amérique du sud</b>	<b>129,2</b>
<b>Australie</b>	<b>357,3</b>
<b>Mexique et Amérique centre</b>	<b>2</b>
<b>Asie du sud Est</b>	<b>20</b>
<b>Asie du centre et du nord</b>	<b>211,7</b>
<b>Asie du sud</b>	<b>87,6</b>
<b>Total</b>	<b>954,8</b>



**Figure N°01 : Carte des zones arides dans le monde (WRI, 2002)**

#### **I.4.2. Répartition des sols salés dans l'Algérie**

En Algérie, on évalue aujourd'hui à 1,5 million d'hectares la superficie des sols salés (MADR, 2004) dont 49 milles se situent dans le sud du pays. Selon Douaoui et Hartani (2007) environ 20% des sols irrigués en Algérie sont concernés par le problème de salinité. Ce problème a été observé dans plusieurs régions de l'Algérie (Chlef, Relizane, Mohamadia, Sig, Ain temouchent, hautes plaines de Sétif et Constantine).

#### **I.5. Genèse d'un sol salin et/ou sodique**

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

La composition de la solution, le pH et la température sont les paramètres influençant la solubilité des sels. Les sels se solubilisent par des formes différentes. En effet, les chlorures sont les plus solubles, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont moyennement solubles. En revanche, lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque insolubles.

La formation d'un sol salin ou sodique résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (CHURCHMAN et al. 1993, NAIDU ET RENGASAMY 1993, SUMNER 1993, KEREN 2000, LEVY 2000, BRADY et WEIL 2002, ESSINGTON 2004).

Le régime hydrique du sol, la forme de sel, les conditions climatiques et la texture des sols sont les paramètres les plus importants qui manifestent la genèse d'un sol salin. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , et aux anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Egalement le bore, le sélénium, l'arsenic et le molybdène (les éléments traces) sont considérés comme d'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations (**KEREN 2000 ; ESSINGTON, 2004**).

### **I.6.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.7.Origines de la salinité**

#### **I.7.1.Salinisation primaire**

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle « édaphique », on qualifie alors la salinisation de « primaire ». Dans ce cas, celle-ci est due à la formation des sels pendant l'altération des roches ou à des apports naturels externes :

Dans les régions côtières, intrusion de l'eau salée ou submersion des terres basses. Inondation périodique par de l'eau de mauvaise qualité. Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire (**LAHOUEL, 2014**).

Ce type de sol est très fréquent dans les zones arides dû à une évapotranspiration potentielle qui dépasse largement la quantité d'eau arrivée au sol (LAHOUEL, 2014).

### **I.7.2.Salinisation secondaire**

La salinité peut être provoquée en conditions anthropiques par l'irrigation par des eaux salées. Ce type de salinité du sol est la conséquence de la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation chargée en sels dissous (BOUALLA *et al.*, 2012).

Ce type de salinisation constitue une menace particulièrement grave. Dans 10 pays de la méditerranée, le pourcentage des terres irriguées atteintes à des degrés divers par la salinisation est en effet significative. Au sud du Sahara, le phénomène concerne en particulier les sols irrigués de la vallée du fleuve Sénégal (Sénégal, Mauritanie), dont l'extension a été forte au moment de la construction des grands barrages sur le fleuve. Des cas de dégradation sont connus depuis trente ans dans les périmètres de l'ancien ^ office de Niger^ au mali ; ils pour aient se multiplier sur les terrasses de ce même fleuve, en amont de Niamey, au Niger (CHEVERRY et ROBERT, 1998).

## **I.8.Paramètres de caractérisations des sols salés**

### **I.8.1.La conductivité électrique(CE)**

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité.

Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm  $\Omega$ ) 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 exprimé en mmho.cm ou dS.m (mmho= milimho, S= siemens ) a une température de 25°C (MATHIEU *et al.*, 2003).

### **I.8.2.pH de sol**

La mesure de pH d'une suspension de sol dans l'eau (pH eau) rend compte de la concentration en ions  $H_3O^+$  à l'état dissocié dans le liquide surnageant. Le pH est un mode d'expression de la concentration en ions  $H^+$  D'un liquide (au laboratoire, il s'agira du liquide surnageant dans un bécher, après agitation d'une certaine quantité de sol dans de l'eau distillé).Il s'exprime selon une échelle de 0 à 14 (BAISE, 2018).

**I.8.3.Teneur en sodium échangeable (ESP) (Le taux de sodium échangeable)**

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

**I.8.4.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.9.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.10.Classifications des sols salés**

Les sols affectés par les sels se situent à des niveaux hiérarchiques différents. On distingue :

#### **I.10.1. la classification française CPCS**

La CPCS (1967) accorde une place de choix à la salinité et lui dédie une classe des sols à part entière qui se situe au sommet du niveau hiérarchique de cette classification. La CPCS (1967)

a proposé de les dénommer sols « sodiques ».

On peut y distinguer : (a) les sols sodiques à structure non dégradée, et (b) les sols sodiques à structure dégradée. Les sols sodiques inclus dans ce système de classification présentent un schéma d'évolution dominé soit par une richesse en sels solubles dont la CE de l'extrait de pâte saturée est supérieure à 7 mmhos/cm à 25°C dans l'ensemble du profil, soit par la présence de sodium échangeable (et/ou de magnésium) occupant plus de 10% de la CEC, avec l'apparition d'une structure massive, diffuse, et une compacité élevée.

#### **I.10.2.La classification FAO**

La classification de la FAO (**WRB, 2006**) cite deux groupes de sol affectés par la salinité, le groupe des Solonchaks et celui des Solonetz.

##### **I.10.2.1.Sols salins(Solonchaks)**

Ce sont des sols ayant un horizon salic débutant dans les 50 premiers cm de la surface du sol et n'ayant pas d'horizon thionic dans la même profondeur.

##### **I.10.2.2.Sols salés à alcali (Solontchaks solonetz)**

Dans ce type de sol, la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée à 25°C est supérieure à 4 dS/m et le E.S.P est supérieur à 15 % de la CEC. Le pH est supérieur à 8.5 (**SERVANT, 1970 ; HALITIM, 1973**).

##### **I.10.2.3.Sol à alcali (Les Solonetz)**

Ce sont d'autres sols ayant un horizon natric débutant dans les 100 premiers cm de la surface du sol. L'horizon natric est un horizon de subsurface dense dont la teneur en argile est plus élevée que celle de l'horizon sus-jacent, et l'horizon salic est un horizon de surface ou de subsurface contenant un enrichissement secondaire en sels solubles.

### **I.10.3. Le référentiel pédologique**

D'après le référentiel pédologique (2008), les sols salés et les sols sodiques sont classés dans le Solum « Salisols et Sodisols ». Il est formé sous l'influence dominante de sels solubles et/ou du sodium. Il en existe deux horizons de références spécifiques, un horizon salique et un horizon sodique. Le premier horizon est caractérisé par la présence d'une certaine quantité de sels solubles dans la solution du sol ou précipités dans l'horizon lui-même ; le second horizon est caractérisé par la présence, sur le complexe d'échange ionique de l'horizon, d'une quantité de sodium relativement importante par rapport aux autres cations adsorbés.

### **I.10.4. Soil Taxonomie (U S D A)**

Pour ce qui est de la Soil Taxonomie (2010), il ressort que les sols affectés par les sels n'ont pas une place à part au niveau des ordres. Cette classification qui est fondée sur les critères diagnostiques considère deux horizons diagnostiques pour caractériser la sodicité et la salinité des sols, natric horizon et salic horizon.

- Le premier horizon est caractérisé par un pourcentage d'argile plus élevé que celui des horizons sus-jacents, une structure colonnaire, ESP égal ou supérieur à 15%, et un SAR qui est égal ou supérieur à 13.
- Le second est un horizon d'accumulation de sels solubles, d'une épaisseur de 15cm ou plus, caractérisé par une CE de l'extrait de pâte saturée égale ou supérieure à  $30 \text{ dS.m}^{-1}$ , et le produit de la CE ( $\text{dS.m}^{-1}$ ) par l'épaisseur (cm) est égal ou supérieur à 900cm.

De ce fait, on trouve les sols salés dans les différents niveaux de classification, comme par exemple au niveau des suborders (Salids), des grands groupes (Natrixeralfs, Natraquerts, Natrargids, Natrixerolls), ou des sous groupes (Natric Haploxeralfs ; Natric Petrocalcids ; Sodic Xerarents ; Sodic Calcixerepts) .

## **I.11. Impacts de la salinité sur le sol et la plante**

### **I.11.1. 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 acquière une capacité de gonflement. Ce dernier entraîne une diminution



de la porosité et la dispersion conduit au colmatage des pores par les particules colloïdales (**REGUIG ET LARROUSSI, 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.11.2.Effets de la salinité sur les propriétés chimiques des sols**

La salinité agit sur le complexe adsorbant par les cations échangeable ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Mg}^{++}$ ) 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 saturée en  $\text{Na}^+$  et qui provoque la dispersion d'argiles (fraction fine) diminuant ainsi la porosité (aération) et emmagasinement de l'eau (**MADJID et TAIR, 2012**).

#### **I.11.3.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 (**NAÂMAN *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 faite les processus de décomposition par minéralisation et synthèse par l'humification de la MO ne sont plus assurés (**NAÂMAN *et al.*, 2000**).

#### **I.11.4.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.12.Mise en valeur des sols salés**

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 organiques et minéraux (**SAADOUNE, 2016**).

Généralement les procédés pratiqués pour la récupération des sols salés et leur mise en valeur sont variables en fonction de type de la salure :

#### **I.12.1 Récupération des sols salés**

Pour récupérer un sol salin il est nécessaire de réduire la concentration en sels solubles jusqu'à une limite acceptable ; ceci peut être fait par lessivage en supposant qu'il existe un drainage naturel ou artificiel adéquat. Il existe différents projets de récupération basés sur des expériences acquises sur le terrain. On retiendra la technique développée en Irak, et mise au point au centre d'agriculture de Wageningen notamment. Cette technique basée sur les courbes de lessivage peut être utile pour estimer la quantité d'eau à utiliser, le temps nécessaire et la vitesse d'infiltration dans le sol (**LALLEMAND-BARRES, 1980**).

#### **I.12.2. Récupération des sols salins-alcalins**

Lors de la récupération des sols salins-alcalins, l'objectif est de remplacer le  $\text{Na}^+$  échangeable par le calcium ou un autre ion, puis de lessiver le  $\text{Ca}^{2+}$  échangé et les autres sels solubles. Il est important que les opérations se passent dans cet ordre si l'on veut éviter une détérioration de la structure du sol. S'il y a détérioration, il faudra ajouter des produits chimiques pour remplacer le sodium échangeable. Le test de lessivage donne une indication de la vitesse de variation du ESP (pourcentage de sodium échangeable] (**LALLEM and BARRES, 1980**).

#### **I.12.3. Récupération des sols alcalins**

L'objectif dans ce cas est de réduire ESP et d'éliminer les sels sodiques. La difficulté dans ces sols est d'y introduire l'eau puis de l'éliminer en raison de leur imperméabilité. La perméabilité des sols peut être temporairement modifiée en transformant le sol alcalin en sol salin-alcalin par- irrigation avec une eau salée. On introduit ensuite du gypse et aussi du soufre pour

augmenter la concentration du calcium soluble qui remplacera le sodium échangeable. Ces amendements chimiques sont mélangés au sol (**LALLEM and BARRES, 1980**).

Chapitre 11 :

**Salinité de l'eau**

**d'irrigation**

## I. Qualité de l'eau d'irrigation

L'eau d'irrigation peut avoir des propriétés qui risquent de modifier le sol et les cultures. Toutes les eaux naturelles contiennent des sels minéraux en solution. C'est la concentration et la proportion de ces sels qui déterminent les possibilités d'utilisation de ces eaux. Les principaux constituants dissous des eaux d'irrigation sont les cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et les anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  avec d'autres éléments mineurs.

### I.1. Paramètres de détermination de la qualité d'une eau d'irrigation

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

#### I.1.1. 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). Toute fois, 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 10<sup>4</sup> mg/l TDS) (**FEKRACHE, 2015**).

Le tableau 03 donne l'évaluation de la qualité de l'irrigation en fonction de la conductivité électrique.

**Tableau N° 02.** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation en fonction de la conductivité électrique

CE ds/m	Concentration (g/l)	Evaluation USA	Evaluation russe	Evaluation de Durand pour l'Algérie
CE<0.25	<0.2	Faiblement salée	Bonne qualité	Non saline
0.25<CE<0.75	0.2-0.5	Moyennement salée	Risque de salinisation	Salinité moyenne
0.75<CE<2.25	0.5-1.5	Fortement salée		Forte salinité
2.25<CE<5	1.5-3	Très fortement salée	Ne peut être utilisée sans lessivage	Très forte salinité
5<CE<20	3-7	Salinité excessive		Salinité excessive

(DAOUD et HALITIM, 1994)

Le tableau 04 donne l'évaluation de la qualité de l'irrigation en fonction de la sensibilité des plantes.

**Tableau N°03** .Évaluation du danger de salinité en fonction de la sensibilité des plantes

Classe de salinité	US Salinity laboratory 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.1.2. 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 :

$$SAR = Na / [(Ca + Mg)/2]^{1/2}$$

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.1.3- 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 oligo éléments.

## II. Classifications des eaux d'irrigation

L'évaluation des eaux d'irrigation est différente selon les pays. Toutes les classifications des eaux d'irrigation doivent être considérées non comme standards indiscutables mais comme des guides généraux à adapter en fonction des conditions locales (**BERTRAND, 1981**). Il est presque impossible d'établir des critères généraux pour l'eau d'irrigation (**ARAGUES, 1983**),

car l'efficacité de l'eau salée dépend des conditions de son utilisation : culture, climat, sol, méthode d'irrigation et les pratiques de gestion, donc la classification des eaux est difficile (ROHDES *et al*, 1992).

Selon **HAMDY (2001)**, la majorité des classifications considèrent 3 critères : la salinité totale, la concentration des ions Na, CO<sub>3</sub> et HCO<sub>3</sub> en relation avec Ca, Mg (sodicité) et la toxicité des ions spécifiques Cl<sup>-</sup>, B<sup>-</sup> ...etc.

Plusieurs classifications ont été proposées pour classer les eaux par rapport à leur qualité pour l'irrigation. La plupart de ces classifications se basent sur le calcul de deux facteurs essentiels, à savoir la salinité présentée par la conductivité électrique (CE) et le SAR (Sodium Absorption ratio).

## **II. 1. Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Richards**

### **II. 1.1. Classification de l'U.S.S.L**

C'est classification la plus utilisée en ce qui concerne l'irrigation proposé par laboratoire de Riverside (RICHARD 1954), elle est basée sur la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux destinés à l'irrigation. C'est-à-dire :

- **la conductivité électrique exprimée en CE (mmhos/cm)**
- **le SAR (% de Na échangeable) (TERCHI, 2014)**

La classification USSL (1954) donne 4 classes des eaux en fonction du SAR depuis S1 : eaux faiblement sodiques jusqu'au S4 eaux très fortement sodiques généralement inutilisables pour l'irrigation.

Dans cette classification le SAR augmente lorsque la salinité augmente (**ARAGUES, 1983**) ce qui paraît contradictoire avec les connaissances actuelles qui montrent qu'une salinité élevée compense l'effet négatif de la sodicité sur la perméabilité (**ARAGUES, 1983 ; AYERS et WESTCOT, 1985**). Augmenter la sodicité et diminuer la salinité de l'eau ceci augmente la dispersion physicochimique (**LEVY *et al*, 2003**). En fait, le maintien de la structure en présence d'un pourcentage élevé de sodium échangeable est la conséquence d'un haut niveau de salinité (effet flocculant) (**SERVANT, 1975 in GONZALEZ, 1992**). Ainsi, selon **HALITIM (1988)** les sels constituent les milieux conservateurs vis-à-vis de la fraction argileuse et inhibent toute transformation dans le sens d'une dégradation.



**Tableau N°04.** Classification des eaux d'irrigation selon le SAR

Nomination	Classe	Interprétation
Classe 1(S1)	0<SAR<10 Bas taux de sodium	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
Classe2(S2)	10<SAR<18 Taux moyen de Sodium	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
Classe3(S3)	18<SAR<26 Taux élevé de sodium	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigent la mise en oeuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire
Classe4(S4)	SAR>26 Taux très élevé de Sodium	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

(BOUTELDJAOUI *et al.*, 2000)**II. 1.2. Classification de Christiansen (1977)**

C'est une classification fondée sur sept critères : la conductivité électrique, le pourcentage en Na, le SAR, la teneur en Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, la teneur en Cl, la salinité effective (ES), la teneur en Bore.

**II.1. 3. Classification des eaux d'irrigation par la méthode de Wilcox**

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau qui est exprimée en pourcentage. (BOUTELDJAOUI *et al.*, 2000 IN TERICHI, 2015)

## **II.1 .4 Classification par le Diagramme de faciès chimique des eaux**

### **II. 1.4.1 Diagramme de piper**

Le diagramme de piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux (TERICHI, 2015).

### **II. 1.4.2 Diagramme de Schoeller Berkaloff**

Le diagramme de Schoeller Berkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne brisée. La ligne est formée en reliant tous les points figurant le différent élément chimiques. Une classe de minéralité variable mais dont la proportion sont les mêmes pour l'élément dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence (FARNHAM *et al.*, 1984).

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

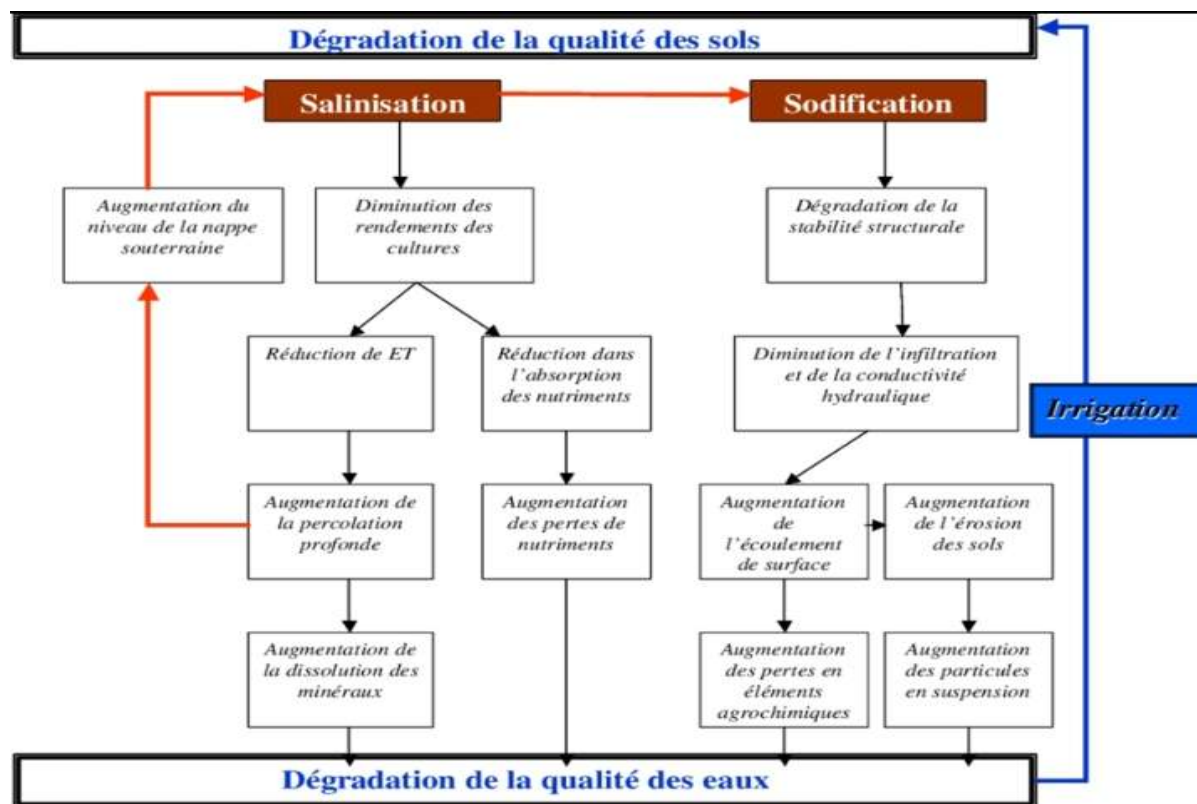
Les processus de dégradation de la qualité du sol liée à l'irrigation par des eaux fortement chargées en sels sont schématisés dans la figure N°02.

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  $\text{Na}^+$  fixée sur le complexe adsorbant ( $\text{Na}^+/\text{T} < 15\%$ ). Toutefois, si la teneur de  $\text{Na}^+$  fixé est élevée, et parfois une teneur en magnésium ( $\text{Na}^+/\text{T}$  ou  $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{++}/\text{T} > 15\%$ ), le sol risque

d'avoir un problème de sodification 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°02:** 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 le lixiviation 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 et 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 provoqué par la remonté 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 saline 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 eau.**

Chapitre III :

**La conductivité**

**électrique**

### **III.1. Généralités sur la conductivité électrique**

Dans tous les cas où cela est possible, pour définir la salinisation d'un sol, il est préférable d'extraire 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 CE 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 saturée).

En fait, pour caractériser la salinité des sols, on met habituellement l'accent sur la détermination de la composition ionique, soit d'une pâte saturée en eau distillée (méthode de RICHARD (1954), soit d'une solution d'extraction aqueuse en prenant soin de veiller à ce que le rapport sol/eau soit constant (1/ 5 ou 1/ 10) exprimée en dS/ m à 25°C (**HALITIM, 1988**).

Toutefois, la technique de l'extrait saturée paraît une méthode de référence car elle a été utilisée dans la plupart des travaux concernant la salinité et les risques 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**).

### **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 cm<sup>2</sup> de surface distantes 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, 1/10 du rapport sol/eau distillée, par cette méthode, l'extraction est rapide, mais les solutions sont moins représentatives de la solution du sol (BENZAHI, 1994).

### III.4. Relations entre l'extrait de la pâte saturée et les extraits dilués

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

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

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

$$CE_e = 1,83. CE_{1/1} - 0,117$$



*\* Relation entre ECe et l'extrait dilué 1/5 :*

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

$$CE_e = 6,53 \cdot CE_{1/5} - 0,108$$

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 huit régions d'étude 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**

Les régions d'étude retenues par le présent travail font partis du Sahara algérien qui correspond à un immense désert s'étend au sud de l'Atlas saharien. Cet aire géographique s'étale sur près de 2 millions de Km<sup>2</sup> correspondant à environ 85 % du territoire Algérien (MEDIOUNI, 1997). Il s'insère entre les 18° et 35° parallèles Nord. Selon DUBOST (1991), cette limite est fixée précisément à 400 Km au sud d'Alger, au pied de l'Atlas saharien.

#### **IV.2.2. Choix des régions d'étude**

En vue d'avoir un aperçu général sur le phénomène de salinisation du sol dans le Sahara Algérien, nous avons essayé dans la mesure de possible d'englober tous le territoire Saharien de l'Algérie. Ainsi, notre choix s'est porté sur huit régions sahariennes. Il s'agit de la région de :

- **Ouargla**
- **El Oued**
- **Ghardaïa**
- **Biskra**
- **Bechar**
- **Adrar**
- **Ain Saleh**
- **Tamanrasset**

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

- **Situation en milieu aride chaud (Saharien)**
- **Sols cultivés**

- Teneur variable en sels dans le sol et au niveau de l'eau d'irrigation

### IV.2.3. Situation et les limites géographiques des régions d'étude

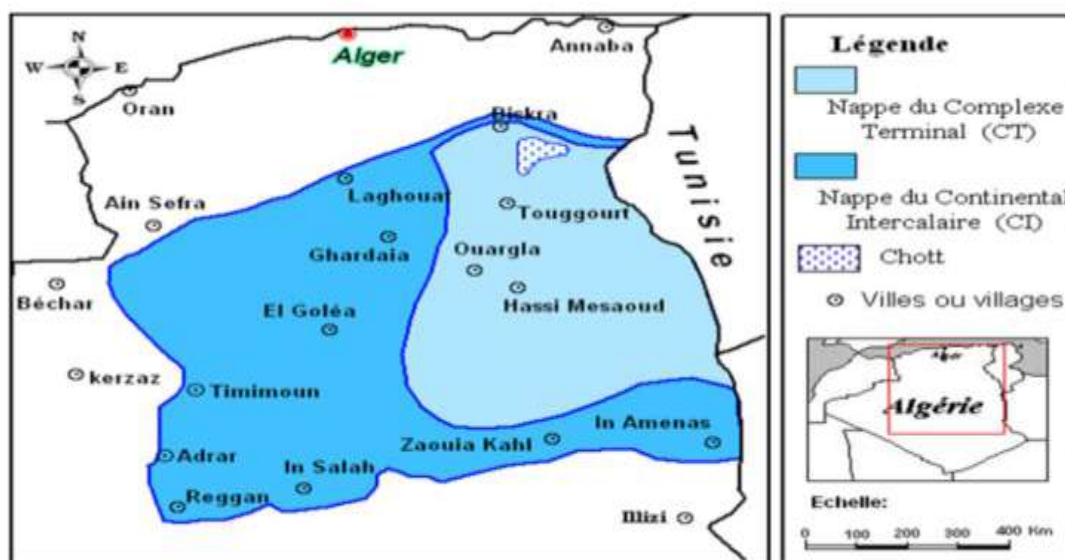
La situation et les limites géographiques des huit régions sont illustrées dans la figure 03.



**Figure N 03 :** Position géographique des régions d'étude.

### IV.2.4. Hydrogéologie

Le Système Aquifère du Sahara s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (BALLAH, 2019) (Fig. 04).



**Figure N°04:** Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal) (UNESCO, 1972).

#### IV.2.4.1. Région d'Ouargla

La région d'Ouargla fait partie des deux grands aquifères du Sahara septentrional, qui sont le complexe terminal et le continental intercalaire.

- **La nappe Albienne**

Cette nappe est captée à une profondeur de 1000m (Gassi Touil) et 1500m (Ouargla), elle se distingue par un débit important qui peut dépasser les 200 litres par seconde, une salinité relativement faible (inférieure généralement à 2g/l de résidu sec). Elle se distingue également par son artésianisme jaillissant (KHADRAOUI, 2005).

- **Nappe du complexe terminal**

Elle est constituée par deux principales formations, l'une des sables captée à une profondeur des certaines mètres, avec un débit de 25 à 35 l/s et peut dépasser 50 l/s dans la région de Hassi Messaoud. L'eau de cette formation est chargée en sels et peut atteindre les 7g/l. Quant à la nappe de calcaires qui est relativement plus profonde, entre 150 et 300 m, elle se distingue par une salinité relativement moins chargée de 2 à 3 g/l de résidu sec. Le débit de cette formation d'environ 20 l/s (KHADRAOUI, 2005).

- **La nappe phréatique**

La nappe phréatique à une teneur en sels élevée qui est généralement de 10 à 15 g/l de résidu sec sur l'ensemble de la région et peut dépasser les 25 g/l à la périphérie des chotts. Son niveau d'eau est proche de la surface du sol (KHADRAOUI, 2005).

#### IV.2.4.2. Région d'EL Oued

Dans la région de d'EL Oued deux systèmes aquifères sont exploités: la nappe du continental intercalaire (C.I) et la nappe du complexe terminal (C.T.) qui se terminent par une nappe phréatique superficielle et libre (**KHADRAOUI, 2000 ; A.N.R.H., 2005**).

- **La nappe du Complexe Terminal**

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.

- **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.

- **La nappe phréatique**

La nappe phréatique s'étale sur presque la quasi-totalité du territoire de la vallée, elle est exploitée par environ 10.000 puits traditionnels, à une profondeur moyenne de 40 m.

#### 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'inféoflux (Phréatique), et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire dite albiennaise.

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 carbonaté ;
- La nappe d'eau contenue dans les calcaires fissurés du Turonien ;
- Les nappes alluvionnaires de l'Inféoflux (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 calcaires dures du turonien. L'épaisseur de ces alluvions peut atteindre 25 à 30 mètres. La profondeur du niveau d'eau varie entre 10 et 30m. 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. Cette dernière est exploitée dans les palmeraies par des puits ordinaires. Le niveau hydrostatique dans ces puits est caractérisé par l'instabilité, il décline pendant les périodes sèches et remonte pendant la saison humide (**Achour, 2003**)

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 et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage, le réservoir principal de la zone d'étude se situe essentiellement dans l'Albien, constitue le principal objectif hydrologique des forages réalisés pour alimenter le village de Metlili en eaux potable et pour l'irrigation. Le nombre de forage captant le CI est 44 forage, 32 forages sont exploitables, a un débit moyen 30-80 l/s, (**A.N.R.H, Ghardaïa 2011**).

#### **IV.2.4.4. Région de Biskra**

La région de Biskra se distingue en plus de ses eaux superficielles (barrages de foug el gharza et fontaine des gazelles), par plusieurs aquifères, qui sont relativement importantes à savoir : Nappe phréatique du quaternaire Nappe des sables du miopliocène Nappe des calcaires de l'éocène inférieur et du sénonien Nappe du grès du continental intercalaire

- La nappe phréatique : cette nappe se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires : elle est alimentée essentiellement par les eaux d'irrigation. L'infiltration dans les lits d'oueds et les eaux d'irrigation. Les nappes les plus importantes dans la wilaya de Biskra sont celles de l'Oued Biskra et de l'Oued Djeddi
- La nappe de sables : constituée par une alternance de niveaux d'argile, sable, et cailloutis d'âge miopliocène, cette nappe est alimentée par les pluies exceptionnelles au niveau des zones d'affleurement.
- La nappe des calcaires: cette nappe est la mieux connue grâce aux exutoires naturels, qui sont les sources de Metlili, Oumache et Zibans. Cette dernière est appelée nappe de

Tolga: elle est constituée essentiellement de calcaires de l'éocène inférieur et du sénonien supérieur.

- La nappe de continental intercalaire

C'est un réservoir très important qui est constitué essentiellement de grès et de marine d'âge albien et barrémien .L' exploitation de ce réservoir est coûteuse : sa profondeur dépasse largement les 200m et la température de l'eau peut dépasse le 60 C° (**KHADRAOUI, 2004**).

#### **IV.2.4. 5. 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 important quant à la région du Tindouf, elle présente plusieurs aquifères, a savoir : Nappe phréatique Nappe des hammadas (sable) Vise en terminal (**KHADRAOUI, 2004**).

#### **IV.2.4. 6. 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. 7. Région d'Ain Salah**

La région de 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. L'épaisseur de ces dépôts, peut atteindre 1500 à 2000m. Les niveaux aquifère du continental intercalaire peuvent se résumer en sable, graviers, grès rouges. 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. 8. Région de Tamanrasset**

La formation du continental intercalaire est très importante 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 de Ouargla, du point de vue pédologique et suivant la classification française des sols (CPCS, 1967), est caractérisée par la présence des :

- Sols minéraux bruts,
- Sols peu évolués,
- Sols halomorphes
- et des sols hydromorphes.

Les sols dans cette région sont en général caractérisés par la prédominance de la texture sableuse et à structure particulière. Ils présentent un pH alcalin et une forte salinité. Leur fraction minérale est constituée dans sa quasi totalité de sable (HALILAT, 1993). La fraction organique est très faible en général inférieure à 1 % (OUSTANI, 2006).

#### **IV.2.5.2. Région d'EL Oued**

La région d'Oued Souf est caractérisée par des sols légers, à prédominance sablonneuse, à structure particulière. Ces sols sont connus par de faibles taux de matière organique, une forte salinité, un pH alcalin et une bonne Aération (E.N.A.G.E.O., 1993 ; CHEMSA, 2019).

#### **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) au niveau de la région de Biskra, montrent qu'il y a une hétérogénéité des sols dans cette région. 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 (**HADDAD, 2011**).

#### **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).
- 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 palmerais. 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 au Sud Ouest.

L'irrigation se traduit souvent par une remonté de la nappe superficielle salé 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 formé simultanément. Dans ces sols contrairement aux sols irrigués. Il n'ya pas de processus d'accumulation des sels (S.E.D.A.T, 2012 ; (TIATAOUI et TIHAMI, 2015).

#### **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 inexistant (LOURCI *et al.*, 2014).

#### **IV.2.6. Climatologie**

Le climat des zones sahariennes est continental désertique. Le fait désertique est expliqué par des valeurs extrêmes des paramètres climatiques qui constituent les facteurs essentiels de la distribution de la végétation et de l'évolution des sols. Ce climat est caractérisé essentiellement par des températures estivales élevées et de faibles températures hivernales, de forte amplitude thermique, de vents violents, de fort ensoleillement et de forte évaporation, ce qui favorise l'accumulation des sels à la surface du sol et accélère l'extension des sols salinisés.

##### **IV.2.6.1. Température**

La température est un élément écologique fondamental. Elle dépend de la nébulosité, de l'altitude, de l'exposition, de la présence d'une grande masse d'eau, des courants marins, du sol et des formations végétales en place (FAURIE *et al.*, 1980).

Les températures moyennes, minimales et maximales au niveau de régions d'étude sont illustrées dans la figure N°05.( a, b, c, d, e, f, g, h ).

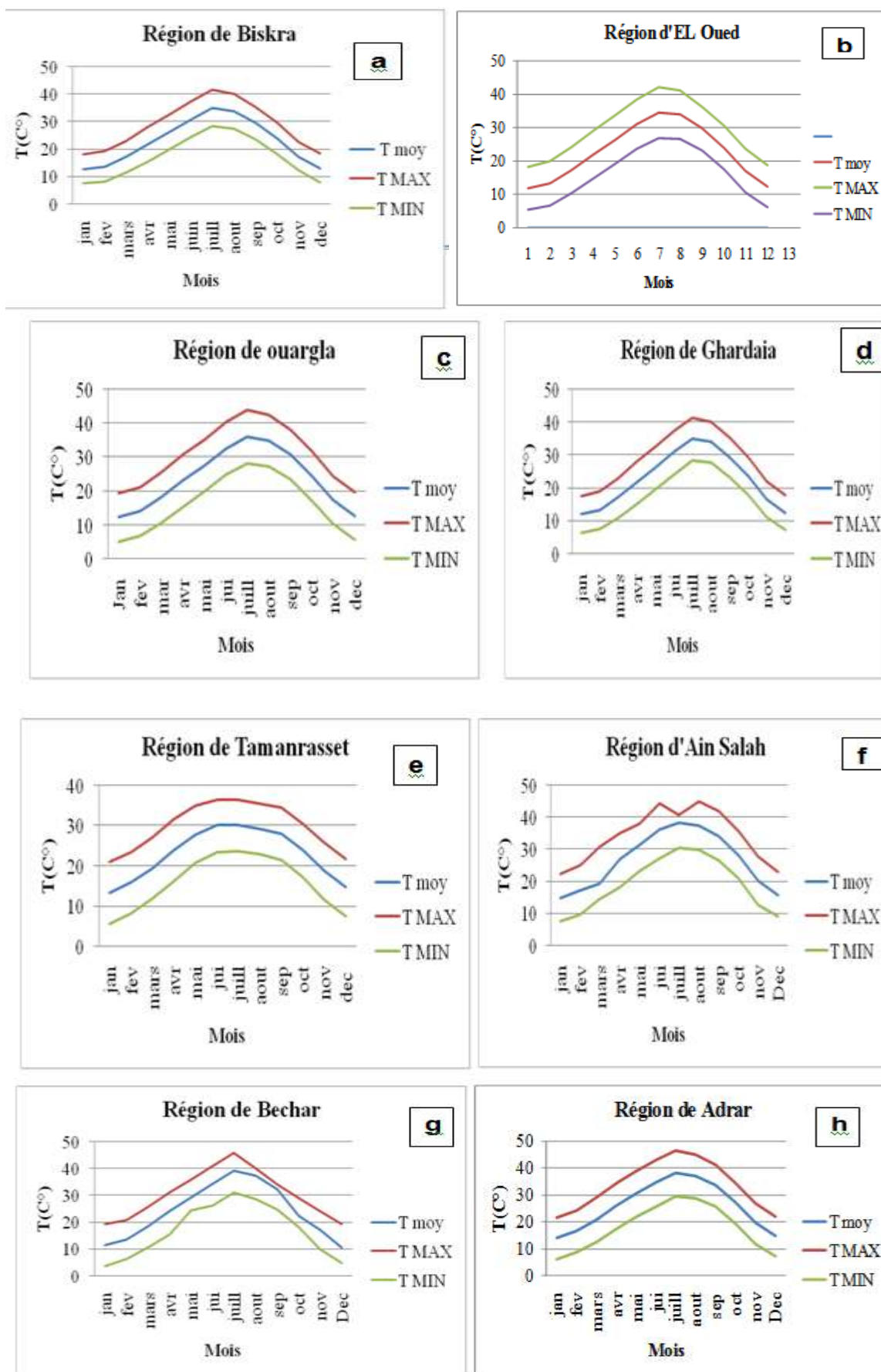


Figure N°05 : Températures moyennes, minimales et maximales dans les 08 régions d'étude

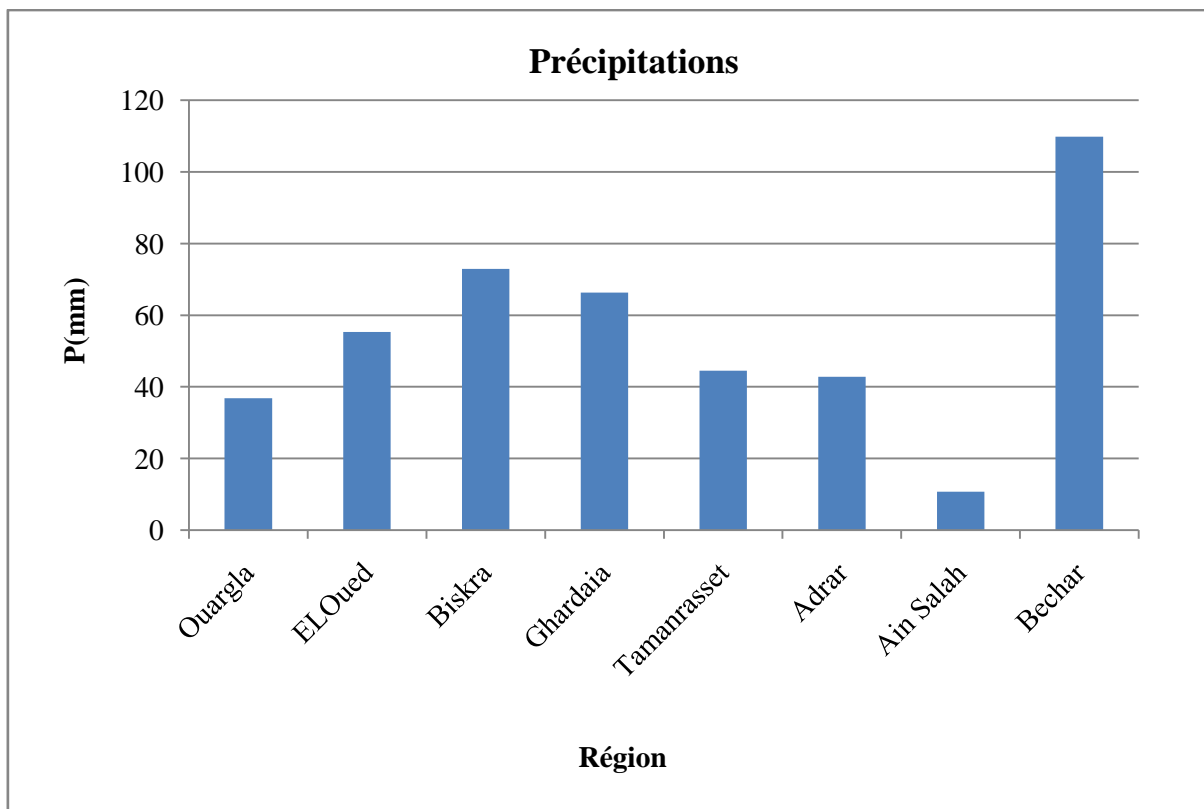
[https:// fr.tutiempo.net](https://fr.tutiempo.net)

### 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 08 régions d'étude sont présentées dans la figure N°06.

**Tableau N°05 :** Précipitations moyennes mensuelles (en mm) des 08 régions d'étude

Région	Période	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Cumul
Ouargla	2009/2018	7,9	3,7	5,1	1,5	2,1	0,8	0,4	0,4	4,8	3,8	2,8	3,7	36,8
EL oued	2009/2018	8,3	5,6	4,5	7,0	1,9	2,5	2,0	1,9	6,5	1,6	10,0	3,5	55,3
Biskra	2008/2018	3,5	3,7	7,0	8,5	9,7	6,7	1,3	2,8	5,3	12,6	6,1	5,7	72,9
Ghardaïa	2008/2017	9,8	3,4	8,0	4,2	2,4	3,1	1,5	2,2	17,6	5,9	3,9	4,3	66,3
Tamanrasset	2009/2018	2,0	3,0	7,8	3,0	3,5	5,9	6,3	4,5	4,5	5,3	2,0	2,0	44,5
Adrar	2009/2018	5,6	3,3	3,2	2,0	1,0	1,0	1,0	2,2	6,7	8,8	2,0	6,0	42,8
Ain Salah	2006/2014	2,03	0,11	1,41	0	0	0,25	0,06	0	1,9	2,96	1,65	0,38	10,7
Bechar	2009/2019	4,9	4,4	9,03	5,1	10,3	12,3	4,03	7,4	8,8	12,9	12,9	12,8	109,8



**Figure N°06:** Précipitation moyenne annuelle en (mm) des 8 régions d'étude

Les valeurs des cumulatives annuelles de la pluviométrie mentionnées dans la figure N°13 montrent que la région la plus pluvieuse est Bechar avec un moyen 109.8 mm, et la moins pluvieuse est la région de Ain Salah avec un cumul annuel de 10.7 mm.

#### **IV.2.6.3.Synthèse climatique**

La synthèse des données climatiques peut être effectuée par plusieurs indices climatiques tels que l'indice des pluies de Thorntwaite, l'indice xéothermique, l'indice d'aridité de Martonne, le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen et le climagramme d'Emberger (**DAJOZ, 1971**).

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 moyenne mensuelle T exprimée en degrés Celsius. Le diagramme ombrothermique est un mode de représentation classique de climat d'une région donnée.

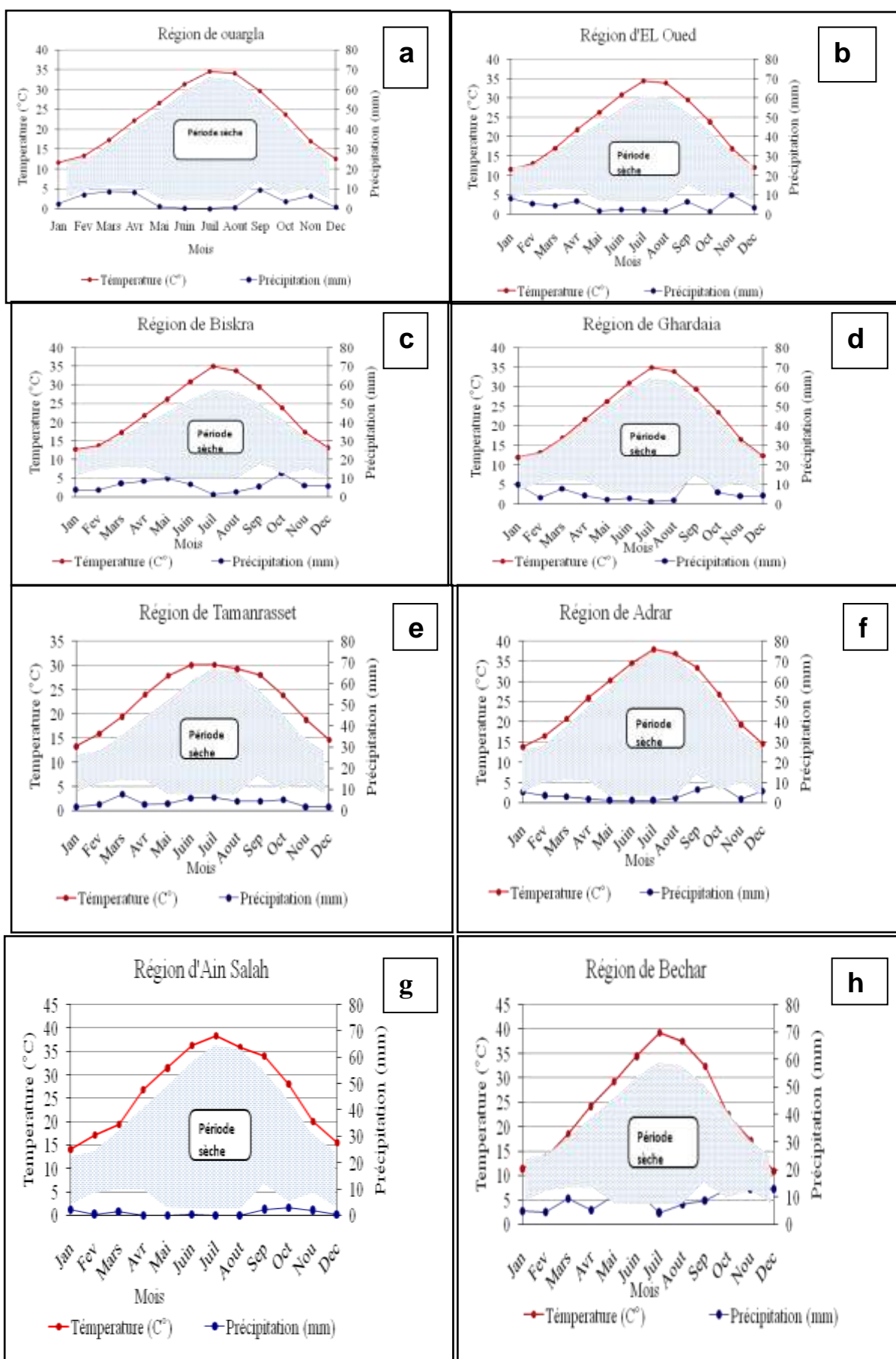


Figure N°07 : Diagramme ombrothermiques de Gausson et appliqué des huit régions d'étude.

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.

#### 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.

Le quotient pluviométrique d'Emberger calculé pour nos régions d'étude est de :

- ✓ 7,3 pour la région de Biskra
- ✓ 5,2 pour la région d'EL Oued
- ✓ 6,5 pour la région de Ghardaïa
- ✓ 3,3 pour la région d'Ouargla
- ✓ 4,9 pour la région de Tamanrasset
- ✓ 2,1 pour la région d'Ain Salah
- ✓ 8,93 pour la région de Bechar

D'après les valeurs de Q3 obtenus, nos régions d'étude appartiennent à l'étage bioclimatique Saharien.



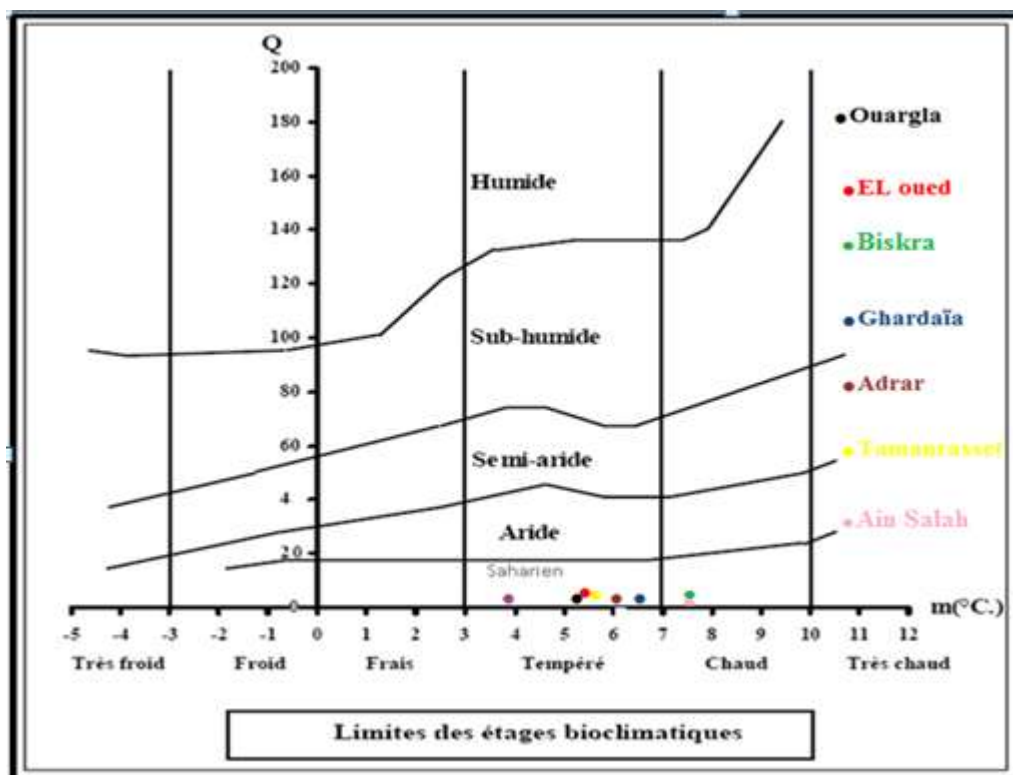


Figure N°08 : Position des 08 régions d'étude dans le climagramme d'Emberger.

#### IV.2.6.3.3. Indice d'aridité de DEMARTONNE

La formule de Martonne (1926) est la suivante :

$$Ia = 12 P / (T+10)$$

- I : Indice d'aridité.
- P: Précipitation moyenne mensuelle (mm).
- T: Température moyenne annuelle (C°).

Selon Demartonne (1926), si:

- $Ia \leq 5$  → Climat aride
- $5 < Ia < 7,5$  → Climat désertique
- $7,5 < Ia < 10$  → Climat steppique
- $10 < Ia < 20$  → Climat semi-aride
- $20 < Ia < 30$  → Climat tempéré

Les valeurs de l'indice d'aridité au niveau de nos régions d'étude sont mentionnées dans le

tableau N°07.

**Tableau N°06:** L'étage bioclimatique des huit régions d'étude selon l'indice d'aridité de DEMARTONNE

Région	Température C°			Précipitation moyenne Mensuelle (mm)	Ia	Etage biocli matiq ue
<b>Ouargla</b>	<b>31.1</b>	<b>16.3</b>	<b>23.7</b>	<b>36.8</b>	<b>1.08</b>	<b>Aride</b>
<b>EL Oued</b>	<b>29.5</b>	<b>15.8</b>	<b>22.7</b>	<b>55.3</b>	<b>1.68</b>	<b>Aride</b>
<b>Biskra</b>	<b>28.8</b>	<b>17.1</b>	<b>23.0</b>	<b>72.9</b>	<b>2.20</b>	<b>Aride</b>
<b>Ghardaïa</b>	<b>28,7</b>	<b>16,7</b>	<b>22,6</b>	<b>66,3</b>	<b>2.03</b>	<b>Aride</b>
<b>Tamanrasset</b>	<b>30,0</b>	<b>15,9</b>	<b>22,9</b>	<b>44,5</b>	<b>1.34</b>	<b>Aride</b>
<b>Adrar</b>	<b>34,0</b>	<b>18,0</b>	<b>26,0</b>	<b>42,8</b>	<b>1.18</b>	<b>Aride</b>
<b>Ain Salah</b>	<b>34,27</b>	<b>19,2</b>	<b>26,7</b>	<b>10,79</b>	<b>0.28</b>	<b>Aride</b>
<b>Bechar</b>	<b>41,35</b>	<b>16,8</b>	<b>24,35</b>	<b>109,8</b>	<b>3.19</b>	<b>Aride</b>

### IV.3.Méthodes d'analyses

Avant d'entamer cette partie de notre travail expérimental, il est à signaler que par problème de manque de produits et des appareils nécessaires au niveau de laboratoires de la faculté (SNV), on n'a pas pu réaliser une caractérisation complète de nos échantillons notamment, la caractérisation du SAR de la solution du sol et de l'eau d'irrigation. Ainsi, les analyses réalisées ont porté seulement sur la conductivité électrique et le pH.

La caractérisation physique et physico-chimique du sol et de l'eau d'irrigation ont été effectuées au niveau de laboratoire de bios ressources sahariennes (BRS).

#### IV.3.1. Méthodes d'analyses du sol

##### IV.3.1. 1. Techniques d'échantillonnage

Le sol étant hétérogène, il est indisponible de multiplier les prélèvements partiels, puis de les mélanger pour obtenir un échantillon représentatif du sol à analyser. Ainsi, des échantillons représentatifs obtenus par mélange de 10 prélèvements effectués au niveau de la couche arable du sol au niveau de chaque région (Figure N°09).



**EL Oued**



**Ghardaïa**



**Adrar**



**Tamanrasset**



**Ain Salh**



**Biskra**



Figure N°09 .Sites de prélèvement des échantillons du sol

### IV.3.1. 2. Méthode de mesure de la conductivité électrique

#### IV.3.1. 2.1. Conductivité électrique de l'extrait saturé

##### ➤ Principe de l'extrait saturé

Cette méthode cherche à se rapprocher, de façon standardisée, de ce qui se passe dans le sol en place. L'échantillon préalablement séché à l'air ambiant, est amené progressivement à saturation par malaxage avec de l'eau déminéralisée, c'est-à-dire à sa limite de liquidité (voir les limites d'Atterberg, C.Mathieu et F. Pieltain,1998).Après un repos de 24 h, on extrait le liquide du sol sur lequel on opéra la mesure. Cette méthode, mise au point par les chercheurs de l'U.S. Salinity Laboratory et mondialement reconnue est dite méthode (des extraits de pâte saturée).La conductivité électrique mesurée est notée en abrégé C<sub>Ee</sub> (**MATHIEU *et al.*, 2003**).

##### ➤ Manipulation

Une quantité de sol de 500 g tamisé à 2 mm est placé 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 pate 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.

#### **IV.3.1. 2.2. Conductivité électrique de l'extrait dilué**

##### **➤ 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<sub>1/5</sub>. 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 conductimétrique.
- 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 conductimétrique.
- 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 conductimétrique.

#### **IV.3.1.3. Méthode de mesure de pH**

Le pH d'un sol est la mesure de la concentration des ions H<sup>+</sup> à l'état dissocié dans la suspension du sol, le pH du sol est mesuré à l'aide d'un pH-mètre par la méthode potentiométrique dans un rapport 1/2.5.

### **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 ont été réalisés au niveau des points d'eau destinés à l'irrigation au niveau de chaque région.

**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

## V.I : Résultats

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

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

##### 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 huit régions d'étude sont présentés dans la figure N°10, 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 0.64 dS/m, alors que la plus élevée a été enregistrée au niveau du sol de la région de Bechar 14.22 dS/m (Figure N°10 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 0.75 dS/m , et la plus élevée a été enregistrée au niveau du sol de la région de Ain Salah 10.53 dS/m (Figure N°10 b).

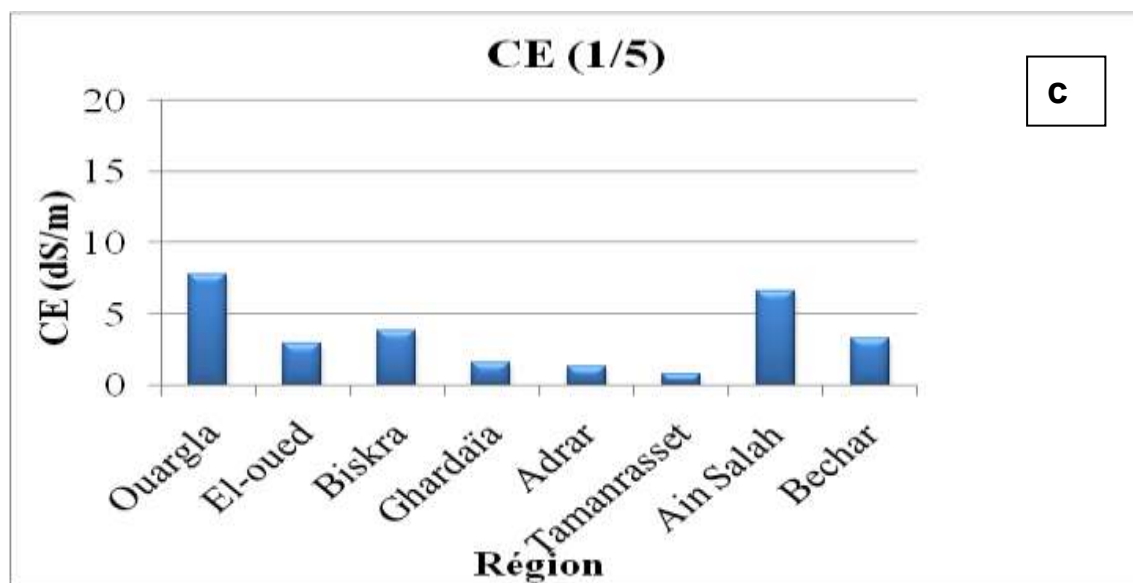
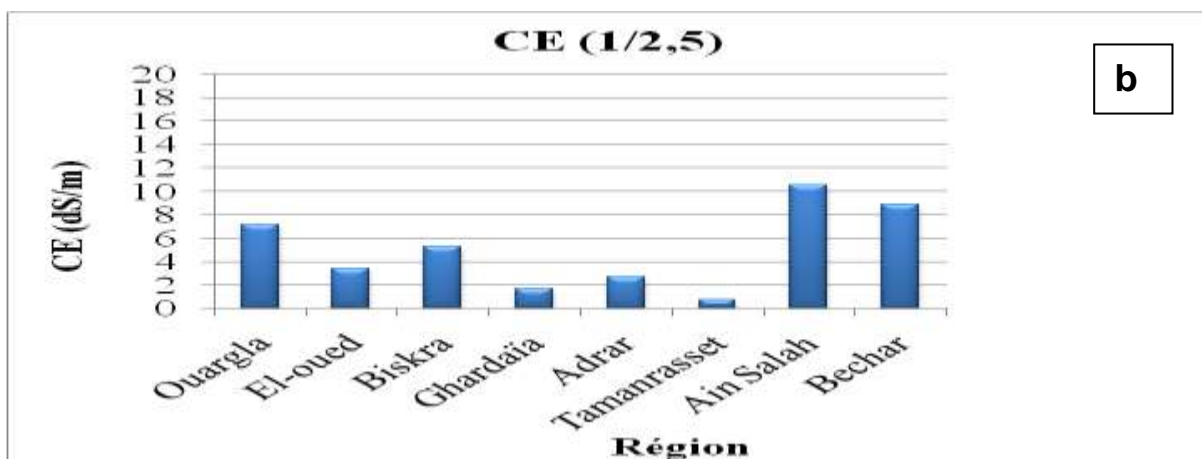
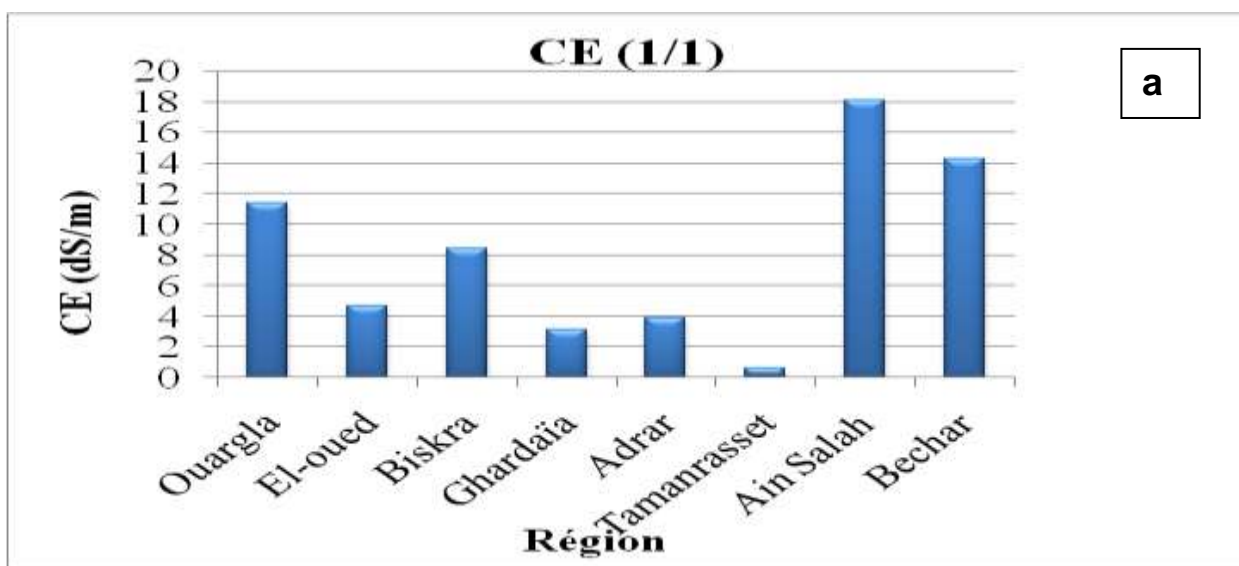
**Extrait 1/5 :** les résultats de mesure CE de l'extrait du sol (1/5) montrent que la conductivité électrique la plus faible a été enregistrée au niveau du sol de la région de Tamanrasset 0.77 dS/m et la plus élevée a été au niveau du sol de la région de Ouargla 7.74 dS/m (Figure N°10 c).

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 huit régions d'étude appartiennent aux classes suivantes :

**Tableau N°07.** 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
Ouargla	7.74	Sol extrêmement salé
EL Oued	2.88	Sol très salé
Biskra	3.83	Sol très salé
Ghardaïa	1.6	Sol salé
Adrar	1.31	Sol salé
Tamanrasset	0.77	Sol peu salé
Ain Salah	6.58	Sol extrêmement salé
Bechar	3.3	Sol très salé

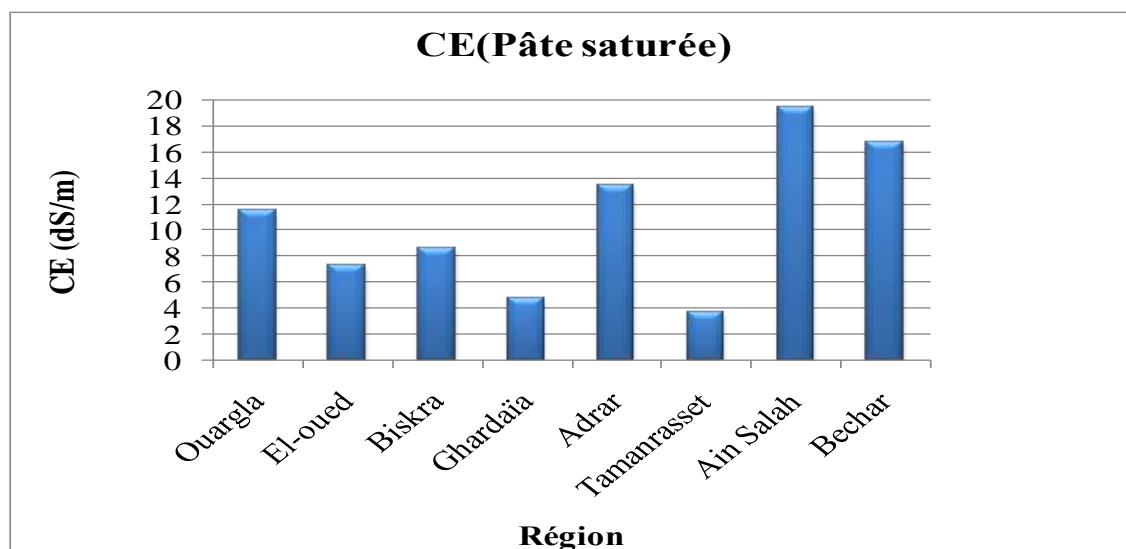




**Figure N°10 :** Valeurs moyennes de la conductivité électrique de l'extrait dilué du sol (1/1, 1/2,5, 1/5) au niveau des huit régions d'étude.

### V .I.1.1.2. Conductivité électrique de la pâte saturée du sol au niveau des huit régions d'étude

Les résultats de mesure de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol au niveau des huit régions d'étude sont présentés dans la figure N°11. Ces résultats montrent que la conductivité électrique la plus faible a été enregistrée au niveau du sol de la région de Tamanrasset (3.69 dS/m) et la plus élevée a été enregistrée au niveau du sol de la région d'Ain Salah (19.46 dS/m).



**Figure N°11 :** Valeurs moyennes de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol au niveau des huit 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 huit régions d'étude

Les valeurs comparatives entre la conductivité électrique de la pâte saturée et celles des extraits dilués au niveau des huit régions d'étude sont présentées dans les figures N°12, 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) (7.74 dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (11.47 dS/m).

Pour la région d'EL Oued, la conductivité enregistrée varie entre une valeur minimale enregistrée par le rapport (1/5) (2.88 dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (7.28 dS/m).

Les valeurs de la conductivité électrique dans la région Biskra varient entre une valeur minimale enregistrée par le rapport (1/5) (3.83dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (8.61dS/m) .

Quant à la région de Ghardaïa, les valeurs de la CE varient entre une valeur minimale enregistrée par le rapport (1/5) (1.6 dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (4.75 dS/m).

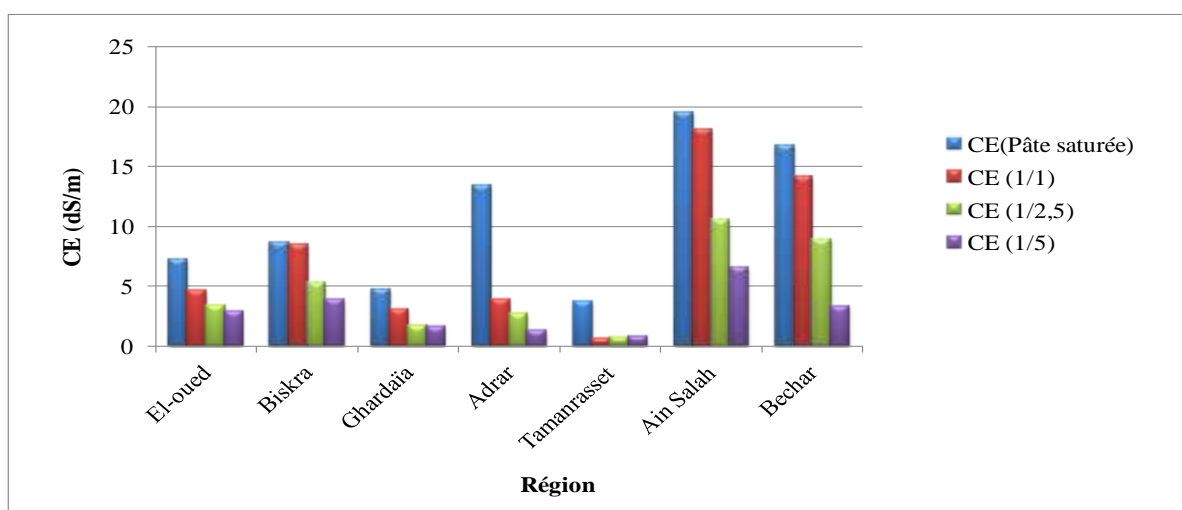
Pour les sols d'Adrar, la conductivité électrique varie entre une valeur minimale enregistrée dans rapporte (1/5) (1.31 dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (13.38 dS/m).

La conductivité électrique de Tamanrasset varie entre une valeur minimale enregistrée dans rapport (1/5) (0.77 dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (3.69 dS/m).

Les valeurs de la conductivité électrique de Ain Salah varie entre une valeur minimale enregistrée dans rapport (1/5) (6.58 dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (19.46 dS/m).

A Bechar, les résultats de la conductivité électrique varient entre une valeur minimale enregistrée par le rapport (1/5) (3.3 dS/m) et une valeur maximale enregistrée par l'extrait de la pâte saturée (16.69 dS/m).

La comparaison des huit 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 enregistrée par l'extrait du sol (1/5) dans la région de Tamanrasset



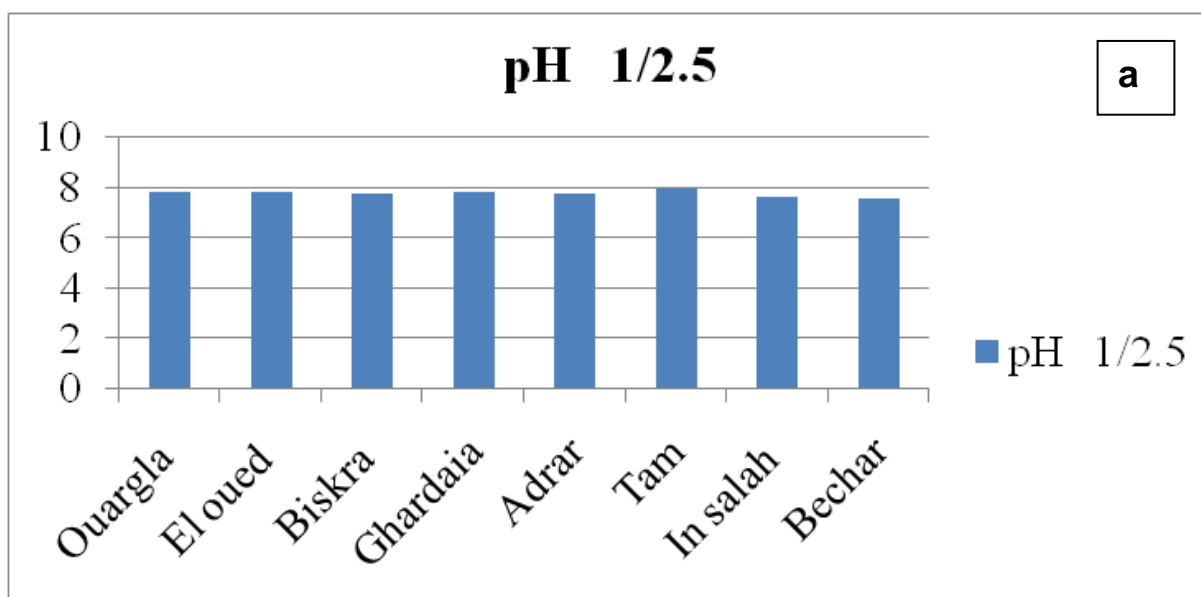
**Figure N°12 :** Valeurs comparatives entre la CE (dS/m) de la pâte saturée et des extraits dilués au niveau des huit régions d'étude.

#### V.I.1.1.4. pH du sol (extrait dilué (1/2,5 et 1/5) au niveau des huit régions d'étude

Les résultats de mesure de pH des extraits dilués (1/2.5 et 1/5) du sol au niveau des huit régions d'étude sont présentés dans la figure N°13 a,b .

Ces résultats montrent que le pH de l'extrait dilué (1/2.5) varie entre une valeur minimale enregistrée dans la région in Bechar (7.52) et une valeur maximale enregistrée dans la région de Tamanrasset (7.9). Les autres régions enregistrent des valeurs de pH de 7.55; 7.69 ; 7.74 et 7.8 respectivement pour la région de In Salah, Adrar, Biskra et (Ouargla, El Oued et Ghardaïa).

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 Bechar (7.6) et une valeur maximale enregistrée dans la région de Biskra 8.08. Les autres régions enregistrent des valeurs de pH de 7.61 ; 7.70 ; 7.81 ; 7.91 ; 7.95 et 8 respectivement pour la région EL Oued, In Salah, Tamanrasset, Ghardaïa, Ouargla et Adrar.

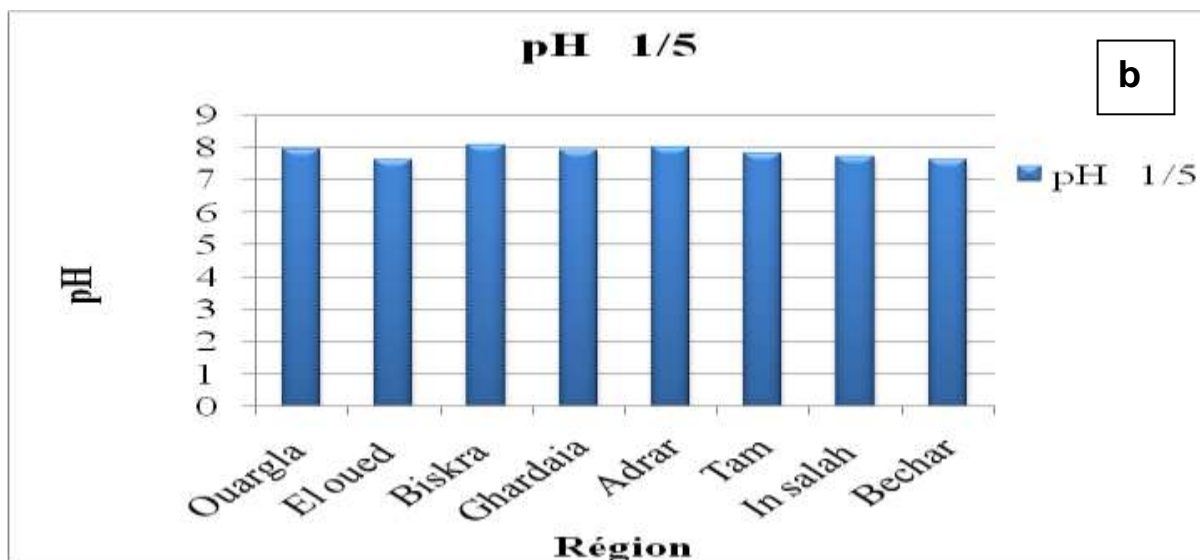


**Figure N°13 :** Valeurs moyennes de Ph 1/2.5 du sol au niveau des huit régions d'étude

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

**Tableau N°08 :** Classification de sol d'après l'échelle de pH de l'extrait (1/2.5) (CRAAQ, 2005), au niveau des huit régions d'étude.

Région	pH de l'extrait 1/2.5	Classe de sol
Ouargla	7.8	Sol faiblement alcalin
EL Oued	7.8	Sol faiblement alcalin
Biskra	7.74	Sol faiblement alcalin
Ghardaïa	7.8	Sol faiblement alcalin
Adrar	7.69	Sol faiblement alcalin
Tamanrasset	7.9	Sol Moyennement alcalin
Ain Salah	7.55	Sol faiblement alcalin
Bechar	7.52	Sol faiblement alcalin



**Figure N°13:** Valeurs moyenne de pH des extraits dilués (1/5) au niveau des huit régions d'étude

D'après l'échelle de classification de pH de sols (extrait 1/5) (SOLTNER, 1989) (Annexe N°04), le pH des sols des huit régions appartient aux classes suivantes :

**Tableau N°09** : Classification de sol d'après l'échelle de pH de l'extrait 1/5 (SOLTNER, 1989), au niveau des huit régions d'étude.

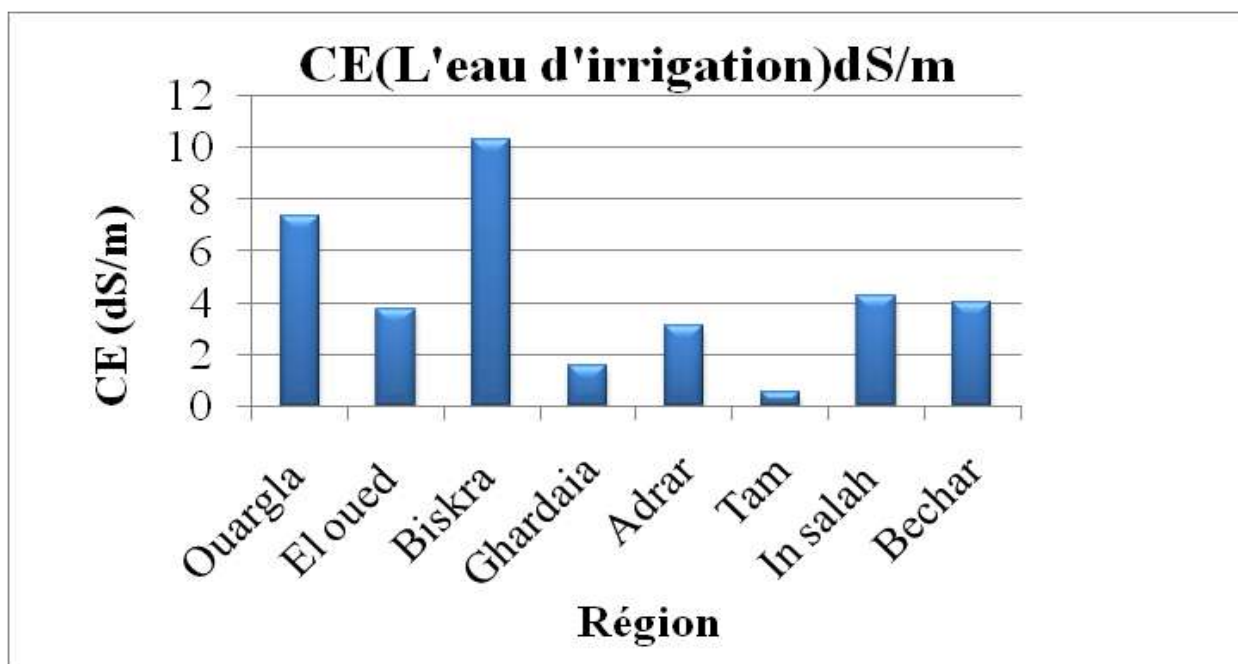
Région	pH de l'extrait 1/5	Classe de sol
<b>Ouargla</b>	<b>7.95</b>	Sol Alcalin
<b>EL Oued</b>	<b>7.61</b>	Sol Alcalin
<b>Biskra</b>	<b>8.08</b>	Sol très alcalin
<b>Ghardaïa</b>	<b>7.91</b>	Sol Alcalin
<b>Adrar</b>	<b>8</b>	Sol alcalin
<b>Tamanrasset</b>	<b>7.81</b>	Sol Alcalin
<b>Ain Salah</b>	<b>7.7</b>	Sol Alcalin
<b>Bechar</b>	<b>7.6</b>	Sol Alcalin

Le tableau VI présente les données relatives au pH de l'extrait de pâte saturée (pH ps). Les résultats indiquent que tous les échantillons sont basiques à très basiques avec des valeurs extrêmes qui se situent entre 7.52 et 8.08, sur le plan pédologique, représente un très grand écart.

### **V.I.2. Résultats de la conductivité électrique et de pH de l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude**

#### **V.I .2.1. Conductivité électrique de l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude**

Les résultats de la mesure de la conductivité électrique d'irrigation au niveau des huit régions d'étude sont illustrés dans la figure N°15. La conductivité électrique de l'eau d'irrigation variée entre une valeur minimale enregistrée dans l'eau d'irrigation de la région de Tamanrasset (0.56 dS/m) et une valeur maximale enregistrée dans l'eau d'irrigation de la région de Biskra (10.32 dS/m). Les autres régions enregistrent de valeurs de 1.54 ; 3.12 ; 3.77 ; 4.01 ; 4.23 et 7.33 dS/m) respectivement pour la région de Ghardaïa, Adrar, El Oued, Bechar, In Salah et Ouargla.



**Figure N°14 :** Valeurs moyenne de la conductivité électrique l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude.

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

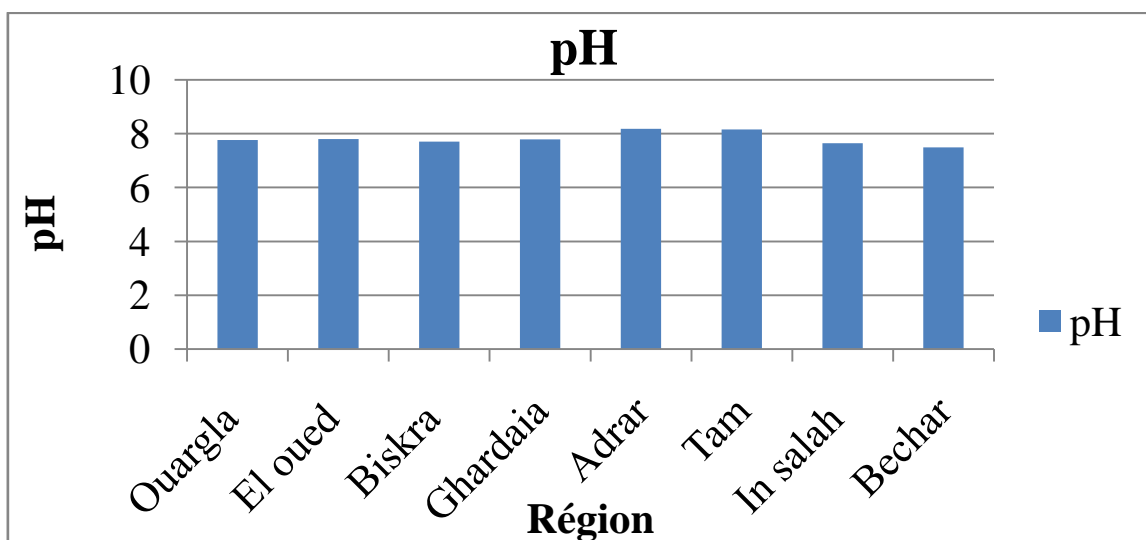
**Tableau N°10:** Classification de la conductivité de l'eau d'irrigation (Durand, 1958) au niveau des huit régions d'étude.

Région	CE de l'eau d'irrigation	Classe
<b>Ouargla</b>	<b>7.33</b>	salinité excessive.
<b>EL Oued</b>	<b>3.77</b>	Salinité excessive
<b>Biskra</b>	<b>10.32</b>	salinité excessive
<b>Ghardaïa</b>	<b>1.54</b>	forte salinité
<b>Adrar</b>	<b>3.12</b>	Salinité excessive
<b>Tamanrasset</b>	<b>0.56</b>	Salinité moyenne
<b>Ain Salah</b>	<b>4.23</b>	salinité excessive
<b>Bechar</b>	<b>4.01</b>	Salinité excessive

### V.I 2.2.pH de l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude

Les résultats de la mesure de pH de l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude sont illustrés dans la figure N°16. Le pH de l'eau d'irrigation varie entre valeur minimale enregistrée dans l'eau d'irrigation de la région de Bechar 7.49 et une valeur maximale 8.18

dans l'eau d'irrigation de la région d'Adrar. Les autres régions enregistrent des pH de 7.65 ; 7.7 ; 7.77 ; 7.79 ; 7.8 et 8.16 respectivement pour la région de In Salah, Biskra, Ouargla, Ghardaïa, El Oued et Tamanrasset.



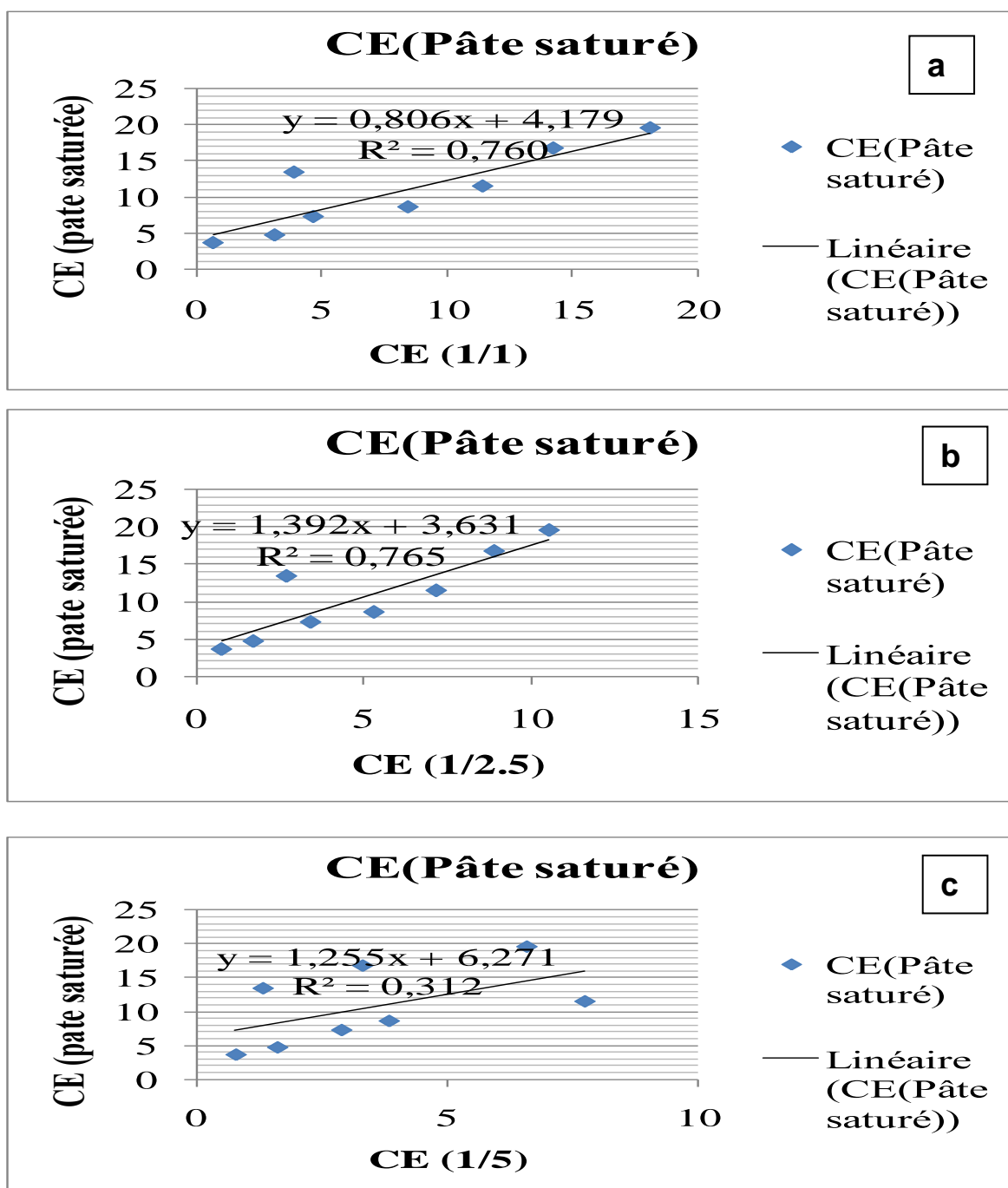
**Figure N°15** : Valeurs moyennes de pH de l'eau d'irrigation au niveau des huit régions d'étude.

### 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 huit régions d'étude est présentée dans la figure N° 18 (a, b, c). L'examen de la figure N° 18 montre que les valeurs de la CE des extraits dilués augmentent proportionnellement avec l'augmentation de la CE pâte saturée.

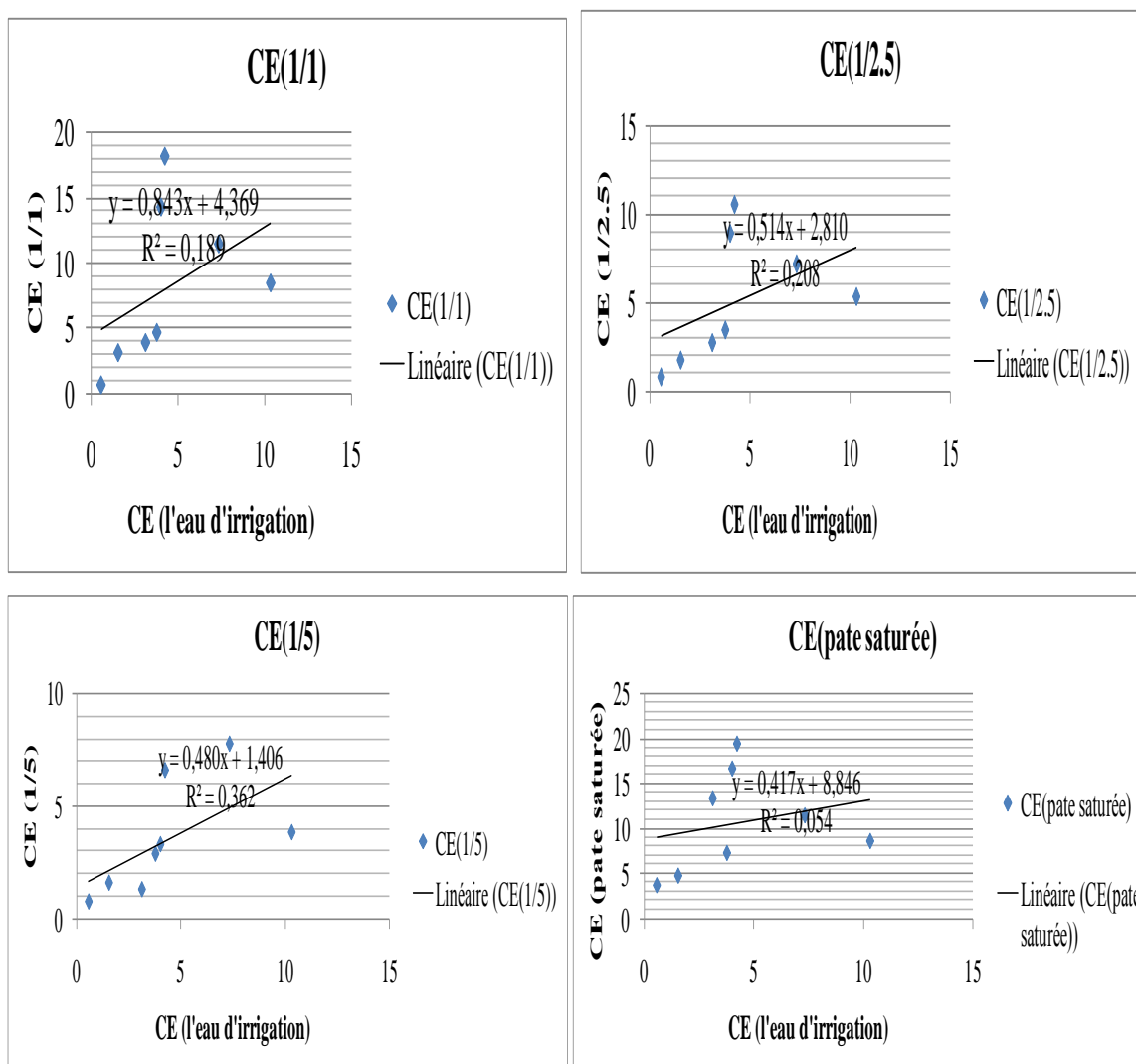




**Figure N°16 :** Corrélation entre la conductivité électrique des extraits dilués (1/1, 1/2.5, 1/5) et la conductivité électrique de la pâte saturée du sol.

### V.I.3.2. Corrélation entre la conductivité électrique des extraits dilués (pâte saturée 1/1, 1/2,5, 1/5) du sol et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation.

La conductivité électrique de la pâte saturée et les extraits augmente proportionnellement avec l'augmentation de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation. Ce qui nous permet d'estimer l'origine secondaire de la salinité au niveau de la plupart de nos régions d'étude, autrement dit que la salinité du sol est fortement liée à la salinité de l'eau d'irrigation.



**Figure N°17 :** Corrélation entre la conductivité électrique des extraits dilués (extrait saturé, 1/1, 1/2,5, 1/5) et extrait saturé du sol et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation.

## V.II. Discussion générale

La conductivité électrique mesurée (pâte saturée et extraits dilués) dans les sols des huit régions d'étude montre une certaine variabilité entre ces régions, toutefois, il est clair d'après les résultats obtenus 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 pâte saturée, est supérieure à 4 dS/m.

La forte salinité enregistrée dans les huit 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 huit régions appartiennent à l'étage bioclimatique saharien avec un indice d'aridité élevé.

La forte salinité du sol enregistrée notamment à Ain Salah, Bechar, Adrar, Ouargla peut être due à l'extension de l'agriculture irriguée, à la forte concentration des eaux souterraines en sels et probablement au recours à la ferti-irrigation dans ces régions.

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 permet de 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**).

Par ailleurs, les résultats obtenus de la conductivité de la pâte saturée sont dans l'ensemble faibles par rapport à ceux enregistrés par BELFAR et BOUBAAYA (2018). Cette différence peut être expliquée en dehors que leur étude a été menée sur un sol de sebkha (Sebkhet melloul), à la nature argileuse qui caractérise le sol au niveau cet endroit. En fait, l'argile ne favorise pas le lessivage des sels, il contraire augmente la rétention de eau dans la couche superficielle du sol.

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.

Heureusement que la l'importance de la salinité d'un sol s'apprécie beaucoup plus par le comportement des plantes, de sorte que les seuils limites peuvent être très différent selon la sensibilité des espèces végétales.

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**).

En effet, l'eau salée peut être mieux utilisée en texture grossière qu'en texture fine (**KAMALEDDIN, 1990**).

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 serres 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 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 des sols algériens cité par 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 saturé des sols et sols et celle l'eau d'irrigation au niveau des huit régions différentes dans le sud 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 (19.46 dS/m) , alors que la plus faible a été enregistré dans la région de Tamanrasset (0.77 dS/m).

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

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 ont bien montré l'origine secondaire de la salinité du sol au niveau de la plupart des régions étudiées, ce qui est liée notamment à la qualité trop minéralisée de l'eau utilisée pour l'irrigation dans ces régions.

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*

*Bibliographiques*

- **ANRH, Janvier 2005.** Inventaire des forages d'eau de la wilaya d'El-oued.
- **ANRH., 2002.** Les périmètres irrigués en Algérie
- **A.N.R.H Ghardaïa 2011.** Inventaire des forages en enquête sur les débits extraits de la nappe Albienne dans la wilaya de Ghardaïa.
- **ACHOUR M, 2003.** étude hydrogéologique de la nappe phréatique de la vallée de metlili (Ghardaïa) 36 P.
- **ARAGUES R., 1983.** The quality and availability of water use dinirrigation systems. In. Nutrient Balance sand the need for fertilizers in semiarid and arid regions. Proce edings IPI. Morocco, 315 – 323.
- **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.
- **AYERS R.S, WESTCOT D.W. (1985).** Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage paper 29.174P. Rome, Italy.
- **BAISE D, 2018.** guide des analyses courantes en pédologie.
- **BAIZE D, 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie, choix, expression, présentation, interprétation. INRA. Paris, 172 p.
- **BALLAH A, 2019.** Qualité des eaux d'irrigation dans la région d'Ain Salah (Sud, Algérie) P506.
- **BASSEL HADJ NADJIB, 2007.** Gestion optimale de l'utilisation de l'eau douce et salée pour l'irrigation du coton dans le bassin de l'Euphrate en zone semi-aride. P152.
- **BAZZINE M, 2017.** Les croutes biologiques des sols de la région de Ouargla (Algérie).P128.



- **BEKHEDDA R, 2017.**Diagnostic écologique et conservation d'Acacia Tortilis ssp Raddiana (savi) Brenan dans la région de Taghit (Wilaya de Bechar).P69 .
- **BEN HASSINE H., 2005.** Effets de la nappe phréatique sur la salinisation des sols de cinq périmètres irrigués en Tunisie. *Étude et Gestion des Sols*, Vol.12, pp 281-300.
- **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.
- **BOT A, NACHTERGAELE F ET YOUNG A, 2000.**Land resource potential and constraints at regional and country levels. *World soil resources rapport N° 90*.Rome: FAO of UN.
- **BOUALLA N., BENZIANE A., DERRICH Z., 2012.** Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'léta (bordure sud du bassin sebkha Oran). *Journal of Applied Biosciences*, vol. 53, pp 3787-3796.
- **BOULAINÉ J., 1974**Hydropédologie.ITA.121P
- **BOUYELDJA F, BEN OTHMAN D, BOUJELBEN N, OUALKACHA L, AISSATA DD, AITNOUH F, ACHAK M, MOKEDDAME L, BESSENASSE M, KETTAB A., 2000).**Caractéristiques hydrogéochimiques et qualité des eaux souterraines utilisés en irrigation en zone semi aride de l'Algérie.
- **CHEMSA Y, 2019.** Contribution à l'étude de évolution d'un sol sableux amélioré avec bio-charbon d'origine végétal dans la région d'El-oued.P99.
- **CHURCHMAN G.J., SKJEMSTAD J.O ET OADES J.M, 1993.** Influence of clay minerals and different water regimes. *Tree physiology* 24: 65-73.
- **CL.CHEVERRY ET M.ROBERT, 1998 .**La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau, 10p.
- **CLAVET R., 2003.**Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques.Tome 2.Ed.France.Agricole, 511 p.
- **DAHOU, 2014.**Etude des sols alluvionnaires d'Oued Metlili

- **DAOUD,y et HALITIM,A 1994.**Irrigation et salinisation au Sahara algérien .Sécheresse.5,3 ;151-160.
- **DUBOST, 2002.**Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algérienne. Ed, CRSTRA. Alger .423 p.
- **DURAND J.H., 1983.**Les sols irrigables, agences de coopération culturelle et technique. P.U. France, 190 P.
- **F.A.O, 2008.** Annuaire statistique de la FAO
- **FAO., 2006.** Conférence électronique sur la salinisation extension de la salinisation et stratégies de prévention et réhabilitation, organisée et coordonnée par le programme International pour la technologie et la recherché en irrigation et drainage. P12.
- **FARNHAM ET AL,** Waste water Reuse for golf course irrigation adapté de Westcot et Ayers, 1984.
- **FAURIE C., FERRA C. ET MEDORI P., 1980 - Ecologie.** Ed. Baillère, Paris, 168 p.
- **FEKRACHE F., 2015.** Contribution a l'étude de l'origine de la salinité des eaux du lac FETZARA-ANNABA(ALGERIE) P 272.
- GONZALEZ B.J.L., 1992.** Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride mexicaine: exemple dans la Comarcalagunera. Thèse doctorat, université Montpellier II,316P
- **HACHICHA, 2007.**les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie.50P
- **HADDAD A, 2011.** *Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la végétation spontanée de la région de Biskra. P113.*
- **HADJ MILLOUD S, 2010.** Morphologie et propriétés des Solonchaks références
- **HALITIM A, 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p
- **HALITIM, A. (2011).** Aridoculture et le développement durable. Algerian journal of arid environment 3 vol. 1, N° 1, Janvier: 3-9

- **HAMDY., 2004.**The use of Non-Conventional water resources ,CIHEAM,121p.
- **HAMMIA I, 2012.** Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies d'oued Righ. Mém. Ing. Agro, Université de Ouargla, p18
- **HANDBOOK NO.60.** USSL, Riverside, CA, USA.(anglais)
- **HARTANI T., 1999.** Analyses des facteurs de salinisation dans le périmètre du bas chellif. Séminaire Euro-Méditerranéen sur la maîtrise de l'irrigation et du drainage. Rabat, Maroc .27-29 Octobre 1997.MÉMOIRE abdlhafid youcef2010
- **HOPKINS., 2003, Physiologie Végétale,** Boeck, Bruxelles, 514p.  
Intercontinental. New york.
- **IRD, 2008.** Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles. 21p.
- **ISRAELSEN O.W,HANSENV.E., 1965**Traitépratiqedel'irrigation. Ed.
- **JAMES B.** Beard, Turf Management for golf Courses, 1982, Macmillan Publishing page 642.
- **JEMOUAL-LEMITI, 2008.**Etude de quelques groupements phytosociologiques du parc national de L'Hoggar (wilaya de Tamanrasset).
- **KEREN R, 2000.** *Salinity*. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY, USA,pp G3-G25.
- **KHACHEBA R., 2011.** Cartographie de la salinité du sol évaluée par induction électromagnétique « GéonicsEM38» Cas du sous bassin de Sidi Rached (Tipaza). Mém., Mag., ENSA., El-Harrach, 94 p.
- **KHADRAOUI A., 2005.**Sols et hydraulique agricole dans les oasis Algériennes.

- **KLOPPMANN W., BOURHANE A., ASFIRANE F., 2011.** Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau, BRGM, Orléans, 123p.
- **LAHALOU H., 2014.** Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le rendement des céréales (cas de l'orge ) dans la région de Hemadna à Rélizane .
- **LALLEMAND-BARRES A, 1980).**Aménagement des sols salés irrigation avec des eaux salés s.p42.
- **LANDREY J, 1614.**Hydrologie ou discours de l'eau. P12.
- **LEGROS J P., LA SALINISATION DES TERRES DANS LE MONDE,** conférence n°4069, Bull. n°40, Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Séance du lundi 22/06/2009, Pp. 257-269
- **LEVY G. L, MAMEDON A.I, GOLDSTEIN D., 2003** Sodicity and Water quality effects on slaking of aggregates from semi arid soils. Soil sciences168, 8, 552 – 561.
- **LOURCI A, LAOUFI B 2014).**Contribution à la valorisation d'une plante endémique de la région de Tamanrasset .P65.
- **MADJID N, TIAR K.,2012.**Memoire online géographie impact de la salinité due au traitement de sol 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.
- **MAILLARD J., 2001.**le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne risqueset recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34p.
- **MASMOUDI A, 2012.** Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban. P137.
- **MATHIEU ET AL, 2003.** Mathieu C., Pielatain., Jeanroy E., Marcovercchio F., Servain F., Scoucheyre H .Analyses chimiques des sols: méthodes choisis.

- **MEBROUKI I ET MOUKAR M, 2019).**Détermination de la conductivité électrique du sol par plusieurs rapports.
- **MERMOUD A,2006.** Cours de physique de sol : Maitrise de la salinité des sols.Ecole polytechniques fédérale de lausanne, 23p
- **MESSEDI D., SLAMA I., LAABIDI N., GHNAYA T., SAVOURE A., SOLTANI., ABDELLY C., (2006)-** Effect of nitrogen deficiency, salinity and drought on proline metabolism in *Sesuvium portulacastrum*. *Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants*. Pp.65-72
- **MICHEL C, CHRISTIAN W, JEAN C, JACQUES B, JEAN L ., 2011 .** Sols et environnement –cours, exercices et études de cas.
- **MICHEL ROBERT ., CLAUDE CHEVERRY , 1996) .**Les ressources mondiales en eau et en sol :une limitant pour l’avenir, 243-248 p.
- **MIMOUNE., 1995.** Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique d'Algérie (sud du chottEl Hodna). Thèse de Doc. Univ. D'Aix Marseille É. 204p.
- **Minhas, P. S., Ramos, T. B., Ben-Gal, A., & Pereira, L. S. (2020).** Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*, 227, 105832. doi:10.1016/j.agwat.2019.105832
- **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 *Vigna unguiculata L. (Walp.)*.P 133.

- **Naidu R, Sumner M.E et Rengasamy P,1993.** National conférence on sodic soils: summary and conclusions. *Australian Journal of Soil Research* 31, p 949–956.  
ORSTOM, Pédologie 24, 2,115 – 122.
  
- **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.
  
- **PARIDA A., DAS A. B. and DAS P., 2002 .** NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.*, 45: 28–36.
  
- PITMAN, M., LAUCHLI, A., 2002.** Global impacts of salinity and agricultural ecosystems. In: Lauchli, A., Lüttge, U. (Eds.), *Salinity: Environment–Plants–Molecules*. Kluwer Academics, pp. 3–20.
  
- **REGUIG HADJ LARROUSSI., 2007.** Contribution à l'étude de la relation sol-végétation dans la région sud de la zone humide de chott et Hodna. *mémoire de biologie msila*.
  
- **RHOADES, J.D., MANTEGHI, N.A., SHOUSE, P.J., ALVES, W.J., 1989.** Estimating soil salinity from saturated soil–paste electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 428–433(anglais)
  
- **ROUABHIA A.E.K., DJABRI L., 2010 .** L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'el ma el abiod. p65.
  
- **SAADOUNE, F 2016.** effets de l'amendement en gypse et en DS sur les caractéristiques physico-chimiques et hydriques d'un sol salé d'EL Hmadena (RELIZANE).
  
- **Soudi B., Lahlou M., Badraoui M., 2000.** Modélisation de l'évolution de la salinité et de l'alcalinité dans les sols irrigués. 150

- **SAIS Z et TOUATI A, 2017).** Etude hydro chimique des forages d'eau de Continental intercalaire d'In Salah destinés à l'AEP de la ville de Tamanrasset P 68.
- **Servant J.M, 1970.** Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols sales de la région méditerranéenne Française. Ann de l'I.N.A., El Harrach, Vol.VI.
- **TARENGA L ET AL, 2015).** La nappe alluviale une ressource vulnérable en zone aride Alluvial ground water a vulnérable ressource in aride zone. P15.
- **TERICHI S., 2014.**Etude de l'impacte de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation 74p.
- **TIATAOUI S, TIHAMI I, 2015.**Contribution à l'étude des sols de la région de (in-salah).64P.
- **TIR C, 2007 .**Genèse des sols à accumulation gypso-calcaire et salines dans la région de Ain Ben Noui-Biskra .P128.
- **UNESCO 1972.** Recherche et formation en matière d'irrigation avec les eaux salées. Tech. Rpt / UNESCO / UNDP. TUN5. 243p.  
Universitaire, Tunis, 163 p.
- **USDA, 1954.** Diagnoses and improvement of saline and alkali soils. Agric .
- **VALLES V, BOURGEATE, 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
- **WRI, 2002.** Drylands, people, and ecosystem goods and services: a web-based geospatial analysis.
- **ZIZA FZ, 2006.**Evolution de la salinité des sols irrigués dans une région saharienne .P121.

# *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**Tableau I.** Classes des sols affectés par les sels (USSSL, 1954)

Classes	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	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 :** la conductivité électrique de l'eau d'irrigation à 25°C.

Conductivité électrique (dS/m)	Concentration (g/l)	Evaluation américaine	Evaluation russe	Evaluation de DURAND pour l'Algérie
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)

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

**Tableau N° 05** : Classification des sols selon le PH de l'extrait aqueux au 1 /5 (SOLTNER, 1989)

<b>pH</b>	<b>Classes</b>
<b>5 à 5,5</b>	Très acide
<b>5,6 à 5,9</b>	Acide
<b>6 à 6,5</b>	Légèrement acide
<b>6,6 à 7,2</b>	Neutre
<b>7,3 à 8</b>	Alcalin
<b>8</b>	Très Alcalin

**Tableau N°06** : Caractérisation granulométrique du sol au niveau des huit régions d'étude (MEBROUKI ET MOUKAR, 2019).

Régions	Fraction<50um	Sable fin		Sable grossier		
		50-1000um	100-200um	200-500um	500-1000um	1000-2000um
<b>Ouargla</b>	2.60	14.30	41.90	35.10	1.00	5.10
<b>EL oued</b>	2.10	13.30	32.10	40.10	9.70	2.70
<b>Biskra</b>	5.28	16.82	20.74	20.51	26.77	9.87
<b>Ghardaïa</b>	0.80	10.10	59.80	26.30	1.90	1.00
<b>Tamanrasset</b>	3.10	15.50	50.40	26.30	3.30	1.30
<b>Adrar</b>	4.67	9.42	34.11	46.12	3.71	1.87



**Figure N°05 :** Filtration des solutions du sol



**Figure N°06 :** Mesure de la conductivité électrique



**Figure N° 07:** Préparation de la pâte saturée    **Figure N°08 :** Mesure de PH



**Figure N°09 :** La centrifugation