



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Sciences et Technologies*

Spécialité : *hydraulique urbain*

Par : *DJEMRAT Khadija*
KABA Saida

Thème

**Caractérisation de la salinité au niveau des périmètres irrigués par des
eaux saumâtres dans la zone Ouargla**
**Cas : Périmètres El-Wifak et Périmètre des Jeunes à la commune de
Hassi Ben Abdallah**

Soutenu publiquement le : 23/06/2018

Devant le jury :

NESSIL Hamid	MAB	Univ. Ghardaïa	Président
AMIEUR Rekia	NAA	Univ. Ghardaïa	Examineur
OULD BELKHIR Cheikh	MAA	Univ. Ghardaïa	Examineur
BOUTELLI MED Hicham	MAA	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2017/2018

DEDICACES

*En ce jour solennel qui clos le cycle de mes études, qu'il me
soit permis de dédier ce travail :
A Mes très chers parents à qui je dois toute ma réussite et à
qui*

*Je serai éternellement reconnaissante. Que DIEU puisse
leur accorder
Longue vie afin qu'ils puissent trouver en moi toute la
gratitude et l'attention voulue ;*

*A Mes très chères sœurs Souade, AMebarka, Zineb, Noura
el Houda à qui je dois tout Mon respect et ma
Reconnaissance;*

A Mes chères frères;

*A Mes très chères oncles; tantes
A me binôme KABA Saïda*

A toute ma famille;

A mon chérie Tati Idwal ben Abdellah

*A Tati
A toutes mes Amies*

A toute la promotion 2017/2018

A tous les étudiants de Tamenghasset.et de Ghardaïa

Khadija

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail:

*A ma mère ZOHRA qui ma soutenue et en
Courage tout le long de mes études.*

A mon père AHMED, qui trouve aussi l'expression

Mes frères Med Alamine et Med Yassin

Mes sœurs Fatma, Halima, Aicha

*A toute la famille de KABA, NEFFAD, LIASSAB,
DRIBAT et GIDAL*

A me binôme DJEMRAT Khadija

*A mes amies TOM. R, KHOUYA. R, BELLEMHERBET.
A, TAMAT. H, CHWIRAF. W, FILI. A et MOSAWI. F*

A mes amies I. H, BEN ABD. Y, D. I, M. ABD A et D. ABD

A tous mes cousin et cousine et

A mes oncles et tantes, spécialement

Mon tantes Hi, Fa, Ma et Ha

A tous les profs de départie science et technologie

A tous étudiants des Master 2018, spécialement

Etudiants HU et RH et mes amis surtout de willaya Tamanghasset

Je dédie mon mémoire de fin d'étude

Et à tous ceux qui m'ont fait vivre la joie et

Le bonheur et a tous ceux que j'aime et m'aiment.

Saida
Saida

Remerciements

Avant tout, nous remercier **Allah** tout puissant de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail.

Nous remercier tout particulièrement notre promoteur **Mr. BOUTTELJ Med Hichem** pour ces conseils son aide précieuse et sa compréhension durant l'élaboration de cette étude.

Je tiens également à remercier **TOUT LES PROUFE** pour avoir accepté la lourde charge d'évaluer ce mémoire et d'en être l'examinateur.

Nous remercions le chef d'hectare dans le **périmètre d'El wifaq à Hassi Ben Abdellah.**

Nous remercions le chef d'hectare dans **le périmètre d'n jaene à Hasi masoud.**

Mes remerciements vont également à l'ensemble des personnels des laboratoires d'Ouargla :

Elhadi A du ADE ; Ms Ben Tiabe Abdelhamid du bureau étude géotechniques et **Ms zidouri** de l'université Ouargla

Enfin, nous remercions toutes les personnes, qui nous aident de près ou de loin à la réalisation de ce travaille.

Sommaire

Dédicaces.....	I
Remerciements.....	II
Sommaire.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Liste du figures.....	V
Liste des photos.....	VI
Liste des abréviations.....	VII
Introduction général	1

I-cadre général de la région

Introduction.....	3
1. Présentation de la région d’Ouargla.....	3
2. Relief	4
3. Cadre naturel	5
3.1. Géologie.....	5
3.2. Géomorphologie.....	8
3.3. Couverture végétale.....	10
4. Climatologiques.....	11
4.1. Températures.....	12
4.2. Précipitations.....	12
4.3. Diagramme pluviothermique.....	13
4.4. Humidité de l’air.....	14
5.5. Evaporation.....	15
5.6. Vents.....	15
5. Hydrologie.....	16
6. Le contexte pédologique.....	16

6.1. Les sols de la région.....	16
6.2. Développement du profil.....	16
6.3. Texture et structure.....	17
6.4. Propriétés chimiques des sols.....	17
Conclusion.....	18

II-Synthèse Bibliographique sur les sols sales

Introduction	19
1. Sols salés et salinisation des sols	19
1.1. Définition de sols salés	19
1.2. Définition de la salinisation	19
1.3. Répartition des sols salés	20
1.4. Les sols dans la région d'Ouargla	21
1.5. Origine de la salinité dans les sols	21
1.6. Facteurs intervenant dans le processus de salinisation.....	22
1.7. Types de salinisation du sol.....	23
1.8. Paramètres de caractérisation des sols salés.....	25
1.9. Classification des sols salés	26
1.10. Effets négatifs potentiels sur le sol.....	27
1.11. Effet de la salinité sur les propriétés physiques et chimiques du sol.....	27
1.12. Effet de la salinité sur les plantes.....	28
1.13. Mise en valeur des sols salés	28
1.14. Restauration et aménagement des sols salins.....	29
1.15. Salinisation des eaux	30
1.16. Les cause de la salinisation	31
1.17. Problèmes de salinisation des terres irriguent.....	31
1.18. Etat de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole.....	34
2. Sels solubles.....	35

2.1. Principaux sels soluble.....	35.
2.2. Action des sels solubles sur le sol.....	36.
2.3. Paramètres influençant la solubilité des sels.....	37.
2.4. Mouvement de sels solubles dans le sol.....	39.
2.5. La salinisation des eaux souterraines	39.
2.6. Sources anthropiques de salinisation	42.
Conclusion.....	42.

III- Matériels et Méthodes

Introduction	43.
1. Présentation De La Zone D'étude	43.
1.1. Périmètre d'El Wifak	43.
1.2. Périmètre de jeune.	44.
2. Materials utilisés.....	44.
2.1. Réalisation des sondages.....	44.
2.2. Prélèvements.....	44.
2.3. Analyses physico-chimiques	45.
3. Méthodes d'études	45.
3.1. Sorties de prospection	46.
3.2. Caractérisation des sols	46.
- Echantillonnage du sol et de l'eau	46.
- La texture	47.
- L'humidité résiduelle des échantillons du sol	48.
- Analyses granulométrique	48.
- Extraction de la solution du sol	50.
- Dosage du calcaire	51.
- La conductivité électrique et le pH	52.
- Dosage des anions	52.

- Dosage des cations	56.
- Résidu sec	59.
Conclusion	60.

VI Résultats et Discussion

Introduction	62.
1. Résultats des mesures et des analyses.....	62.
1.1. Résultats des analyses du sol.....	62.
- Analyse granulométrique	62.
1.1.2. Analyse physicochimique	63.
1.2. Résultats des mesures et des analyses des eaux	67.
- Paramètres physiques	67.
- Electrolytes minéraux (au laboratoire).....	67.
Conclusion.....	69.
2. Interprétations et discussions des résultats.....	70.
2.1. Caractéristiques granulométriques du sol.....	70.
- Classes Granulométriques	70.
- Faciès granulométriques.....	71.
2.2. Classification des sols salés	73.
2.3. Teneurs en éléments majeurs en fonction de la profondeur	74.
2.4. Faciès géochimique du sol et de l'eau d'irrigation	75.
2.5. Diagramme de concentration	76.
2.6. Equilibre sels/solution et comportement des ions	76.

Conclusion.....	87.
Conclusion général.....	80
Références bibliographique.....	VIII
Annexes.....	IX
Résumé.....	X

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau II-1	Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008) (HAMMIA I, 2012).	20
Tableau II-2	Solubilité maximum des principaux sels dans l'eau en g/1000 cm ³ (Gaucher G et Burdin S, 1974) (BOUTELLI MED H, 2012).	38
Tableau III-1	localisation des sondages au niveau des périmètres	45
Tableau IV-1	Catégories granulométrique des sables du périmètre El-Wifak	62
Tableau IV-2	Catégories granulométrique du périmètre des Jeunes	62
Tableau IV-3	Paramètres physiques du sable pour les deux périmètres	62
Tableau IV-4	Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°W1	63
Tableau IV-5	Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°W2	63
Tableau IV-6	Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°W3	64
Tableau IV-7	Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°W4	64
Tableau IV-8	Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J1	64
Tableau IV-9	Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J2	65
Tableau IV-10	Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J3	65
Tableau IV-11	Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J4	65
Tableau IV-12	Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J5	66
Tableau IV-13	Paramètres physique mesurés dans les trois puits	67
Tableau IV-14	Paramètres chimiques mesurés dans les trois puits	67

Liste des figure

N°	Titre	Page
Figure I-1	Situation géographique la région d'Ouargla (BOUTELLI MED H.2012)	5
Figure I-2	Image d'occupation du sol de la cuvette d'Ouargla (GADDA NOUR-El-H, 2013)	6
Figure I-3	Carte géologique locale (BOUTELLI MED H.2012).	8
Figure I-4	Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette d'Ouargla (BOUTELLI MED H.2012)	10
Figure I-5	Les palmeraies de la vallée d'Ouargla (BOUTELLI MED H.2012).	11
Figure I-6	Variation de la température dans la période 2000-2016	12
Figure I-7	Variation de la précipitation dans la période 2000-2016	13
Figure I-8	Diagramme pluviothermique de la région d'Ouargla (2000-2016)	13
Figure I-9	Variations de l'humidité de l'air durant la période (2000-2016)	14
Figure I-10	Variations de l'évaporation pendant la période (2000-2016)	15
Figure I-11	Variations de la vitesse du vent durant la période 2000-2016	16
Figure II-1	Origine de la salinisation du sol (IPTRID, FAO, CISEAU, 2006). (HAMMIA I, 2012).	23
Figure II-2	Processus de dégradation de la qualité des sols et des eaux suite à l'irrigation (Lahlou et al, 2000). (Abdoul A GNING, 2015).	35
Figure II-3	Processus de dégradation de la qualité des sols et des eaux suite à l'irrigation (Lahlou et al, 2000). (Abdoul A GNING, 2015).	42
Figure II-4	Présentation schématique des principales voies de salinisation des sols (Marlet et Job, 2006). (Abdoul A GNING, 2015)	42
Figure IV-1	Proportions des classes granulométriques des sables au niveau des périmètres étudiés	73
Figure IV-2	Faciès granulométriques des sables au niveau du périmètre des jeunes	74
Figure IV-3	Faciès granulométriques des sables au niveau du périmètre El-Wifak	75
Figure IV-4	Classification des sols salés au niveau des périmètres	76
Figure IV-5	Variations des éléments majeurs dans les sols irrigués en fonction de la profondeur	77
Figure IV-6	Variations des éléments majeurs dans les sols non irrigués en fonction de la profondeur	78
Figure IV-7	Faciès géochimiques de l'eau d'irrigation et du sol par les rapports Mg^{2+}/Na^+ et SO_4^{2-}/Cl^-	79
Figure IV-8	Evolution des concentrations des éléments majeurs dans le sol en fonction du facteur de concentration	80
Figure IV-9	Evolution de l'indice de saturation des minéraux dans l'eau phréatique en fonction du facteur de concentration	81

Liste de photo

N°	Titre	Page
Photo III-1	Localisation de périmètre El-Wifak par apport la ville de Ouargla et la commune de Hassi Ben Abdallah	45
Photo III-2	Localisation de périmètre des jeunes par apport la ville d'Ouargla et la commune de Hassi Ben Abdallah	46
Photo III-3	La tarière	48
Photo III-4	Prélèvement d'échantillons de sols à la zone d'étude 2018	49
Photo III-5	Prélèvement d'échantillons de l'eau au niveau de forage albien 2018	49
Photo III-6	Mesure d'Humidité (labo bureau d'étude Ouargla 2018)	50
Photo III-7	les tamias (labo bureau d'étude Ouargla 2018)	51
Photo III-8	Agitation et filtration de l'extrait dilué 1/5	53
Photo III-9	mesure du calcaire (labo CRS Ouargla 2018)	54
Photo III-10	Photo du Spectrophotomètre DR 2800 (labo ADE Ouargla 2018)	56
Photo III-11	Méthode volumétrique de TAC et TA (labo ADE Ouargla 2018)	57
Photo III-12	Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY) (labo CRS Ouargla 2018)	59
Photo III-13	Méthode volumétrique de Calcium et Magnésium (labo ADE Ouargla 2018)	60

Liste d'abréviations

abréviations	Signification
ASAE	Norme de la society of engineering in agriculture, food and biological systems (ancien american society of agricultural engineers)
ASTM	American society for testing material
ANSI	Americain national stands institute
B.G	Bureau d'étude International
BS	British standards
Ca ²⁺	Calcium
CaCl ₂	Chlorure de calcium
CaSO ₄	Sulfates de Calcium
CaSO ₄ 2H ₂ O	Gypse
CE	Conductivité Electrique
CEC	la capacité d'échange cationique
Cl ⁻	Chlorure
CRS	Centre de recherches scientifiques
DIN	Deutsches institut fur norming
DFS	Delta du Fleuve Sénégal
D.P.A.T	la Direction de Planification et d'Aménagement de Territoires d'Ouargla
EN ou NE	Norme europeee
ESP	Le taux de sodium échangeable
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
HCO ³⁺	Bicarbonate
ISO	Organisation internationale de normalisation
KCl	Chlorure de potassium
K ₂ CO ₃	carbonate de potassium
K ₂ SO ₄	Sulfates de Potassium
Mg ²⁺	Magnésium
MgCl ₂	Chlorure de magnésium
Mg CO ₃	carbonate de magnésium
MgSO ₄	Sulfate de Magnésium
Na ⁺	Sodium
NaCl	Chlorure de sodium
Na CO ₃	carbonate de sodium
Na ₂ SO ₄	Sulfate de Sodium
Na CO ₃	carbonate de sodium
O.N.M	l'Office National de la Météorologie
pH	Potentiel d'hydrogène
SAR	Sodium Absorption Ratio
SO ₄ ²⁺	Sulfate
TDS	Total dissolved Solids



Introduction

général

INTRODUCTION GENERALE

Le Sahara est connue par l'aridité de son climat et les terres arides et hyperarides qui représentent 84 % de la superficie de l'Algérie. La partie septentrionale de son territoire recèle d'importantes ressources en eau souterraines emmagasinées dans les deux grands aquifères, principalement le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal.

L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation de sodium sur le milieu adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des plantes. L'intensité du processus de salinisation dépend des caractéristiques du sol que l'on veut irriguer, de la qualité des eaux utilisées, des conditions de leur emploi et en particulier l'efficacité du système de drainage. Cependant, ces pratiques d'irrigation ont engendré la modification du fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation.

En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité. Région d'Ouargla se caractérise par un climat aride très sévère, avec une rareté pluviométrique et une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui commence à prendre de l'ampleur. La sécheresse et l'inexistence des eaux de surface ont obligé les agriculteurs à utiliser les eaux souterraines comme source unique d'irrigation. Ces dernières sont de qualité médiocre et leur utilisation peut avoir des conséquences néfastes sur la qualité des sols (GADDA, 2013).

Les objectifs fixés dans le cadre de ce travail de recherche est d'évaluer la qualité des eaux souterraines utilisées dans l'irrigation et les risques éventuels de la dégradation des sols dans notre région par la salinité au sein des constituants de l'écosystème oasien, principalement les éléments sol et eau, et de traiter la dynamique des sels dans le milieu hydro-édaphique.

Nos travaux de recherches ont été menés dans les périmètres agricoles d'El-Wifak et des Jeunes, située à la commune de Hassi Ben Abdallah à la wilaya d'Ouargla. Ces périmètres implantés sur une superficie de 180 ha avec un nombre de 85 concessionnaires.

Le mémoire proposé s'articule autour de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous nous présentons les généralités de notre région d'étude. Ce chapitre permet également l'intégration des données qui concernent la cuvette de Ouargla, relatives à : le cadre naturel, les données climatiques, l'hydrologie et l'hydrogéologie, enfin le contexte pédologique.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le deuxième chapitre, nous proposons de présenter une synthèse bibliographique que nous avons réalisée, relative à la salinité et la salinisation des terres et la compréhension de ses mécanismes, les principaux sels solubles et leurs mouvements dans le sol, les eaux d'irrigation et leurs pratiques.

Le troisième chapitre fait une présentation sur le matériel utilisé pour l'implantation des sondages, des piézomètres et les prélèvements des échantillons. Ce chapitre donne aussi un aperçu sur les techniques de mesures et d'analyses de nos échantillons.

Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats et les discussions obtenues pour chaque sondage.

Le tout complété par une conclusion générale qui intègre l'essentiel des résultats obtenus dans le cadre de cette recherche.

Chapitre-I

*Cadre général de la
région*

Introduction

La présentation de la région d'Ouargla est mise en évidence, notamment la situation géographique, les particularités des sols, les caractéristiques climatiques et leur synthèse de cette région.

I.1. Présentation de la région d'Ouargla

La région d'Ouargla se trouve au Sud-est algérien au fond d'une cuvette très large de l'Oued M'YA, à environ 800 Km de la capitale Alger. Selon la Direction de Planification et d'Aménagement de Territoires de Ouargla (D.P.A.T, 2008) Au Nord par les wilayas de Djelfa et d'El Oued, au Sud par les wilayas de Tamanrasset et d'Illizi, à l'Est par la Tunisie, à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa. Selon le même auteur, celle-ci se situe au fond d'une cuvette de la basse vallée de l'Oued May. Cette vallée fossile est bordée au Nord par le seuil de Bour El Haïcha. Au Sud, elle est limitée par des palmiers éparpillés qui sont les témoins d'anciennes plantations. (BOUTELLI MED H.2012).

Ses coordonnées géographiques de la ville sont les suivantes:

-Altitude: 164 m

-Latitude: 28°34 nord

-Longitude: 6°19 est

Elle compte actuellement 21 communes regroupées en 10 Daïras et les Trois principales agglomérations sont: Ouargla ; Touggourt et Hassi Messaoud.

I.2. Relief

La carte topographique d’Ouargla montre que l’altitude atteint 147m pour descendre à 102m à une distance de 45 Km dans la Sebkhet Safioune où est prévue l’évacuation des rejets des eaux de la ville d’Ouargla (figure I-1). Les altitudes sont de 135,08 m en ville et 127,95 m au niveau du chott et de la Sebkha) (BOUTELLI MED H.2012)

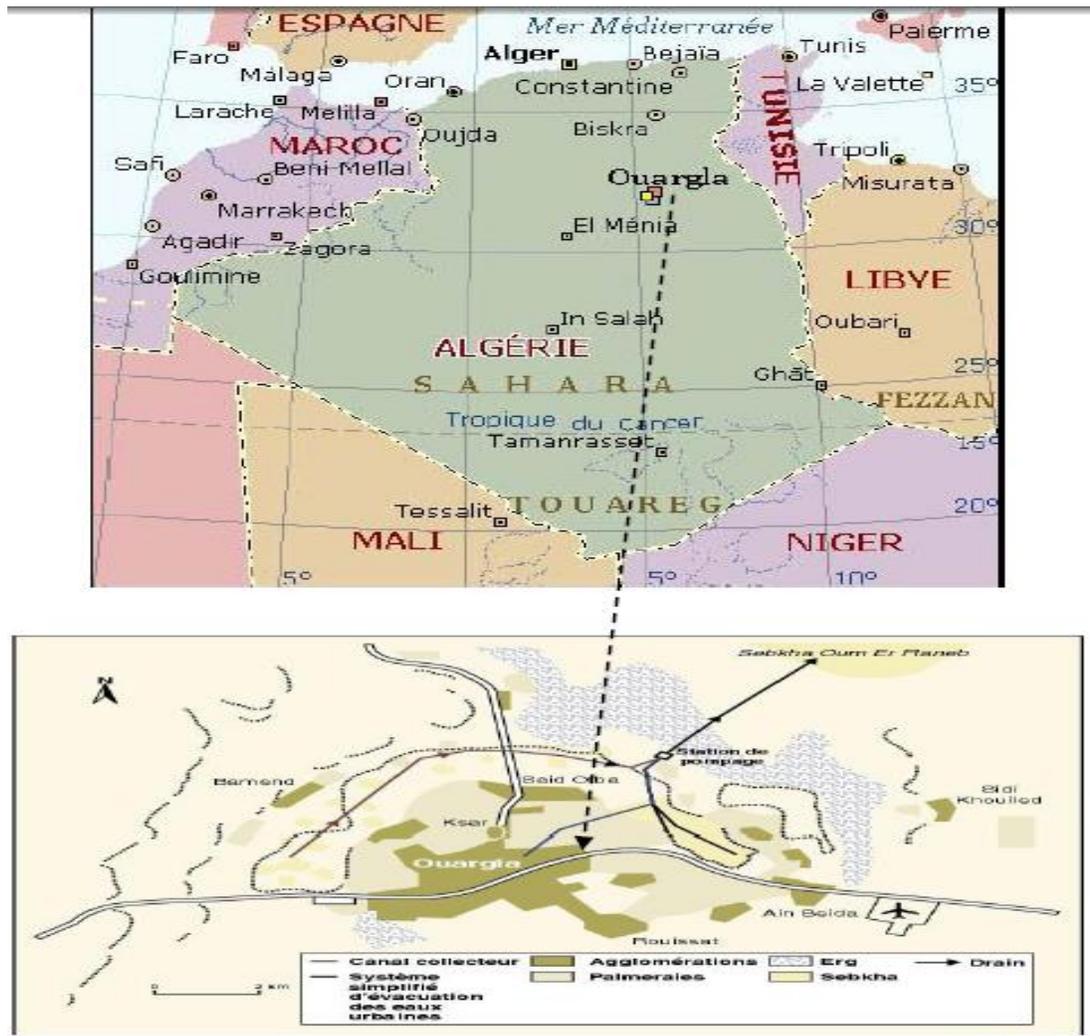


Figure I-1: Situation géographique la région d'Ouargla (BOUTELLI MED H.2012)

I.3. Cadre naturel

I.3.1. Géologie

La vallée d’Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s’agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l’on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest.

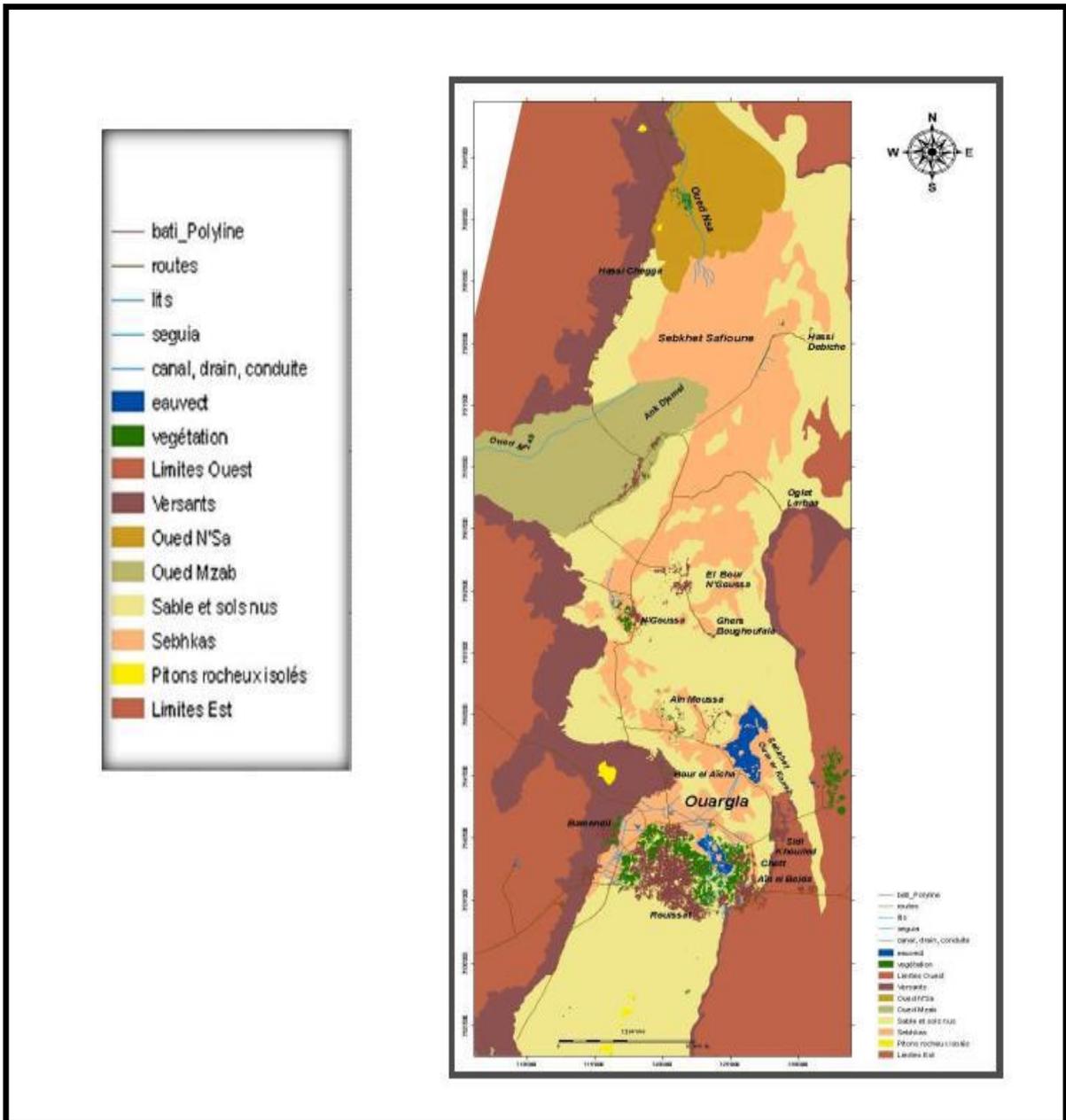


Figure I-2: Image d'occupation du sol de la cuvette d’Ouargla (GADDA NOUR-EL-H, 2013)

Au-dessous du fond de la vallée, les puits et les sondages ont mis en évidence, sous quelques mètres de sable :(BOUTELLI MED H.2012)

- une alternance de niveaux formés de calcaires, de calcaires marneux, de sables argileux et de grès tendres se terminant à la base par des argiles sableuses vers 30 à 45 m de profondeur.
- des sables fins et gros se terminant par des argiles sableuses à leur base vers 55 m à 80 m.
- les calcaires du Sénonien (jusque vers 250 m)
- un épais horizon d'argiles à évaporites (jusque vers 650 à 700 m)
- une centaine de mètres d'évaporites massives
- des argiles à évaporites plastiques, jusque vers 1050 – 1100 m de profondeur
- des sables et grès de l'Albien se trouvant entre 1050 – 1100 m et 1350 - 1400m de profondeur.

Après son creusement, la vallée d'Ouargla a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique, craies, calcédoine et évaporites. Un niveau charbonneux a été daté de – 17'000 ans. (BOUTELLI MED H.2012)

Des oueds, descendant de la dorsale mzabite à l'Ouest (oueds M'Zab) ou du Tademaït (oued M'Ya) au Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes (Ank Djamel pour l'oued M'Zab) ou barrant la vallée (oueds N'Sa et Z'gag au Nord de la Sebkhet Safioune) (BOUTELLI MED H.2012).

Avec la fin du dernier grand pluvial, le lac s'est retiré. L'oued M'ya n'a pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de la Sebkhet Safioune (un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse) (BOUTELLI MED H.2012).

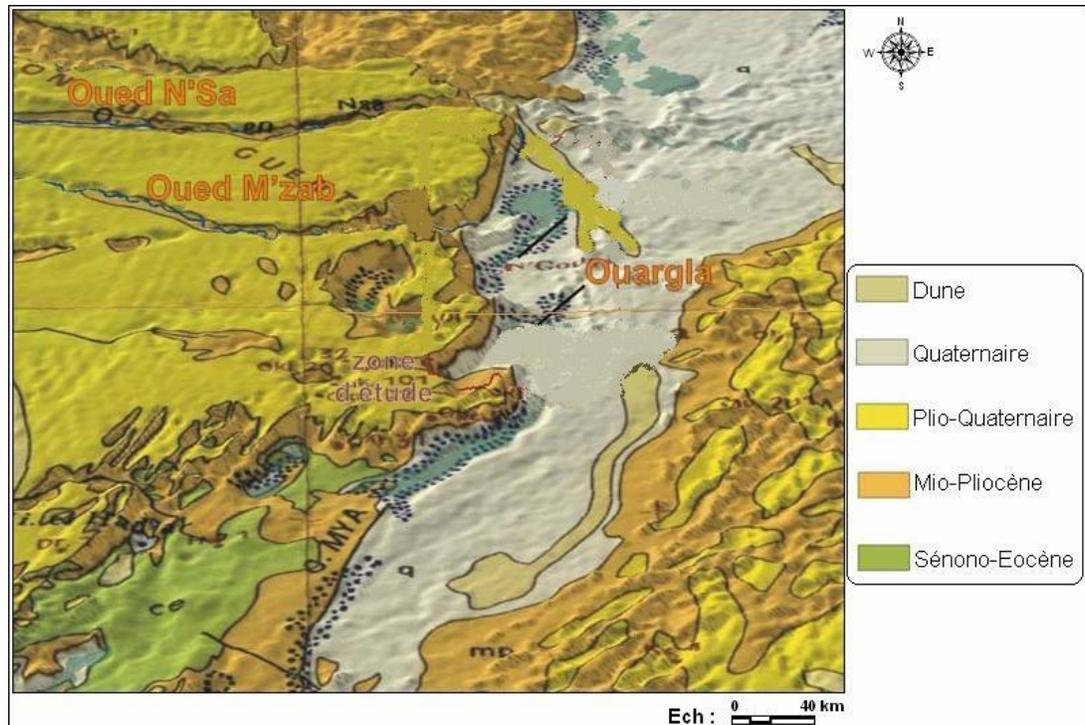


Figure I-3 : Carte géologique locale (BOUTELLI MED H.2012).

D'après la carte géologique réalisée par BG. Bosson, le relief d'Ouargla est constitué de roche sédimentaires et alluvions et colluvions dérivées de ces roches :

Marne jaunâtres, plus ou moins gréseuses, salées ou gypseuses ;

- Calcaires ocre, gréseux ou marneux ;
- Argiles sableuses rouges à ocres salées et gypseuses ;
- Grés, sables et conglomérates ;
- Calcaires lacustres ;
- Sables recants du quaternaires.

I.3.2.Géomorphologie

La cuvette d'Ouargla occupe une superficie d'environ 1000 Km² dans la basse vallée de l'Oued M'ya qui s'étend sur une soixantaine de kilomètres du sud vers le nord.

Cette cuvette correspond à la basse vallée fossile datant du quaternaire de l'oued M'ya qui descend en pente douce (1%) du plateau de tadmaït et se termine à 20 kilomètres au nord de Ouargla.

D'ouest en est on distingue :(BOUTELLI MED H.2012)

- Le plateau de la Hamada pliocène, à l'ouest d'Ouargla, s'abaisse légèrement d'ouest en est. Il est à 220 m au-dessus de la vallée. À l'est, il est fortement érodé, laissant dans le paysage une série de buttes témoins ou Goure.
- Les glacis, sur le versant Ouest de la cuvette, s'étagent du plus ancien au plus récent, d'ouest en est sur quatre niveaux de 200 m à 140 m. Les glacis de 180 m et de 160 m, très visibles, se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène. La pente de ce dernier, souvent recouverte de sables et de graviers, est faible. L'Est de la cuvette d'Ouargla est un vaste glacis alluvial à sable grossier, de 150 m d'altitude.
- Le chott et la sebkha constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspond à la bordure de la sebkha est constitué de sable siliceux et/ou gypseux et de sols gypseux à croûte gypseuse de surface et de su surface. Le bas-fond se caractérise par la présence d'une nappe phréatique permanente, très peu profonde (1 à 5 m) dans le chott, qui affleure en surface au centre de la sebkha. En aval d'Ouargla, en direction SSE-NNO, diverses sebkhas alternent avec les massifs dunaires jusqu'à la sebkha Safioune (103 m NGA).
- Les dunes, formations éoliennes récentes en petit cordons, d'environ 150 m d'altitude, occupent l'Est et le Nord-Est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'oued Mya.

Le sous-sol de la ville de Ouargla est formé de sables dunaires reposant sur des alluvions de l'oued avec localement des formations gréseuses indurées.

Par endroits de formations de dépôts datant du quaternaire composé des ergs et des dunes.

Dans la région d'Ouargla, seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, recouverts

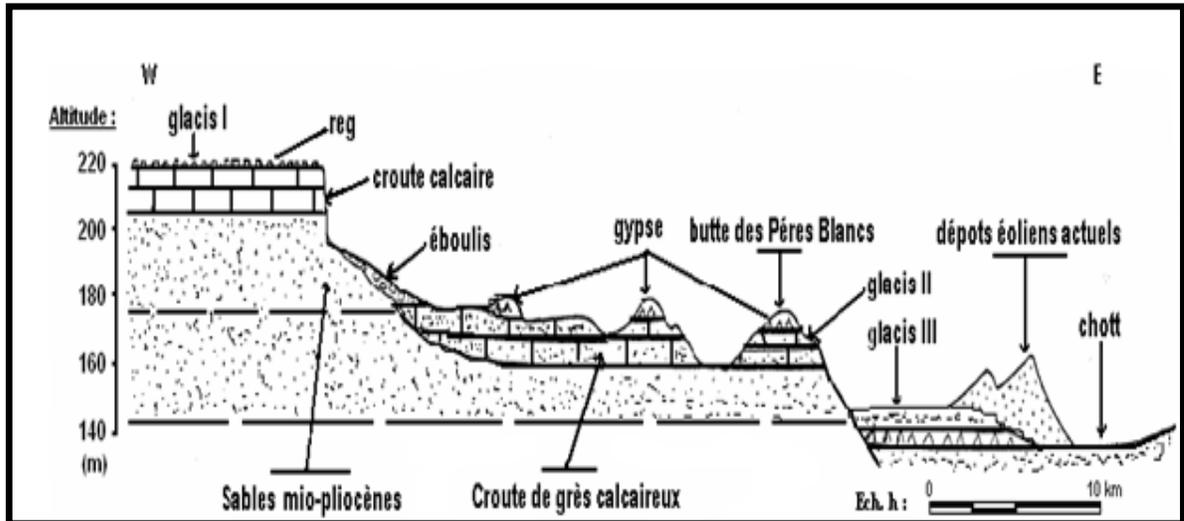


Figure I-4: Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette d'Ouargla (BOUTELLI MED H.2012)

I.3.3. Couverture végétale

La végétation naturelle est plutôt due au fait de la nature des sols et leur structure ainsi que le climat. Elle est plus ou moins présente suivant les régions. Ainsi, une végétation arbustive à acacias est rencontrée notamment dans les lits d'Oued, les vallées et les alentours des Guelte (BOUTELLI MED H.2012).

Selon le service des statistiques de la direction des services agricoles; l'évolution des surfaces agronomiques est comme suite : La surface agronomique totale de la wilaya est de 4877393 ha ; la surface réellement utilisée est de 29839,5 ha ; et jusqu'à l'année 2005 la surface agronomique irriguée est de 17955.5 ha, avec un débit total d'irrigation de 49.7 hm³/an (BOUTELLI MED H.2012).

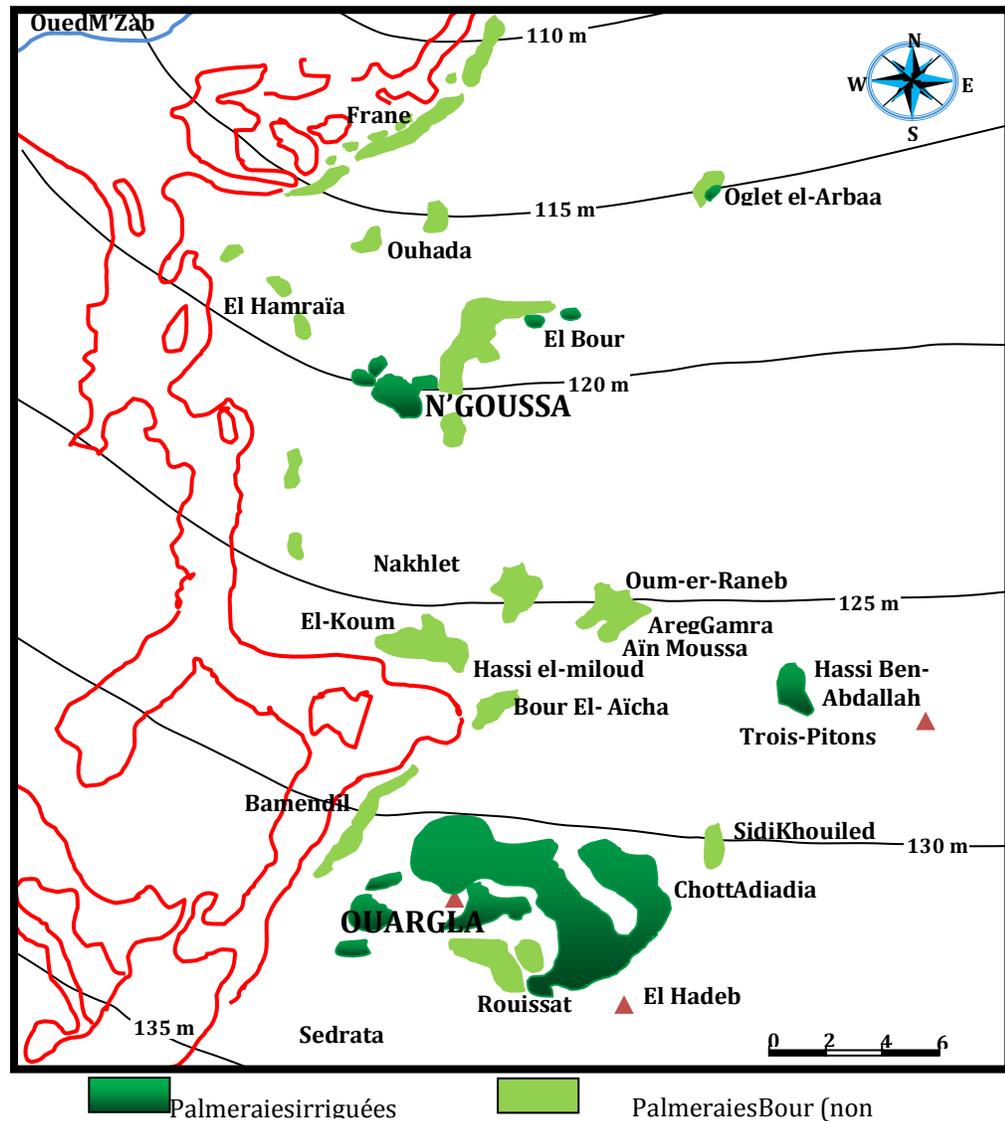


Figure I-5: Les palmeraies de la vallée d’Ouargla (BOUTELLI MED H.2012).

I.4. Climatologiques

Le climat de la vallée d’Ouargla est un climat désertique chaud de type saharien, caractérisé par des précipitations très peu abondantes et irrégulières, par des températures élevées accusant des amplitudes journalières et annuelles importantes et par une faible humidité relative de l’air

I.4.1. Températures

Dans cette région l'hiver est trop froid, et comportant d'importants risques de gelée et pendant l'été le climat est trop chaud. La région de Ouargla est caractérisée par des températures très élevées, la température moyenne annuelle est de 35.66°C, avec 42.80°C en juillet pour le mois le plus chaud et 43.92°C en janvier pour le mois le plus froid, avec des extrêmes de Max=43.92°C en juillet et Min = 4.48°C en janvier (O.N.M, 2016).

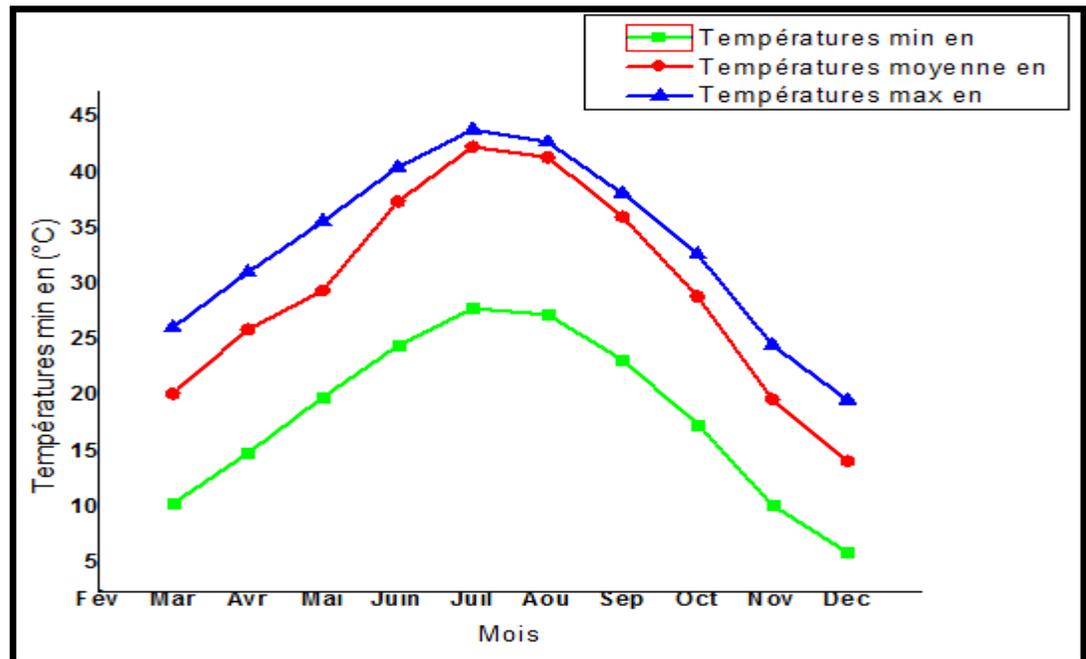


Figure I-6: Variation de la température dans la période 2000-2016

I.4.2. Précipitations

Pour l'ensemble de la vallée, la pluviométrie est très rare, la moyenne annuelle est légèrement supérieure à 65.1mm pour un nombre de jour de pluie de 97 jours. Ces pluies sont de type orageux caractérisées par une forte intensité engendrant ainsi d'impotentes crues qui ne persistent que quelques minutes (O.N.M, 2016).

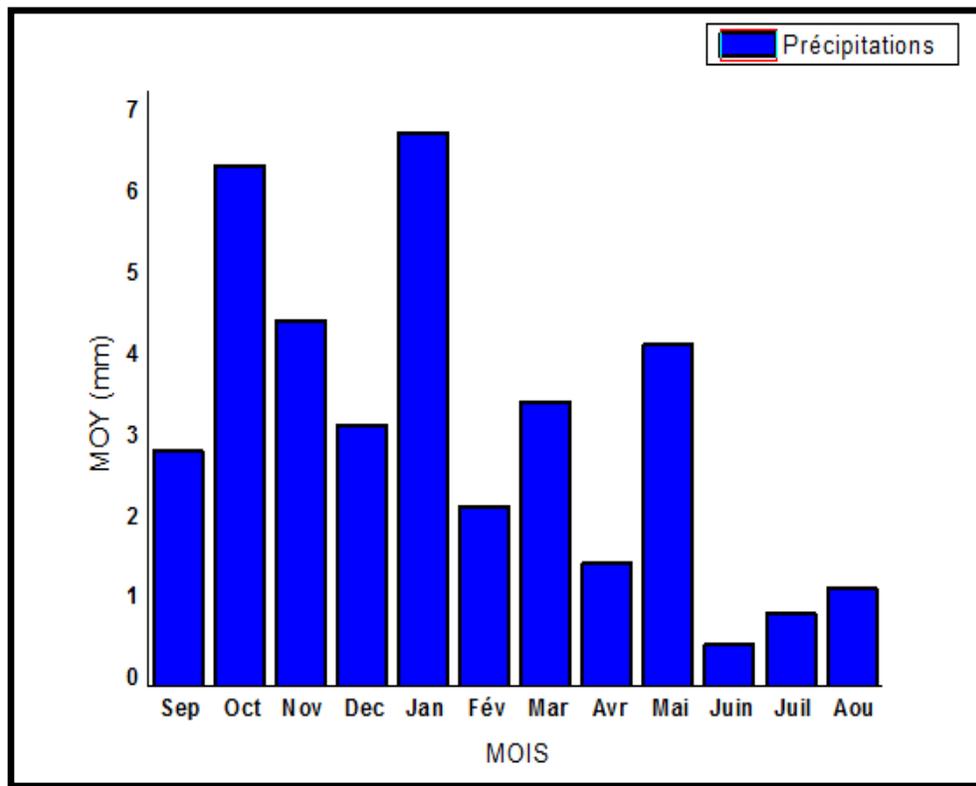


Figure I-7: Variation de la précipitation dans la période 2000-2016

I.4.3. Diagramme pluviothermique

GAUSEN considère que le mois sec est celui où la pluviométrie est inférieure ou égale à deux fois la température. Le diagramme Ombrothermique permet de mettre en évidence les périodes humides et les périodes sèches dans la région étudiée.

D'après le diagramme Ombrothermique pour la vallée d'Ouargla la période sèche s'étale sur toute l'année.

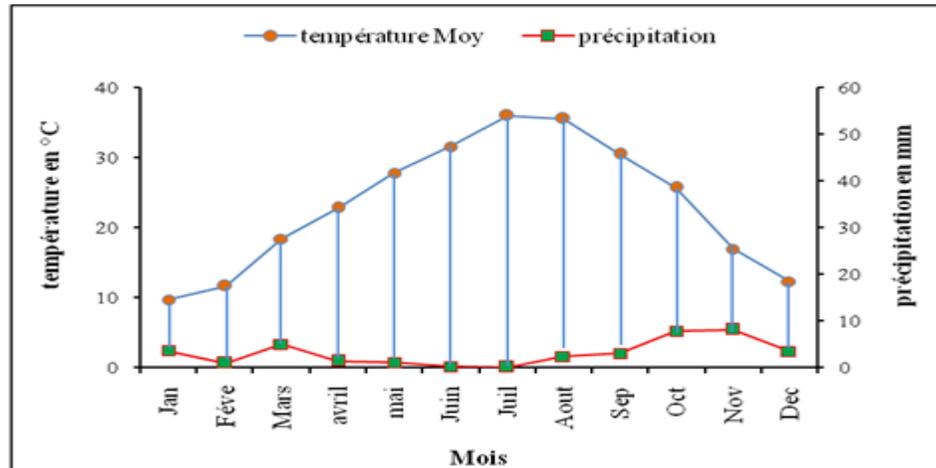


Figure I-8: Diagramme pluviothermique de la région d’Ouargla (2000-2016)

I.4.4.Humidité de l’air

L'humidité relative au Sahara est faible, souvent inférieure à 20% ce n'est qu'exceptionnellement que l'on observe des valeurs plus fortes, tandis qu'au Sahara septentrional, elle est généralement comprise entre 20 et 30% pendant l'été et s'élève à 50% et 60% parfois davantage en janvier. Pour la région d’Ouargla, l’humidité relative de l'air est très faible. Elle varie entre 30% et 87%, sur la période d’observation. La moyenne de l'humidité la plus élevée est enregistrée au mois de décembre, avec 87% et le taux le plus faible est au mois de juillet, avec 30%, et une moyenne annuelle de 50.16%, (O.N.M, 2016).

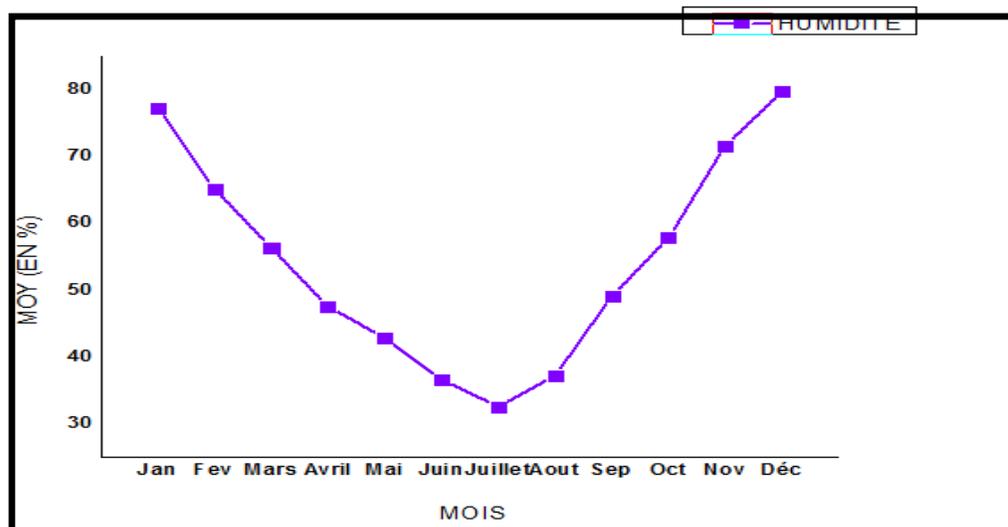


Figure I-9 : Variations de l’humidité de l’air durant la période 2000-2016

I.4.5. Evaporation

L'évaporation dans la vallée de Ouargla est très élevée, elle est en moyenne de 473,1 mm au mois de Août et de 85,3 mm au mois de Décembre, soit 293,475 mm moyenne annuelle, elle est très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines (O.N.M, 2016).

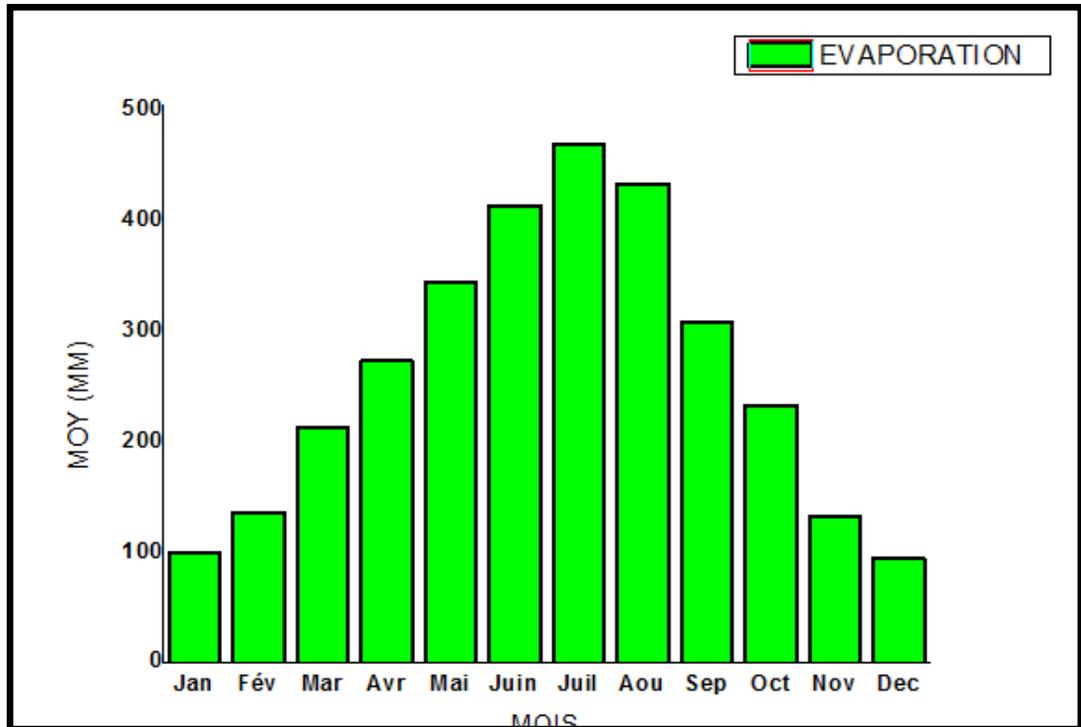


Figure I-10 : Variations de l'évaporation pendant la période (2000-2016)

I.4.6. Vents

Dans la région d'Ouargla les vents soufflent du Nord-est et Sud. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest tandis qu'au Printemps les vents du Nord-est et de l'Ouest dominant en été ils soufflent du Nord-est et en automne du Nord-est et Sud-ouest. D'après les données de l'O.N.M, dans la période d'observation (2000 – 2016) les vitesses de vents assez importants sur toute la période estivale (Avril – Juillet) avec un des valeurs maximales entre le mois du Mai et Juin (44 et 38 m/s) (O.N.M, 2016).

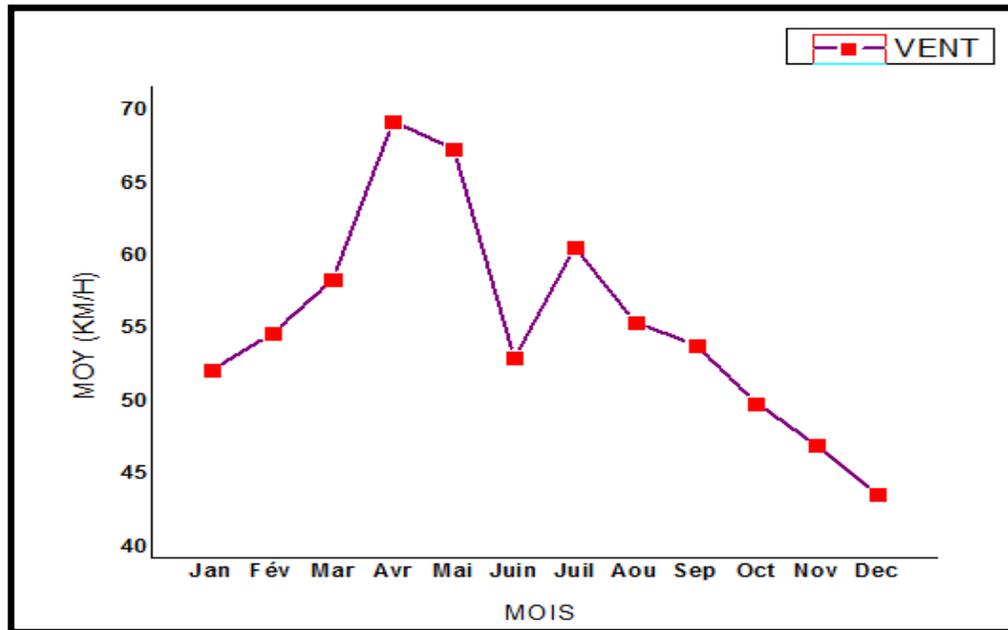


Figure I-11: Variations de la vitesse du vent durant la période 2000-2016.

I.5. Hydrologie

Les grands réseaux hydrographiques de la région d'étude sont Oued M'Ya et oued M'Zab et Oued N'sa qui draine leur eau vers la cuvette de Ouargla et par conséquence pose des problèmes de la remonté des eaux superficielle. La coupe schématique représente la répartition verticale des eaux souterraines (BOUTELLI MED H.2012).

C'est l'aquifère phréatique qui pose problème, car sa surface piézométrique remonte et étouffe l'appareil végétal des palmiers, ce qui entraîne leur dépérissement (diminution progressive de rendement, puis la mort).

I.6. Le contexte pédologique

I.6.1. Les sols de la région

Du point de vue pédologique, la cuvette de Ouargla se caractérise par des sols, sont la majorité se regroupent dans les classes pédologiques des sols peu évolués d'apport alluvial et éolien avec des caractères de salinité et action de nappe et les classes des sols halomorphes et hydro_morphes (BOUTELLI MED H.2012).

La région est caractérisée par des sols légers, à prédominance sableuse et à structure particulière. Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un PH alcalin, une activité biologique faible, une forte salinité et une bonne aération (BOUTELLI MED H.2012).

I.6.2. Texture et structure

Ces sols d'origine éolienne ont généralement une texture sableuse ou sablo-limoneuse. La structure est particulière, parfois stratification de ces dépôts éoliens, n'est pas toujours nette, elle est surtout visible en surface par des alternances de lits de sable grossier et de sable fin. Leur capacité et faible, leur couleur est brun-rougeâtre, brun clair ou beige. En profondeur l'accumulation de gypse se présente différemment soit par une grande qualité en petit cristaux (forme fibreuse, roses de nombreuses tache (diffuses ou en mycélium) ou amas de gypse pulvérulent (BOUTELLI MED H.2012).

I.6.3. Propriétés chimiques des sols

Les études indiquent que : (BOUTELLI MED H.2012).

- La majorité des sols sont salés ou très salés, mais il n'y a pas d'alcalinisation du complexe absorbant.
- Le type de salure est sulfaté calcique jusqu'à 6 mm/cm, chloruré – sodique au-delà.
- Les ions sont représentés par les chlorures et les sulfates. Les teneurs en bicarbonates sont toujours faibles. Les tenures en carbonate sont nulls.
- Les cations sont représentés par le sodium. Le calcium se trouve sous forme de gypse ; il est donc peu soluble. Les tenures en potassium sont toujours faible.
- Le pH est légèrement alcalin et varie entre 7.5 et 8.5.
- Les teneurs en matière organique sont très faibles et provient
- essentiellement de la fumure appliquée dans la palmeraie.

Conclusion

L'étude du climat de la région d'Ouargla, a été faite sur une période de 16 ans (2000-2016), les paramètres utilisés pour cette étude proviennent des données recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) d'Ouargla.

La région d'Ouargla possède une aridité bien exprimée caractérisée par des précipitations rares et irrégulières et une sécheresse permanente. L'amplitude thermique est importante entre le jour et la nuit et entre l'été.

Chapitre-II

*Synthèse
Bibliographique sur
les sols sales*

Introduction

Les sols salés sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents (Szabolcs, 1989). Ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologie (eau marine). Les processus de formation des sols salés sont associés à la redistribution des sels dans les paysages 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 favorisée sous les climats où les processus évaporatoires dominent (Bresler et al, 1982 ; Chabra, 1996). Les grandes dépressions endoréiques (chott, sebkha, takyr, playa ou salas) ou les bordures maritimes (marais côtiers, vasières) forment des sites naturels. (MICHEL-CLAUDE.G, CHRISTIAN.W, JEAN-CLAUDE.R, JACQUES.R, JEAN-LOUIS.M, DUNOD, PARIS, 2005, 2011).

II.1. Sols salés et salinisation des sols**II.1.1. Définition de sols salés**

Les sols salés appelés aussi sols halomorphes caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles, plus solubles que le gypse dans l'ensemble ou dans une partie du profil, ou par la dégradation de la structure de l'un de leurs horizons ou de tous les horizons sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels en particulier le sodium (BENMOUAFKI DJ, 2011).

II.1.2. Définition de la salinisation

La salinisation, une autre forme de désertification, est un phénomène commun dans les régions semi-arides. Elle se manifeste quand le sodium présent dans les solonetz, des sols salins noirs, remonte avec l'eau par capillarité et remplace le calcium. Cette efflorescence des sels entraîne la formation de carbonate de sodium, ce qui alcalinise le sol (DOUCET, ROGER, 2006).

Quand le pH dépasse la valeur 10, l'argile s'accumule dans un horizon compact en raison de la dispersion des agrégats d'argile ; la structure de l'humus est alors détruite. De plus, une irrigation minimale des solonetz favorise ce phénomène ; au contraire, un apport excessif d'eau est nécessaire pour la seule croissance des cultures. En effet, un bon drainage est essentiel, car il faut lessiver les sels pour éviter leur accumulation en surface du sol. C'est dès les débuts de la mise en culture des sols dans ces régions sensibles qu'il faut voir à un

équilibre entre les entrées et les sorties des sels, par un contrôle de l'irrigation et du drainage. Malheureusement, l'eau dans ces régions est rare et couteuse (DOUCET, ROGER, 2006).

II.1.3. Repartition des sols salés

a. Salinité dans le monde

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent un grand problème pour l'agriculture. La surface affectée par la salinité dans le monde est évalué à 954,8 millions d'hectare, soit 23 % des terres cultivées (FAO, 2008). Le tableau suivant présente la superficie affectée par la salinité dans le monde:

Tableau II-1 : Superficie affectée par la salinité dans le monde (HAMMIA I, 2012).

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

b. Salinité en Algérie

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (Durand, 1958). Les sols salins sont très répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (BOUTELLI Med H, 2012).

Les sols salés d'Algérie sont caractérisés en général par une conductivité électrique supérieure à 7 dS/m et un pourcentage de sodium échangeable qui varie de 5 à 60 % de la C.E.C (BOUTELLI Med H, 2012).

II.1.4. Les sols dans la région d'Ouargla

La particularité des sols du Sahara est leur régime hydrique du type aride. La couverture pédologique présente une grande hétérogénéité et se compose de classes suivantes : (BENMOUAFKI DJ, 2011).

Sols minéraux bruts, sols peu évolués sols halomorphes et sols hydro-morphes.

Ouargla est une région caractérisée par des sols légers à prédominance sableuse et à structure particulière. Ils sont caractérisés également par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une faible activité biologique et une bonne aération (BENMOUAFKI DJ, 2011).

Les sols de la cuvette d'Ouargla sont caractérisés par l'excès d'eau et des sels liés à la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol. Le caractère de salinité des sols peut varier d'une façon quantitative et qualitative surtout en présence d'un plan d'eau, la salinité des sols. Elle peut atteindre (50 dS/m) en surface et décroître brusquement ou progressivement avec la profondeur. Cette concentration de sels dans les horizons de surface s'explique par la remontée capillaire de la nappe phréatique salée, la manifestation la plus apparente est celle des néoformations d'efflorescence blanchâtres et parfois de croûtes à la surface du sol (BENMOUAFKI DJ, 2011).

Ce phénomène d'amorphisme dans les milieux saturés en eau connu par ces fluctuations à grandes amplitudes confirme la relation très étroite entre la nappe phréatique le sol, la salinité et l'évaporation. Dans la cuvette de Ouargla ce qui aggrave et encore plus le problème de salinité des sols c'est l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation avec un drainage défectueux (BENMOUAFKI DJ, 2011).

II.1.5. Origine de la salinité dans les sols

L'origine des sels solubles dans les sols est très variée. L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, qui donnent des sels souvent solubles. En régions arides ceux-ci se concentrent sur place ou dans les dépressions et zones basses du paysage. Parfois en zone endoréique, ils peuvent être apportés par les rivières qui viennent s'y jeter, provenant de régions bien plus humides. L'origine des sels peut aussi se

trouver dans les dépôts lagunaires ou des matériaux salés plus ou moins récents (BENMOUAFKI DJ, 2011).

Le vent peut causer l'apparition de phénomènes de salure sur des sols qui étaient indemnes, en y déposant les éléments salés et les cristaux de sels formés à la surface de sols très salés. (BELKHODJA et BOULAINÉ, in AUBERT, 1976), que les sels solubles soient ainsi mis en place à la surface du sol, dans son matériau d'origine, dans la nappe phréatique peu profonde ou dans la nappe artésienne sous-jacente, ils sont rapidement remis en mouvement dans l'ensemble du profil par remontée de la nappe ou par phénomènes de capillarité favorisés par l'évaporation directe ou par l'intermédiaire de la végétation. (BENMOUAFKI DJ, 2011).

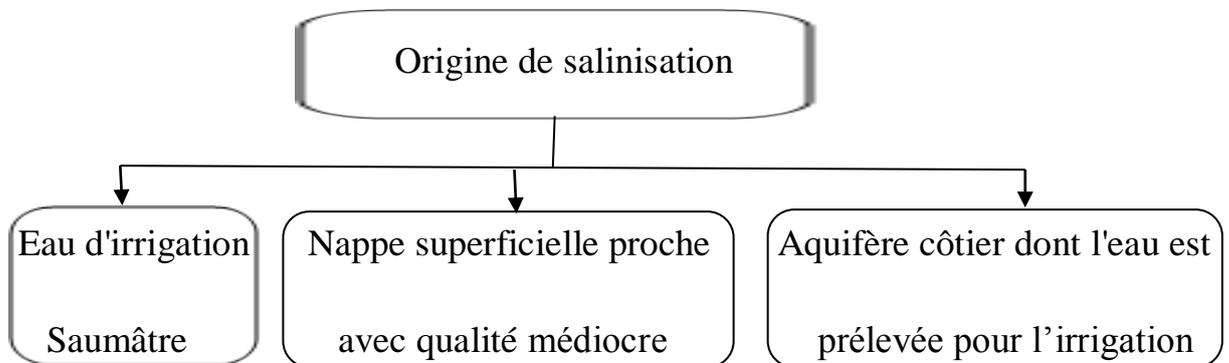


Figure II-1 : Origine de la salinisation du sol (HAMMIA I, 2012).

II.1.6. Facteurs intervenant dans le processus de salinisation

La salinisation est le processus par lequel les sels solubles s'accumulent dans le sol et elle a été identifiée comme un processus majeur de la dégradation des terres. Les causes techniques les plus importantes à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres irrigués, particulièrement dans les zones arides et semi-arides. Il est estimé, à partir de diverses données disponibles que : Le monde perd au moins 3 ha de terres arables chaque minute à cause de la salinité du sol (HAMMIA I, 2012).

D'après CHERBUY (1991), la salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire (HAMMIA I, 2012)

II.1.7. Types de salinisation du sol

Les sols sont dits salés lorsqu'ils contiennent une certaine quantité d'éléments minéraux, dont notamment le sodium, sous forme dissoute, échangeable ou précipitée (SALISOLS, SODISOLS, SULFATSOLS, THIOSOLS, etc.). Ils comprennent plusieurs types de sols qui se sont formés à partir de trois processus physico-chimiques : la salinisation, la sodisation, l'alcalinisation. Les deux derniers processus, souvent concomitant, sont regroupés sous le vocable d'alcalinisation (MICHEL-CLAUDE.G, CHRISTIAN.W, JEAN-CLAUDE.R, JACQUES.R, JEAN-LOUIS.M, DUNOD, PARIS, 2005, 2011).

II.1.7.1. Salinisation

Dans la nature, on peut distinguer une salinisation naturelle, que l'on peut dénommer primaire et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire. (BOUTELLI Med H, 2012).

a. Salinisation primaire ou naturelle

La salinisation primaire due aux sels formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels extrêmes : (BOUTELLI Med H, 2012)

- Dans les régions côtières, intrusion d'eau salée ou submersion des terres basses ;
- Inondations périodiques par de l'eau de mauvaise qualité ;
- Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire.

Selon Szabolcs (1989) et d'après la FAO, la superficie totale concernée par cette salinisation primaire est proche de mille millions d'hectares, soit près de 5 % de la surface du globe.

b. Salinisation secondaire

La salinisation d'origine secondaire est induite par l'activité humaine, liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées.

Les causes principales de cette salinisation secondaire des sols sont :

- Utilisation d'une eau d'irrigation de qualité médiocre et lessivage naturel insuffisant ;

- Remontée de la nappe souterraine à proximité de la surface et transport de sels par remontées capillaires .

c. Salinité globale

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

1 S/m = 1 rhos/m et 1 mhos = 1/ohm unité de résistance électrique.

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

$$1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mS/cm} = 640 \text{ mg/l de sels (Marc, 2001)} \quad (1)$$

II.1.7.2. Sodisation

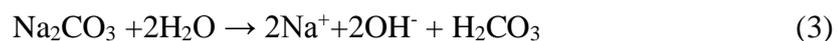
L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Les cations présents en solution dans le sol s'échangent sur le complexe organo-minéral. On définit le rapport Na^+/CEC ou le paramètre ESP (Exchangeable Sodium Pourcentage) pour estimer le degré de saturation du complexe d'échange cationique (BOUKHALFA A, KAFI Kh N, 2013).

II.1.7.3. L'alcalisation

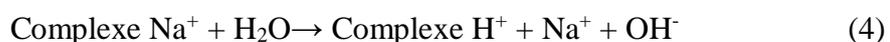
Le processus d'alcalisation intervient lorsqu'un sol à complexe sature en sodium se transforme physiquement suite aux réactions d'échange entre l'ion Na^+ et les protons au moment d'une humectation. S'il s'agit d'un apport météorique toujours légèrement chargé en CO_2 dissous, la réaction d'échange est : (MICHEL-CLAUDE.G, CHRISTIAN.W, JEAN-CLAUDE.R, JACQUES.R, JEAN-LOUIS.M, DUNOD, PARIS, 2005, 2011).



Comme Na_2CO_3 est facilement soluble, des ions Na^+ et OH^- sont libérés en solution :



S'il s'agit d'une eau douce (irrigation), la réaction peut s'écrire plus simplement :



II.1.7.4. D'alcalinisation

La sodisation et l'alcalinisation étant étroitement liées, on parle plus globalement de processus d'alcalinisation. Au cours de la concentration d'une solution ayant une ARC positive, la concentration en sodium continue d'augmenter favorisant l'adsorption de sodium sur le complexe d'échange. Les réactions d'échange Na^+/H^+ provoquent une dégradation des propriétés physiques du sol à cause de la protonisation des argiles et de l'augmentation du pH. Les argiles protonées deviennent plus fragiles et sont facilement dispersables. La dispersion de l'argile crée un horizon compact à structure prismatique, massive ou colonnaire (horizon sodique argilluvial NaBT) (MICHEL-CLAUDE.G, CHRISTIAN.W, JEAN-CLAUDE.R, JACQUES.R, JEAN-LOUIS.M, DUNOD, PARIS, 2005, 2011).

La porosité se réduisant, la perméabilité à l'eau et à l'air des sols alcalinisés diminue.

Des conditions réductrices peuvent apparaître favorisant les pertes d'azote par dénitrification. Les valeurs de pH deviennent supérieures à 8.5 et peuvent atteindre 10, la matière organique se solubilise et migre. La désaturation partielle en Na^+ du complexe organo-minéral favorise l'éluviation de l'argile associée à une baisse du pH dans les horizons supérieurs (horizon éluvial non albique Ena) et son lessivage vers les horizons inférieurs. La désaturation complète en Na^+ conduit à une différenciation nette du solum avec, en surface, un horizon blanchi et acidifié (pH entre 4 et 6.5 ; horizon éluvial albique Ea) et, en profondeur, un horizon alcalinisé (pH entre 9 et 10 ; horizon NaBT).

II.1.8. Paramètres de caractérisation des sols salés

L'étude d'un sol sur le plan de la salinité se base sur un ensemble de facteurs: (BENMOUAFKI DJ, 2011).

a. Conductivité électrique: La salinité est mesurée par la CE de l'extrait de pâte saturée ou l'extrait dilué du sol. Elle est exprimée en ds/m à 25°C (Tableau 2 et 3 Annexe I).

b. PH du sol: La notion du pH du sol permet de façon commode et précise de désigner la réaction du sol. Les sols salés ont un pH sensiblement égal à 7. Il augmente en corrélation avec le rapport Na^+/CEC (Tableau 1 Annexe I).

c. 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 (meq/l).

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

d. SAR (Sodium absorption ratio): Il s'agit d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau de l'alcalinisation de la solution du sol.

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]}{2}}} \quad (5)$$

II.1.9. Classification des sols salés

Échangeable inférieur Il existe plusieurs classifications des sols dans le monde. La classification américaine, française, russe et celle de la FAO (175). Parmi ces classifications, celle proposée par (U.S.S.L, 1954), et aussi celle proposée par (Duchaufour, 1977 et Cherbuy, 1991) qui voient en ces sols, trois grandes classes : (BOUTELLI MED H, 2012)

- Sols salins
- Sols salins à alcalins
- Sols alcalins

II.1.9.1. Sols salins : ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieur à 4 dS/m, un pH inférieur à 8,5 et un pourcentage de sodium à 15%. Selon (Hullin, 1983), ce sont des sols qui contiennent des sels solubles en quantités, telle que la croissance de la plupart des plantes y est freinée.

Ces sols présentent aussi une perméabilité égale ou supérieure à celle des sols similaires non salés. Cela est dû à l'action flocculant des sels.

Ces sols pauvres en Na, mais riches en sels blancs (chlorures, sulfates, carbonates de Ca ou Mg) ; généralement à l'état flocculé, lessivage efficace.

II.1.9.2. Sols salins à alcalins: ils sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieur à 4 dS/m et un pH supérieur à 8,5. Par définition ce sont des sols qui contiennent suffisamment de sels solubles et de sodium échangeable supérieur à 15% (Hullin, 1983). D'après (Daoud, 1993), la perméabilité de ces sols dépend du rapport entre CE- ESP, de la teneur et de la nature de la fraction argileuse des sols.

La Structure de ces sols généralement bonne mais pouvant se dégrader considérablement lors du lessivage. Nécessité d'apports de cations de substitution.

II.1.9.3. Sols alcalins : ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation inférieur à 4 ds/m, un pH compris entre 8,5 et 10, un pourcentage de sodium échangeable supérieur à 15%. Selon (Hullin, 1983) ces sols contiennent suffisamment de sodium échangeable mais ils ne contiennent pas des quantités excessives de sels solubles. D'après (Daoud, 1993), ses sols présentent une faible perméabilité.

Ces sols sont riches en Na. Foncés en raison de forte concentration en Na et de la dispersion de la MO. Sols dispersés : lessivage difficile et nécessité de remplacer le Na par un autre cation (Ca par ex).

II.1.10. Effets négatifs potentiels sur le sol

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes prévus au niveau du sol sont : La salinisation, l'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol, l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques et l'accumulation de nutriments. (BOUKHALFA A, KAFI KH N, 2013).

II.1.11. Effet de la salinité sur les propriétés physiques et chimiques du sol

L'excès de sel dans un sol modifie les propriétés physiques et chimiques. Cette altération des conditions édaphiques constitue un stress indirect pour la croissance des plantes (BENMOUAFKI DJ, 2011).

a. Effets de la salinité sur les propriétés physiques du sol

Une grande quantité de sels solubles peut affecter les propriétés Pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la hute de la perméabilité hydraulique. (BENMOUAFKI DJ, 2011).

b. Effet de la salinité sur les propriétés chimiques du sol : (BENMOUAFKI DJ, 2011).

- **PH (potentiel hydrogène) :** La réaction du sol (pH) est influencée par la nature de sels .Alors que certains sels sont acidifiants (CaSO₄, KCl, MgSO₄) d'autres sont alcalinisants (NaHCO₃, CaCO₃Na₂CO₃)
- **ESP (taux de sodium échangeable) :** Le taux de sodium échangeable à une grande importance dans les sols alcalins, Vu que ces derniers retiennent de faible concentration en sels solubles et la grande quantité de sodium se trouve sous la forme échangeable. Tandis que dans les cas des sols salés la grande partie de sodium se trouve dans la solution du sol.

II.1.12. Effet de la salinité sur les plantes

La salinité pose un problème dès l'instant où l'accumulation de sel dans la zone racinaire atteint une concentration qui provoque une baisse de rendement et ralentit la croissance des végétaux (BOULAINÉ, 1974; BOLYN, 1975 ; FAO, 1998 in MENACER,2009), il faut d'abord rappeler que sur les plantes spontanées ou cultivées la salinité à deux actions bien distinctes qui peuvent très souvent se produire simultanément.

L'intoxication par les sels qui provoque la décoloration (chlorose); les végétaux ne parviennent pas à absorber les quantités d'eau qui leur sont nécessaires par ce que les sels accumulés dans leur tissu ont tendance à se substituer aux substances organiques qui jouent un rôle dans le phénomène d'osmose c'est le flétrissement prématuré de la plante.

La sécheresse physiologique qui détermine la nanisations des sujets (BENMOUAFKI DJ, 2011).

II.1.13. Mise en valeur des sols salés

Indépendamment du facteur économique qui doit nécessairement être prise en compte, la mise en valeur des sols salés va dépendre des processus physico-chimiques qui les affectent.

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite : (MICHEL-CLAUDE.G, CHRISTIAN.W, JEAN-CLAUDE.R, JACQUES.R, JEAN-LOUIS.M, DUNOD, PARIS, 2005, 2011).

- l'élimination des sels en excès (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'amélioration est temporaire quand la nappe est à faible profondeur : le drainage doit être efficace pour prévenir les risques de salinisation secondaire.
- l'utilisation de plantes résistantes à la salinité.
- la reconstitution de la fertilité par des amendements, qui enrichissent les argiles en Ca^{2+} échangeable.
- Des pratiques culturales particulières : labour de défoncement, ratissage des sels en surface, planage des parcelles, billonnage...

II.1.14. Restauration et aménagement des sols salins

a. Drainage

Contrairement à bien d'autres régions de la planète où l'irrigation est un facteur essentiel à la production agricole, le drainage des terres s'avère souvent une condition de succès ou de rentabilité au Ouargla, comme partout où les pluies sont abondantes. La faible perméabilité des meilleurs sols, la saturation des sols en eau au printemps et la nappe phréatique trop haute au cours de la saison de végétation sont autant de facteurs requérant un drainage approprié. Les avantages du drainage sont fort nombreux

L'eau dans le sol est très pauvre en oxygène. Contrairement aux plantes hydrophytes qui sont capables de vivre dans les sols gorgés d'eau, les plantes mésophytes ne sont pas adaptées pour puiser cette eau et suffoquent.

Chaque sol à sa capacité d'infiltration, c'est -à-dire une capacité propre de s'hydrater et de conduire l'eau vers la nappe d'eau. Dans la plupart des sols, cette capacité d'infiltration diminue de façon très marquée après une bonne pluie d'une durée de 30 à 120 minutes. Ensuite, le ruissellement et l'accumulation d'eau en surface remplacent l'infiltration. Selon le cas, il faut régulariser la teneur en eau de ces sols par drainage de surface ou par drainage souterrain (DOUCET, ROGER, 2006).

- **Caractéristiques du drain principal de la région**

Le réseau de drainage de la région d'Ouargla est alimenté essentiellement par des eaux d'irrigation. Il a évalué énormément depuis 1986, sa longueur est passée de 49150 à 66650 m ; avec une répartition plus développée au sud de la cuvette.

Le réseau de drainage de la cuvette de Ouargla est de type des canaux à ciel ouvert à une profondeur varie entre (0,5 à 1,0 m), ce réseau n'est pas dense et son état est médiocre.

Le collecteur principal qui existe sur la périphérie de la ville et les palmeraies s'étend sur une longueur totale de 13600 ml environ et une profondeur varie de 1 à 2 m, avec une pente varie entre (1 à 2 ‰) ; celui-ci a pour objectif de drainer toutes les eaux excédentaires d'irrigation et eaux usées, et de rabattre la nappe phréatique. (BOUTELLI MED H, 2012).

b. Lessivage

Le lessivage est une technique consiste à d'dissoudre les sels accumulés dans le sol par des apports d'eau importants et à les entraîner en-dessous de la zone racinaire par le mouvement descendant de l'eau.

c. Amendement en sable

À l'occasion de la plantation d'un rejet, le sol est creusé jusqu'à une profondeur d'un mètre et lors du remblayage, la terre est mélangée au sable des dunes.

Le sable est également utilisé pour la création de sols artificiels dans les zones chotteuses ; la hauteur de la couche apportée peut atteindre 60 cm.

Après la plantation, des amendements texturaux (sables dunaires) sont couramment pratiqués en hiver de chaque année ; La hauteur de la couche apportée peut atteindre 15cm. (BOUTELLI MED H, 2012)

II.1.15. Salinisation des eaux

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{+2}), de magnésium (Mg^{+2}), de sodium (Na^{+}), les chlorures (Cl^{-}), les sulfates (SO_4^{-2}) et les bicarbonates (HCO_3^{-}). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

On considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation : (BOUKHALFA A, KAFI KH N, 2013).

- Les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements cultureux ;
- Les dommages causés aux cultures.

II.1.16. Les causes de la salinisation : (BOUKHALFA A, KAFI KH N, 2013).

- 80% des terres salinisées ont une origine naturelle, on parle alors de salinisation primaire qui est due aux sels, se formant lors de l'altération des roches ou des apports naturels externes.
- 20% des terres salinisées ont une origine anthropique, on parle alors de salinisation secondaire, induite par l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles, et en particulier à l'irrigation réalisée avec de l'eau saline. Selon, la salinisation peut aussi être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines.

II.1.17. Problèmes de salinisation des terres irriguées**a. Définition de l'irrigation**

L'irrigation assure l'humidité nécessaire pour alimenter les cultures. En général, on considère qu'il convient d'irriguer les sols à partir de la troisième semaine de sécheresse Persistante. On peut commencer l'irrigation dès que les feuilles des plantes fanent, s'enroulent ou se recroquevillent. D'une façon ou d'une autre, l'efficacité dépend de la régularité de l'irrigation pendant toute la période de sécheresse. (DOUCET, ROGER, 2006).

b. Surface irriguée

C'est la surface effectivement mise à l'irrigation. Elle représente le cumul des surfaces irriguées de l'assolement annuel. Elle prend en compte les surfaces recevant deux ou trois cultures et donc deux à trois irrigations sur la même sole. Le rapport de la surface irriguée en période de pointe à la surface équipée dépasse rarement 80%. (L. ZELLA, 2013).

Souvent on utilise le rapport entre ces surfaces pour mieux évaluer l'importance de chacune d'elles et notamment de la part des surfaces irriguées et leur apport dans la croissance de la production agricole et financière.

c. Irrigation à la parcelle

➤ L'irrigation de surface

L'irrigation par planche : consiste à faire couler une mince couche d'eau sur inclinée 0.2 à 3%. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et la longueur de la planche. Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables. Une des formules pratiques est celle de crevât qui consiste à déterminer la longueur de la planche qui dépend de l'infiltration du sol, ce qui correspondrait au temps de ruissellement autrement dit, l'aiguade ouvre la vanne et attend que l'eau arrive au bas de la planche, et à ce moment à il ferme la vanne d'arrivée. (AZOUGGAGH M ,2018)

L'irrigation par bassin : est la plus connue dans l'irrigation gravitaire. Sa pratique sur un sol nivelé (pente 0.1 à 1%) ainsi que la simplicité de l'opération, qui consiste à remplir le bassin, font que cette technique est fréquemment utilisée. (AZOUGGAGH M ,2018)

L'irrigation à la raie : ou par rigole convient parfaitement aux sols présentant une pente comprise entre 0.2 et 3%. Les sillons sont séparés d'une distance variant entre 0.6 et 1.25m, selon le type de sol et la culture. Suivant le débit dont on dispose, on peut irriguer un plusieurs sillons à la fois. Les raies peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau. D'une manière générale, l'irrigation est réalisée suivant un débit unique ou suivant une succession de deux débits différents, un premier débit qui est appelé débit d'attaque et un deuxième débit plus faible qui est appelé débit d'entretien. L'irrigation à la raie se prête mieux à la mécanisation par siphon, par rampe à vannettes, par gaine souple ou par Trans irrigation. (AZOUGGAGH M ,2018)

➤ Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est recommandée dans les cas suivant : (AZOUGGAGH M ,2018)

- Sols de faible profondeur, ne pouvant être correctement nivelés pour une irrigation de surface, tout en conservant une profondeur suffisante ;

- Sols trop perméables, qui ne permettent pas une répartition uniforme de l'eau dans le cadre d'une irrigation avec ruissellement en surface ;
- Terrains à pente irrégulière avec microrelief accidenté, ne permettant pas

L'établissement d'une desserte gravitaire à surface libre.

Par contre, elle est à écarter dans les régions très régulièrement ventées (les vents supérieurs à 5 ou 5 m/s dégradent considérablement l'homogénéité de l'arrosage) et aussi lorsque l'irrigation se fait avec l'eau salée sur des plantes au feuillage sensible au sel. (AZOUGGAGH M ,2018)

Une installation d'irrigation sous pression est généralement composée d'un équipement fournissant la pression nécessaire à son fonctionnement, d'appareils de mesure et de contrôle de débit, et d'une conduite principale amenant l'eau jusqu'aux conduites secondaires et tertiaires. D'autres éléments peuvent être utilisés, notamment un filtre ou une batterie de filtres et un dispositif d'adjonction d'éléments fertilisants. (AZOUGGAGH M ,2018)

➤ **L'irrigation goutte à goutte**

Dans l'irrigation goutte à goutte, l'eau est livrée à la plante à faible dose entraînant ainsi l'humidification d'une fraction du sol. Ceci permet de limiter les pertes par évaporation et percolation. Elle permet aussi de réduire le développement des mauvaises herbes. Elle met également en œuvre des équipements fixes et légers, et permet la fustigation. Dans la plupart des cas, elle exige une automatisation à travers des contrôleurs associés à des vannes volumétriques et/ou hydrauliques et des électrovannes. (AZOUGGAGH M ,2018)

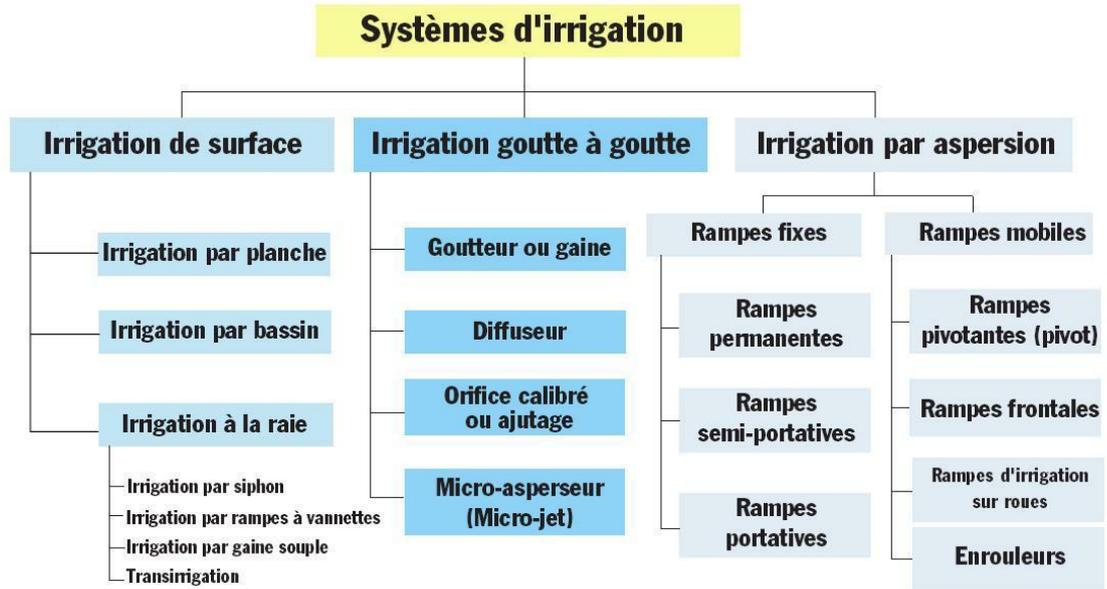


Figure II-2: Les différents systèmes d'irrigation (AZOUGGAGH M ,2018)

d. Les normes utilisées en irrigation

Le matériel, la conception et le fonctionnement des réseaux d'aspersion doivent obéir aux normes sélectionnées et arrêtées par une législation. La norme regroupe des caractéristiques techniques ou un mode opératoire définis par des spécialistes reconnus sur des bases scientifiques. Plusieurs expériences réalisées ont mené à la standardisation des normes pour l'optimisation du matériel et de son fonctionnement. Une panoplie de normes existent déjà et sont variables d'un laboratoire, d'une association, d'un bureau d'étude, nationale ou internationales ou d'un pays à l'autre. La norme est établie conventionnellement par une équipe technique regroupe en comité de normalisation. On distingue plusieurs normes : ISO, EN ou NE, ASAE, ANSI, ASTM, BS et DIN (L. ZELLA, 2013).

II.1.18. Etat de la qualité des eaux en vue d'un usage agricole

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} (échange de base) dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivant: (GOUAIDIA L, GUEFAIFIA O, BOUDOUKHA A. & HEMILA ML, 2013).

- **Evaluation de la qualité des eaux**

Les différentes pratiques agricoles et la mise en place de nombreux systèmes d'irrigation ont eu un effet sur la qualité des eaux souterraines, particulièrement celles qui regagnent la nappe après irrigation. Il est à noter que les sels minéraux contenus dans l'eau ont un impact sur le sol et les plantes. En effet, les sels peuvent causer des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement des plantes. (GOUAIDIA L, GUEFAIFIA O, BOUDOUKHA A. & HEMILA ML, 2013)

II.2. Sels solubles

Hulin en 1983 a considéré tous les sels les plus solubles que le gypse comme des sels solubles, leur concentration globale est estimée généralement par la conductivité électrique, leur degré de toxicité est d'autant plus élevée pour les plantes que leur solubilité est supérieure à celle du gypse. (BOUTELLI MED H, 2012).

II.2.1. Principaux sels soluble

D'après (Hulin, 1983) nous distinguons trois grands groupes de sels solubles ; les chlorures, les carbonates et les sulfates. (BOUTELLI MED H, 2012)

II.2.1.1. Chlorures : Le chlorure est un sel principal responsable de la formation des sols salés. Il a une solubilité très élevée et une forte toxicité pour les végétaux (Hulin, 1983).

Parmi ces sels nous avons :

- Chlorure de sodium (NaCl): C'est le sel le plus répandu, très soluble et hautement toxique.
- Chlorure de potassium (KCl) : C'est un sel voisin du Na Cl ; Mais répand peu dans la nature.
- Chlorure de calcium (Ca Cl₂) : C'est un sel relativement rare dans les sols, car il réagit avec Na₂SO₄ ou Na₂CO₃ pour former du CaSO₄ ou CaCO₃ (sels peu solubles) selon les réactions.



- Chlorure de magnésium ($MgCl_2$) : C'est un sel relativement rare, sauf dans les cas de forte salinité, sa solubilité est de l'ordre de 350 g/l qui fait de lui un sel de toxicité Extrêmement élevée.

II.2.1.2. Sulfates: Les sels sulfatés se trouvent en quantités variables dans les sols. Parmi ces sels nous avons:

- Les Sulfates de Calcium ($Ca SO_4$) : le gypse ($Ca SO_4 \cdot 2H_2O$) est la forme la plus répandue, de point de vue toxicité il est peu dangereux du fait de sa faible solubilité, mais il peut freiner le développement du système racinaire dans le cas d'une forte accumulation dans le sol.

- Le Sulfate de Magnésium ($Mg SO_4$) : c'est un composant typique des sols salés, on le trouve souvent dans les eaux souterraines, sa solubilité est très élevée ce qui le rend un sel toxique.

- Le Sulfate de Sodium ($Na_2 SO_4$) : composant typique des sols salés, sa solubilité de l'ordre de 300 g/l, fait de lui un sel hautement toxique.

- Les Sulfates de Potassium ($K_2 SO_4$): il se trouve en très faible quantité.

II.2.1.3. Carbonates : d'après (FAO et UNESCO, 1967), les sels carbonatés sont très répandus dans les sols. Parmi ces sels nous avons:

- Le carbonate de magnésium: ($Mg CO_3$) sa solubilité est plus élevée, il donne du $Mg (HCO_3)$ en présence de $H_2 CO_3$.

- Le carbonate de sodium: ($Na CO_3$) : C'est un sel très toxique par sa solubilité et son pouvoir alcalinisant.

II.2.1.4. Le carbonate de potassium: ($K_2 CO_3$): Il est extrêmement rare de le trouver en grande quantité, car il est fixé par les argiles. Son effet est pratiquement comparable à celui de $Na CO_3$.

II.2.2. Action des sels solubles sur le sol

a. Sur la structure du sol

C'est par les cations que les sels agissent sur les propriétés physiques du sol.

En particulier par l'action dispersante du sodium échangeable qui provoque la dispersion des colloïdes, cette action néfaste se manifeste lorsque le remplacement du calcium par le sodium dans le complexe absorbant dépasse 15% de la capacité d'échange cationique (BOUTELLI MED H, 2012).

La stabilité structurale décroît dès que le taux de sodium échangeable représente de 12 à 15% de la CEC (Derdour, 1981). Le rapport Na^+ / Ca^{++} influe sur la dispersion des colloïdes, cette dispersion apparaît dès que la quantité de sodium échangeable dépasse celle du calcium échangeable ; c'est à dire lorsque le rapport Na^+ / Ca^{++} dépasse la valeur de 1. (BOUTELLI MED H, 2012).

b. Action sur la perméabilité

La perméabilité dépend essentiellement de la texture, la structure, le type de cations absorbés et le taux de matière organique, la diminution de la perméabilité des sols salés à alcalis est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par l'ion Na^+ (Derdour, 1981). Cette perméabilité commence à augmenter avec la salinité du fait de la formation des agrégats par l'action flocculant des sels, puis elle se maintient constante. (BOUTELLI MED H, 2012).

II.2.3. Paramètres influençant la solubilité des sels

La solubilité d'un sel est fonction de nombreux facteurs tels que la température, la force ionique, le pH et la présence d'autres sels. (BOUTELLI MED H, 2012).

- **Température** : D'après la solubilité de certains sels augmente rapidement avec la température tandis qu'elle varie peu pour d'autres (Tableau II. 2).

Tableau II-2 : Solubilité maximum des principaux sels dans l'eau en g/1000 cm³

(BOUTELLI MED H, 2012).

Sels	Température (°C)						
	0	10	20	40	60	80	100
Ca Cl ₂	58,7	65,2	73,9	127,2	138,1	146,9	157,7
Ca SO ₄	1,76	1,93	1,99	2,1	1,5	40	0,65
KCl	282	312	342	398	455	506	552
K ₂ SO ₄	75	91	111	145	179	212	240
Mg Cl ₂	526	538	543	574	612	666	424
Mg SO ₄	260	309	388	441	544	560	490
Na ₂ CO ₃	69	123	218	488	459	441	441
Na HCO ₃	69	81	94	126	158	182	237
NaCl	356	358	360	366	369	379	388
Na SO ₄ , 7 H ₂ O	184	304	477	-	-	-	-
Na SO ₄ , 10 H ₂ O	45	91	193	-	-	-	-
Ca CO ₃	0,015	0,02	-	-	-	-	-

- **Force ionique** : D'après (Benzahi, 1994), la solubilité d'un sel augmente avec la racine carrée de la force ionique de la solution

$$\log K_{ps} = \log K_{psi} + B \times Z_a \times Z_b \sqrt{I} \quad (8)$$

D'où:

- Log K_{ps} : Produit de solubilité du sel dans une solution de force ionique I.
 - K_{psi} : Produit de solubilité du sel à l'eau pure.
 - B: 0,504.
 - Z_a et Z_b : Charges de l'anion et cation.
 - I: Force ionique.
- **Le pH** : l'acidité a une influence sur la solubilité des sels. Par exemple ; dans un milieu acide nous pourrions assister à une augmentation de solubilité du gypse pour la formation de l'ion HSO₄⁻.

- **Présence d'autres sels** : D'après (Hulin, 1983), dans un milieu la présence de certains sels influe par fois sur la solubilité des autres sels. Par exemple dans les régions arides et semi-arides, l'accumulation de carbonate de sodium est souvent opposée par la présence de gypse suivant la réaction.



II.2.4. Mouvements des sels solubles dans le sol

Les sels solubles sont en mouvement grâce à l'eau qui circule dans le sol, ces mouvements peuvent être descendants (lixiviation) ou ascendants (remonté capillaire ou capillarité) ou avec un autre mécanisme de migration appelé thermos- dialyse. (BOUTELLI MED H, 2012).

II.2.4.1. La lixiviation : L'eau apportée au sol ; soit par irrigation, inondation ou de pluies. Va s'infiltrer en dissolvant les sels présents dans leur ordre de solubilité croissante et en les entraînant en profondeur. (BOUTELLI MED H, 2012).

II.2.4.2. La capillarité: La capillarité ou la remontée capillaire est une migration ascendante des sels en solution dans un profil saturé à faible profondeur, cette migration est très intense dans les régions soumises à une forte évaporation (Duchaufour, 1977). La remontée capillaire des sels dépend beaucoup de profondeur de la nappe superficielle, la perméabilité, la granulométrie, et la structure du sol. (BOUTELLI MED H, 2012).

II.2.4.3. Thermo dialyse : La thermo dialyse est une migration des sels sous un gradient de température vers les parties chaudes. Cette migration dépend de la texture de la terre, de son humidité et de la nature des sels. (BOUTELLI MED H, 2012).

II.2.5. La salinisation des eaux souterraines

L'un des facteurs principaux de dégradation de la qualité des eaux, particulièrement en zone aride et semi-aride est la salinisation. C'est un phénomène environnemental qui affecte la qualité chimique des eaux naturelles (Williams, 2001) et qui rend impropres à la consommation humaine beaucoup d'aquifères. (GOUAIDIA L, GUEFAIFIA O, BOUDOUKHA A. & HEMILA ML, 2013)

La salinité d'une eau est généralement définie par le TDS (Total dissolved Solids) ou par sa chlorinité (Vengosh, 2003). Elle peut également être définie par sa conductivité électrique.

Nous nous intéresserons seulement à la salinisation des aquifères dont les mécanismes à l'origine de la salinisation sont divers et complexes et dépendent de divers facteurs tels que la position géographique, la géologie et la nature de l'aquifère. Plusieurs mécanismes peuvent ainsi être à l'origine de la salinisation des eaux souterraines (Barlow, 2003; Bear et Verruijt, 1987; Custodio, 2002; Martinez-Sanchez et al, 2011). Il s'agit principalement de l'intrusion marine, du contact de l'aquifère avec des saumures et de la dissolution d'évaporites (saumures secondaires). A ces processus naturels s'ajoutent les sources anthropiques dont les plus courantes sont les rejets industriels et les eaux d'irrigation. (GOUAIDIA L, GUEFAIFIA O, BOUDOUKHA A. & HEMILA ML, 2013)

En zone aride et semi-aride, l'irrigation permet de lever la contrainte de la production d'une agriculture pluviale saisonnière soumise aux aléas climatiques. Elle permet d'augmenter les superficies emblavées et d'assurer une autosuffisance alimentaire. Cependant, l'irrigation en zone aride et semi-aride pose aussi et toujours le problème de la gestion conservatoire des terres et des eaux. Elle s'accompagne, en effet dans de nombreux cas, de processus de dégradation des sols et des nappes d'eau. La figure II-3 reprend de manière schématique les relations entre irrigation, dégradation des sols et pollution des nappes. (GOUAIDIA L, GUEFAIFIA O, BOUDOUKHA A. & HEMILA ML, 2013)

Ainsi, après un aperçu sur la pratique de l'irrigation dans le DFS, les phénomènes de salinisation des sols et des eaux seront discutés.

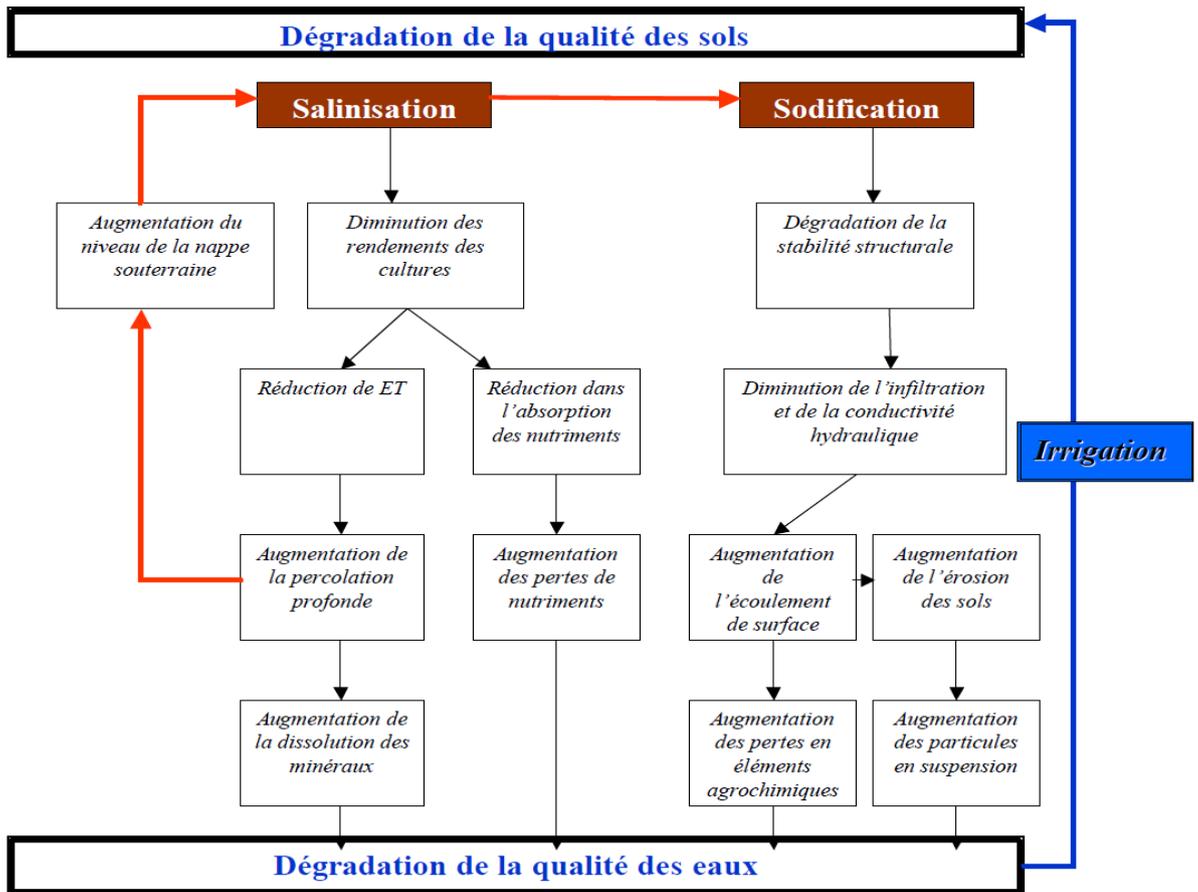


Figure II-3: Processus de dégradation de la qualité des sols et des eaux suite à l'irrigation.

(Abdoul A GNING, 2015).

$$\text{Alcalinité résiduelle calcite} = \text{RSC} = \text{Alcalinité} - 2[\text{Ca}] - 2[\text{Mg}] \text{ (meq / l)} \quad (10)$$

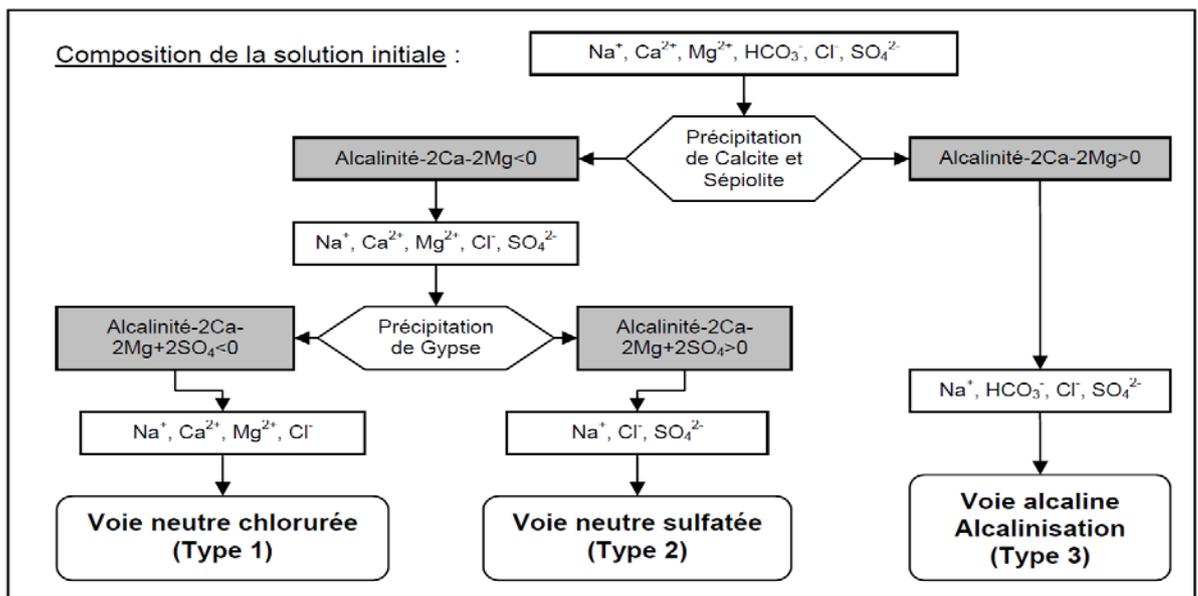


Figure II-4 : Présentation schématique des principales voies de salinisation des sols. (Abdoul

A GNING, 2015)

II.2.6. Sources anthropiques de salinisation

En zone aride et semi-aride, l'activité agricole en général et l'irrigation en particulier est la principale source de salinisation des eaux souterraines. Les sources de salinisation peuvent provenir de l'eau d'irrigation. En effet, l'usage d'eaux salées pour l'irrigation génère un apport en ions comme le chlore ou le sodium. Les intrants agricoles naturels comme artificiels constituent une source non négligeable en ions potassium (K^+), ammonium (NH_4^+) ou nitrate (NO_3^-) dans la nappe.

D'autres sources de salinisation d'origine anthropique sont liées aux activités industrielles qui rejettent des eaux usées mais aussi l'évacuation des eaux usées industrielles ou domestiques et l'épandage de sels de déneigement sur les routes. (Abdoul A GNING, 2015).

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présentés la définition de salinisation et généralité sur les sols sals en monde et en Algérie leurs types, le caractéristique des salinités et les effets de salinité sur l'eau irrigue et sur les sols agricoles, aussi que les sols solubles et quelque méthode de l'irrigation.

Chapitre-III

Matériel ET

Méthodes

Introduction

Avant exposer les résultats des mesures et analyses physico-chimiques obtenus dans les eaux d’irrigation et l’analyses effectuées sur le sol au niveau des deux périmètres, nous jugeons utile de présenter le matériel utilisé, ainsi que les techniques de mesure et d’analyse des échantillons.

III.1. Présentation De La Zone D’étude

III.1.1. Périmètre d’El Wifak

Le perimeter d’étude est localisé dans la commune de Hassi Ben Abdallah, Daïra de Ouargla, Wilaya d’Ouargla. Ce périmètre est crié en 1989 et situé à 18 km au sud du chef-lieu de la commune, à l’ouest de la route nationale N49 qui mène vers la commune de Hassi Messaoud. La superficie du périmètre de El-Wifak est de 120 hectares avec 1550 palmier dattier, elles sont bien organisées. l’agriculteur de cette hectare utilise différentes types d’irrigation par la goutte à goutte et par submersion.

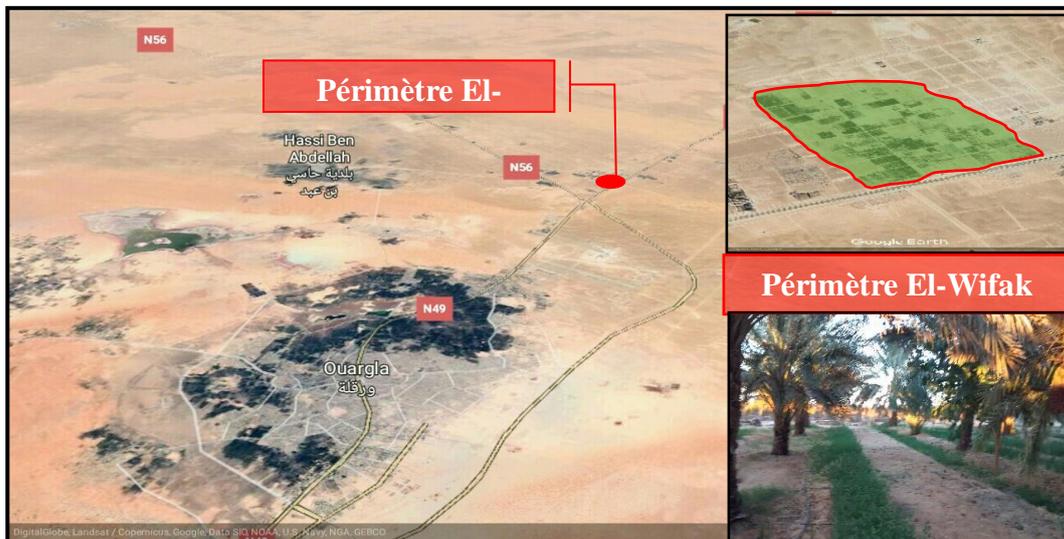


Photo III-1 : Localisation de périmètre El-Wifak par apport la ville de Ouargla et la commune de Hassi Ben Abdallah

III.1.2. Périmètre des Jeune

Le périmètre des jeunes est localisé dans la commune de Hassi Ben Abdallah, Daïra de Ouargla, Wilaya de Ouargla. Ce périmètre est crié en 1991 et situé à 4 km au Nord du chef-lieu de la commune, à l’ouest de la route nationale N56 qui mène vers la daïra de Touggourt. La superficie de ce périmètre est de 85 hectares avec 1200 palmier dattier. Les

agriculteurs de ces hectares utilisent des différentes types d'irrigation par la goutte à goutte et par submersion.

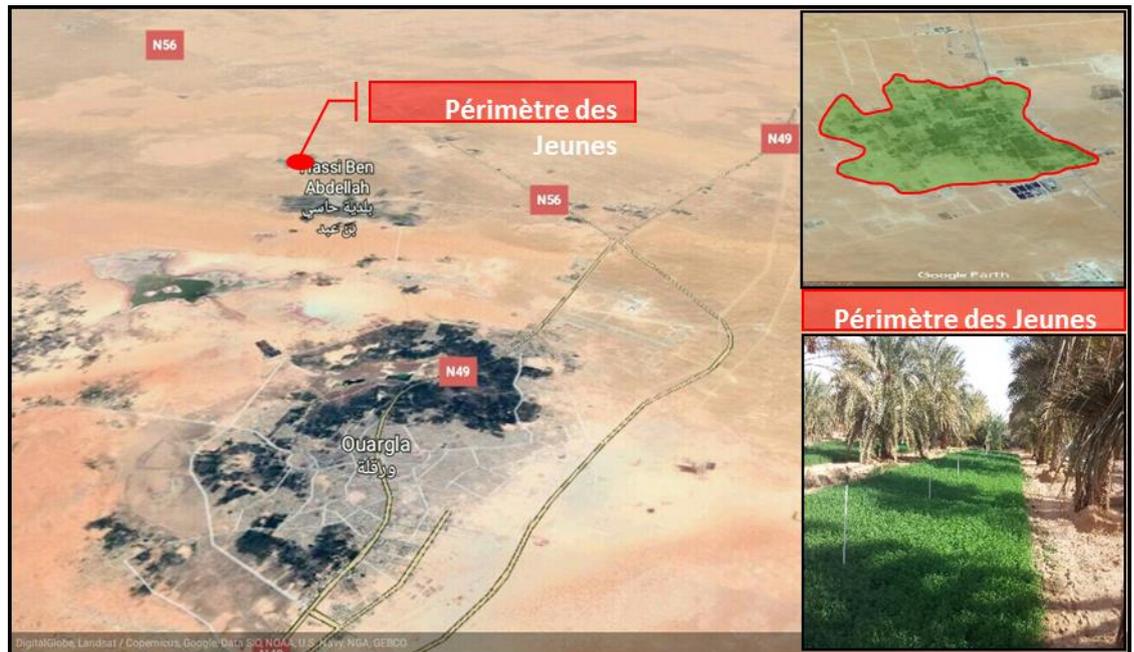


Photo III-2 : Localisation de périmètre des jeunes par rapport la ville d' Ouargla et la commune de Hassi Ben Abdallah.

III.2. Matériels utilisés

Nous avons fait (09) sondages au niveau des périmètres avec une manière permettant de couvrir le maximum de la zone étudiée, Puis on a effectué des prélèvements des échantillons du sol et des eaux d'irrigation pour les analyser aux laboratoires qui sont :

1. Laboratoire de l'Algérienne Des Eaux **ADE à Ouargla.**
2. Laboratoire de centre de recherche scientifique à université de KASDI MERBAH Ouargla.
3. Laboratoire de bureau des études géotechniques Ben Taibe Abdelhamid

Pour ces travaux réalisés on a utilisé le matériel suivant :

III.2.1. Réalisation des sondages

- Pour la réalisation des sondages on a utilisé une trière de diamètre de 90 mm, ce dernier permet de sonder jusqu'à une profondeur de 1,50 m ;
- Appareil de GPS pour la localisation.

Tableau III-1 : localisation des sondages au niveau des périmètres d’El-wifak et les jeunes.

Sondage	Coordonnées	
	X	Y
SJ1	32° 03' 28,4"	5° 29' 53,4"
SJ2	32° 03' 34,4"	5° 29' 27"
SJ3	32° 03' 17,9"	5° 30' 7,7"
SJ4	32° 02' 48,2"	5° 29' 40,1"
SW1	31° 55' 41,1"	5° 29' 12"
SW2	30° 55' 42,3"	5° 29' 10,9"
SW3	31° 55' 49,8"	5° 29' 19,9"
SW4	31° 56' 19,6"	5° 29' 36,3"
SW5	31° 55' 48,4"	5° 29' 8,4"

III.2.2. Prélèvements

- Prélèvement des échantillons du sol est fait manuellement par la tarière.
- Un multi-paramètre de terrain nous a permis d’effectuer les analyses physiques pour les échantillons prélevés in-situ. Ce dernier mesure le PH ; CE ; la Résistivité ; la température...etc.

III.2.3. Analyses physico-chimiques

au laboratoire on a utilisé :

- Verriers (Entonnoirs ; Bêchers de différents volumes,.....etc) ;
- Capsules en porcelaine ;
- Etuve de séchage réglable ;
- Dessiccateur ;
- Four à moufle ;
- Balance Analytique ;
- Agitateur électrique ;
- PH-mètre de laboratoire ;
- Conductimètre de laboratoire ;
- Spectrophotomètre à flamme ;
- Spectrophotomètre à absorption atomique.

III.3.Méthodes d'études

L'objectif de l'étude est de caractériser et de quantifier la salinité du sol et des eaux d'irrigation au niveau des périmètres de El-wifak et les jeunes à la commune de Hassi ben Abdallah.

La prédiction de l'aspect géochimique de la salinité des eaux est une démarche originale qui pourrait s'avérer fructueuse pour une meilleure connaissance des conséquences de cette salinité sur les sols et l'environnement dans ces périmètres. La quelle démarche s'appuie sur les éléments suivants :

- Echantillonnage et analyses du sol et de l'eau d'irrigation ;
- utilisation des rapports ioniques caractéristiques, afin d'aboutir à une approche globale des processus d'acquisition de la salinité;
- Détermination de l'état de saturation des eaux par les principales espèces chimiques;
- Choix d'un indicateur de l'état de concentration des eaux (facteur de concentration) pour décrire le comportement des espèces chimiques selon ce facteur, et préciser davantage les processus d'acquisition de la salinité de l'eau phréatique et du sol.

La méthodologie adoptée est réalisée à travers les étapes suivantes.

III.3.1. Sorties de prospection

Nous avons fait des sorties le long de la des périmètres ; dont les objectifs sont :

- Réalisation, localisation des sondages par GPS.
- Collecter certaines informations telles : La nature des sols de la surface et en profondeur par un sondage à la tarière.



Photo III-3 : la tarière.

III.3.2. Caractérisation des sols

Pour caractériser les sols nous avons creusé neuf (9) sondages dans les périmètres d'El Wifak et les Jeunes. Le prélèvement des échantillons des sols est effectué par des horizons de la surface jusqu'à la profondeur, chaque horizon épaisse 30 cm.

III.3.2.1. Echantillonnage du sol et de l'eau

L'échantillonnage de l'eau se fait une seul fois. La mesure de la salinité est estimée directement sur le terrain par la conductivité électrique à l'aide d'un multi-paramètre de terrain. Les concentrations des sels sont mesurées au laboratoire.

Pour les sols, le prélèvement des échantillons est réalisé par une tarière manuelle concernant les différents horizons. Ces échantillons sont portés au laboratoire pour une mesure de leur conductivité électrique (CE) et leur concentration des sels réalisée sur un extrait dilué 1/5.



Photo III-4 : Prélèvement d'échantillons de sols à la zone d'étude 2018



Photo III-5 : Prélèvement d'échantillons de l'eau au niveau de forage albien 2018.

III.3.2.2. La texture

Dépend du calibre des particules qui le composent. La fraction grossière comprend les cailloux et les graviers d'un diamètre supérieur à 2 mm, Le sol comporte 3 phases: une phase solide (minérale et organique), une phase liquide (solution du sol) et une phase gazeuse (air,

CO₂, CH₄). On appelle texture la résultante du mélange de terres fines et grossières dont les pourcentages varient d'un sol à l'autre (BOUKHALFA A, KAFI KH N, 2013).

III.3.2.3. L'humidité résiduelle des échantillons du sol

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

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

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



Photo III-6 : Mesure de Humidité (labo bureau d'étude Ouargla 2018).

III.3.2.4. Analyses granulométrique

L'analyse granulométrique ou analyse mécanique consiste à séparer la partie minérale de la terre on catégories classés d'après la dimension des particules minérale inférieur à 2mm et à déterminer les proportions relatifs de ces catégories, en pourcentage de la masse total du sol minérale (BOUTELLI Med H, 2012).

Les résultats d'une analyse granulométrique se présentent sous la forme d'une courbe granulométrique. La pente moyenne de la courbe granulométrique permet en outre de caractériser le degré d'uniformité de la taille des éléments minéraux du sol (BOUTELLI Med H, 2012).



Photo III-7 : les tamias (labo bureau d'étude Ouargla 2018)

a) Coefficient d'uniformité

Le coefficient d'uniformité est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60% des particules et celui qui en laisse passer 10%.

$$C_u = d_{60} / d_{10} \quad (11)$$

Ce coefficient constitue un indice d'uniformité de la courbe granulométrique ou d'irrégularité de la distribution de la taille des particules. L'uniformité de la courbe est déterminée par rapport à la référence suivant :

$C_u < 2$ la granulométrie est dite uniforme, dans le cas contraire la granulométrie est dite variée.

b) Coefficient de classement

Le coefficient de classement est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 75% des particules et celui qui en laisse passer 25%.

$$U_C = d_{75} / d_{25} \quad (12)$$

Ce coefficient constitue un indice de variation relative de la pente de la courbe granulométrique.

c) Coefficient de courbure

Le coefficient de courbure permet de décrire la forme de la courbe granulométrique entre les diamètres d_{10} , d_{60} .

$$C_C = d_{30}^2 / (d_{10} \times d_{60}) \quad (13)$$

III.3.2.5. Extraction de la solution du sol

Dans notre étude nous avons étudié l'évolution de la salinité du sol et le dosage des sels solubles sur l'extrait aqueux 1/5.

Cette méthode pose un problème de validité des résultats ; en effet :

- Les sels présents dans le sol ont des degrés de solubilité différents ;
- La dilution étant au moins 15 fois plus forte dans l'extrait de saturation ;
- Dans l'extrait de saturation on retrouvera une proportion relativement plus forte des sels les moins solubles, par contre dans l'extrait aqueux 1/5 on retrouvera une proportion relativement plus forte des sels les plus solubles.

Préparation de l'extrait dilué 1/5

1. Peser 50 g de terre tamisée à 2 mm et les transférer dans une fiole d'agitation de 250 ml ;
2. Ajouter 250 ml d'eau distillée (si l'humidité résiduelle est inférieure à 5%, elle est négligée dans ce cas) ;
3. Agiter pendant 1 heure. Si l'échantillon contient du gypse, il est nécessaire d'ajouter un cristal de thymol et de laisser reposer une nuit pour permettre la dissolution du gypse ;
4. Filtrer la suspension, si le filtrat est trouble, recommencer la filtration ou centrifuger ;
5. Mesurer le pH et la conductivité électrique.



Photo III-8 : Agitation et filtration de l'extrait dilué 1/5

III.3.2.6. Dosage du calcaire

Connu principalement sous sa forme de carbonate de calcium CaCO_3 , il est l'un des minéraux les plus réponsus de l'écorce terrestre. Il constitue des roches grenues à grands, moyens et fins grains ; sa densité est de $2,7 \text{ g/cm}^3$. Il est peu soluble dans l'eau, et réagit vivement à l'action des acides. Le dosage de calcaire est effectué par titrimétrie.

Mode opératoire

1. On prend 200 g de l'échantillon;
2. Etuver le à une température de 80°C en cas nécessaire à $105-110^\circ\text{C}$;
3. Après 48 h placer le dans un dessiccateur pendant $\frac{1}{4}$ heure ;
4. Tamiser à 0,2 mm et peser 0,5 g (m_0);
5. Mettre m_0 dans un bécher.
6. Ajouter 100 ml de HCl (0.1N) (V_a).
7. Ajouter 03 goutts de Methyl rouge
8. Titrer par NaOH 0.01N jusqu'à coloration brun rougeâtre;
9. Noter le volume (V_b) ;

Expression des résultats

La teneur en calcaire est calculée par la formule suivant :

$$\text{CaCO}_3 = \frac{5 \times (\text{Va} - \text{Vb})}{m_0} \quad (14)$$

D'où :

- CaSO_3 : teneur en calcaire en (%).
- Va : volume ajouté en HCl (100 ml).
- Vb : volume titrage en NaOH en (ml).
- m_0 : poids de prise d'essai (0,5 g).



Photo III-9 : mesure du calcaire (labo CRS université d'Ouargla 2018).

III.3.2.7. La conductivité électrique et le pH

- La conductivité électrique a été déterminée par un conductimètre à électrode.
- Le pH est mesuré par un pH mètre à électrode.

III.3.2.8. Dosage des anions (Les chlorures, les sulfates, les carbonates et bicarbonates)

a) Les chlorures

Réaction des ions de chlorure avec des ions d'argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5 afin de permettre la précipitation. (BOUTELLI Med H, 2012).

Mode opératoire

1. La pris d'essais est de 100 ml ;
2. Prendre 25ml ou 50ml de l'eau à analyser puis compléter 100 ml d'eau distillée (par rapport de valeur de CE de l'eau à analyser) ;
3. Ajouter 1ml K_2CrO_4 (coloration jaunâtre) ;
4. Titrer avec $AgNO_3$ à 0.01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

La relation générale de titrage est :

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \tag{15}$$

Expression des résultats

$$[Cl^-] = \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times M_{Cl^-} \times D}{PE} \tag{16}$$

D'où :

- V_{AgNO_3} : volume d'AgNO3 nécessaire pour le dosage de l'échantillon.
- N_{AgNO_3} : Normalité d'AgNO3, égale à 0,01
- M_{Cl^-} : Masse des chlorures, égale à 35,5 mg
- D : Dilution.
- PE : Prise d'essai

La concentration des chlorures est exprimée en mg/l.

b) Les Sulfates

Les sulfates ont été dosés par le spectrophotomètre DR 2800 : c'est une appaerille qui fonction avec la loi de Ber Labeur. On a deux programme le programme HACH et programme utilisateur ce dernier on a préparé une gamme des étalonnages (absorption moléculaire) des étalons avec des concentrations données et on trouve leur absorbance.



Photo III-10 : Photo du Spectrophotomètre DR 2800 (labo ADE Ouargla 2018).

Mode opératoire

1. Prendre 10 ml ou 25ml d'eau à analyser puis compléter à 50 ml d'eau distillée ;
2. Ajouter 2.5 ml de la solution stabilisante ;
3. Ajouter 1 ml de chlorure de baryum ;
4. Prendre 50ml d'eau distillée et Ajouter 2.5 ml de la solution stabilisante puis Ajouter 1 ml de chlorure de baryum ;
5. Lire la valeur de volume de sulfates par l'appareil DR 2800 à trois essais.

Expression des résultats

La concentration des sulfates exprimée en mg/l, est égale à la valeur lue sur le spectrophotomètre multipliée fois le facteur de la dilution.

c) Carbonates et bicarbonates

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH = 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

Mode opératoire

1. Prendre 25 ml à 50ml d'eau à analyser.

2. Ajout 03 gout de Méthyl orange ;
 3. Complété à 100ml à l'eau distillée ;
 4. Titrée avec H₂SO₄ jusqu'à coloration rouge brique : Si le pH de l'échantillon est inférieur à 8,3 (le TA =0, CO₃²⁻=0) ou si à coloration transparent d'un pH de l'échantillon à supérieur à 8,3 ; pour TA :
1. Prendre 100 ml d'eau à analyser.
 2. Ajout 03 gout de phénol phtalyne ;
 3. Titrée avec H₂SO₄ jusqu'à coloration Move

Expression des résultats

$$[TAC] = (V_e - V_B) * \frac{10}{V_t} * D \tag{17}$$

$V_B = 0.8$ ml; $PH > 8.3 \rightarrow V_1/5$ ml

$$[HCO_3^-] = \frac{61}{50} [TAC] \tag{18}$$

(3)

D'où :

- V_A : volume d'acide versé.
- N_A : Normalité d'acide versé, égale à 0,1.
- MHCO₃⁻ : Masse des bicarbonates, égale à 61 mg.
- PE : Prise d'essai.
- D : dilution.

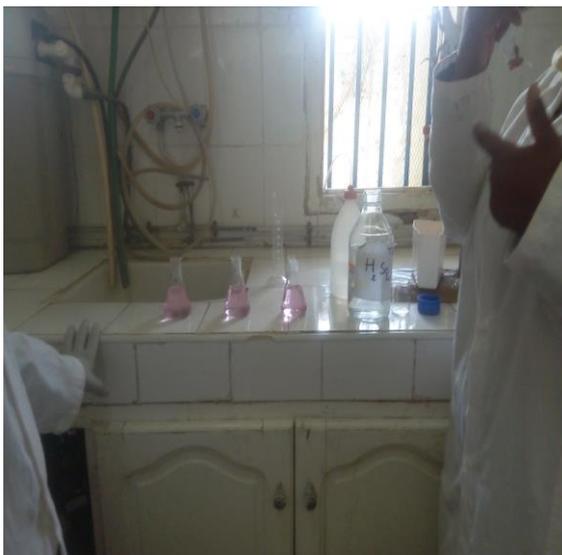


Photo : III-11 : Méthode volumétrique de TAC et TA (labo ADE Ouargla 2018).

III.3.2.9. Dosage des cations (le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium).

a) Sodium et potassium

Le sodium et le potassium ont été dosés par photométrie à flamme. Appareil Dr LANGE (JENWAY). La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino - terreux.

Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium etc...) sont généralement sous forme de sels.

Mode opératoire

Pour l'appareil Dr LANGE (JENWAY). Il faut le suivre étape par étape :

1. Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (Power).
2. Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz.
3. Allumer la flamme à l'aide du bouton noir "IGNITION" sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage "FLM" en rouge sur l'écran.
4. Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
5. Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton " fuel " jusqu'à ce que la couleur devienne bleue violacée.
6. Optimiser à zéro à l'aide du bouton "Blank".
7. Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
8. Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de Na⁺ ou du K⁺ à 10 mg/l.
9. Optimiser à 10 mg/l à l'aide du bouton "FINE"
10. Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de "Na⁺" ou de "K⁺" à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
11. Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de "Na⁺" ou de "K⁺" à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10).
12. Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.

13. A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon).

Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l, voir l'annexe II.



Photo III-12 : Photométrie à flamme Dr LANGE (JENWAY) (labo CRS université d'Ouargla 2018).

b) Calcium et Magnesium

Titrage molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) à pH=10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions de calcium et de magnésium, est utilisé comme indicateur.

Mode opératoire

(V1) Ca²⁺:

1. Prendre 10 à 25 ml d'eau à analyser ;
2. Complété à 50ml à l'eau distillée ;
3. Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N ;
4. Ajouter du meroxide 0,5 g ;
5. Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (muove).

(V2) TH ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$) :

1. Pour calculer TH on Prend 10 à 25 ml d'eau à analyser ;
2. Complété à 50ml à l'eau distillée ;
3. Ajouter 4 ml de solution tampon NH_4OH ;
4. Ajouter trois gouttes de noir eriochrome ;
5. Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).



Photo III-13 : Méthode volumétrique de Calcium et Magnésium (labo ADE Ouargla 2018).

Expression des résultats

La détermination de la concentration en mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante:

$$[Ca^{2+}] = \frac{V_1 \times C_{EDTA} \times D \times M_{Ca^{2+}}}{PE} \times 1000 \quad ; \quad [TH] = \frac{C_2 \times V_2 \times M_{TH} \times D \times 10^3}{PE} \quad (19)$$

D'où :

- V_1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.
- C: Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).
- $M_{Ca^{2+}}$: Masse molaire du calcium (40,08 g).
- PE : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage) (50ml).
- D: dilution

- $M_{TH} = 100.08$

La détermination de la concentration en mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante :

$$[Mg^{+2}] = \frac{C * (V_{TH} - V_{Ca^{+2}}) * M_{Mg^{+2}} * D * 10^3}{PE} \quad (20)$$

D'où :

- V_1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.
- C: Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).
- MMg^{2+} : Masse molaire du Magnésium (24,30 g).
- PE: Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage) (50ml).
- D: dilution.

III.3.2.10. Résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau filtrée permet d'évaluer le résidu qui correspond seuls aux matières dissoutes (BOUTELLI Med H, 2012).

Mode opératoire

1. Tarer les capsules préalablement lavées, rincées à l'eau distillée et desséchées ;
2. Prélever 100 ml d'eau à analyser dans les fioles jaugées et déverser les dans les capsules ;
3. Porter cette dernière à l'étuve à 105°C pendant 24 heures ;
4. Laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur ;
5. Peser immédiatement et rapidement.

Expression des résultats

$$[RS] = (PP - PV) 10 \times 1000 \quad (21)$$

D'où :

- PP : Poids plein de la capsule.
- PV : Poids vide de la capsule.

La concentration du résidu sec est exprimée en mg/l.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présentés les différents méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques et granulométrique du sol et les paramètres du l'eau d'irrigation uniquement physico-chimiques qui sont considères comme des indicateur de type du sol et de eaux.

Chapitre-VI

Résultats ET

Discussion

Introduction

Dans cette partie, nous rapportons les résultats des mesures de différentes analyses que nous avons effectuées sur les eaux d'irrigation et les sols irrigués et non irrigués échantillonnées au niveau des lieux d'étude. Sous forme des tableaux, les valeurs des différents paramètres sont présentées pour chaque sondage ou puits.

IV.1. Résultats des mesures et des analyses

IV.1.1. Résultats des analyses du sol

IV.1.1.1. Analyse granulométrique

Quarante-deux échantillons ont été prélevés dans les périmètres à l'aide d'une tarière. L'analyse des échantillons ont été effectuée au laboratoire. L'analyse granulométrique porte sur les fractions (meubles) sableuses. Celles-ci après conditionnement (lavage et séparation de la fraction sableuse, séchage à l'étuve) sont tamisées dans une colonne de neuf tamis vibrants de mailles comprises entre 0,08 et 10mm.

Tableau IV-1 : Catégories granulométrique des sables du périmètre El-Wifak

Sondage	Gp (%)	Sg (%)	Sm (%)	Sf (%)	Lim (%)
SW1	1,65	26,36	6,18	64,16	1,64
SW2	3,07	23,82	6,36	65,4	1,35
SW3	2,96	29,72	9,01	57,28	1,02
SW4	4,13	31,23	6,21	56,53	1,89
SW5	1,62	14,25	2,42	75,24	6,49

Tableau IV-2 : Catégories granulométrique du périmètre des Jeunes

Sondage	Gp (%)	Sg (%)	Sm (%)	Sf (%)	Lim (%)
SJ1	1,93	26,51	10,27	59,95	1,34
SJ2	1,98	11,99	4,92	80,55	0,56
SJ3	3,02	39,56	9,29	47,62	0,52
SJ4	1,89	26,65	7,79	62,14	1,56

Classes granulométriques (%): Gp (gravier petit) ; Sg (sables grossiers), Sm (sables moyens), Sf (sables fins) ; Lim (limon).

Tableau IV-3 : Paramètres physiques du sable pour les deux périmètres

Sondage	Uc		Cu		Granulométrie
	Max	Min	Max	Min	
SW1	5,00	3,07	5,91	2,76	Variée
SW2	6,67	3,90	6,13	4,25	Variée
SW3	5,71	2,55	7,37	4,45	Variée
SW4	6,88	3,33	7,50	4,14	Variée
SW5	6,00	5,15	6,11	4,44	Variée
SJ1	6,53	3,33	6,47	4,00	Variée
SJ2	3,86	2,57	4,54	2,14	Variée
SJ3	7,68	3,94	11,08	5,50	Variée
SJ4	8,13	3,23	6,78	3,60	Variée

IV.1.1.2. Analyse physicochimique

Ce type d'analyse est effectué sur l'extrait dilué 1/5 du sol prélevés au niveau des deux périmètres agricoles, nous avons présenté les résultats sous forme des tableaux qui regroupent tous les paramètres physiques et chimiques mesurés dans chaque sondage.

Tableau IV-4 : Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°W1

Caractéristiques	Unité	Min	Max	Moyen	Ecart-type	
CE à 25 °C	mS/cm	0,72	3,98	1,65	1,39	
Salinité	g.l ⁻¹	0,33	1,83	0,76	0,64	
Résidu sec	mg.l ⁻¹	0,40	2,00	1,08	0,69	
PH		6,50	8,04	7,15	0,60	
Humidité	%	0,00	0,00	0,00	0,00	
Taux du Calcaire		0,00	6,90	2,98	3,02	
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na ⁺	mg.l ⁻¹	114,73	182,98	134,24	27,80
	K ⁺		3,98	19,92	8,42	6,93
	Ca ⁺⁺		80,16	172,54	131,66	34,66
	Mg ⁺⁺		36,46	97,20	65,23	27,56
	HCO ₃ ⁻		7,54	15,97	11,18	3,71
	Cl ⁻		242,35	2514,35	975,45	911,99
	SO ₄ ⁻		49,00	82,00	58,80	13,99
	NO ₃ ⁻	0	0,01	0,01	0	
SAR		1,89	3,25	2,45	0,59	
ESP	%	1,51	3,41	2,29	0,82	

Tableau IV-5 : Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°W2

Caractéristiques	Unité	Min	Max	Moyen	Ecart-type	
CE à 25 °C	mS/cm	0,19	0,53	0,33	0,14	
Salinité	g.l ⁻¹	0,09	0,25	0,15	0,06	
Résidu sec	mg.l ⁻¹	0,00	2,80	1,20	1,38	
PH		7,30	7,50	7,38	0,11	
Humidité	%	4,95	16,33	11,72	5,99	
Taux du Calcaire		0,00	6,10	3,36	3,12	
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na ⁺	mg.l ⁻¹	111,80	119,62	115,12	3,50
	K ⁺		2,14	3,06	2,55	0,37
	Ca ⁺⁺		17,64	94,43	44,54	31,46
	Mg ⁺⁺		3,89	29,20	16,53	10,16
	HCO ₃ ⁻		5,11	15,10	10,18	4,61
	Cl ⁻		75,73	371,09	190,85	109,80
	SO ₄ ⁻		45,00	159,00	88,40	48,03
	NO ₃ ⁻	0,00	0,02	0,01	0,01	
SAR		2,58	6,23	4,34	1,59	
ESP	%	2,48	7,35	4,86	2,11	

Tableau IV-6 : Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°W3

Caractéristiques	Unité	Min	Max	Moyen	Ecart-type	
CE à 25 °C	mS/cm	0,22	0,32	0,26	0,04	
Salinité	g.l ⁻¹	0,10	0,15	0,12	0,02	
Résidu sec	mg.l ⁻¹	0,00	3,80	2,12	1,78	
PH		7,50	8,50	7,90	0,40	
Humidité	%	5,71	20,54	15,85	5,82	
Taux du Calcaire		0,00	4,50	2,22	2,09	
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na ⁺	mg.l ⁻¹	99,80	118,64	112,92	7,54
	K ⁺		1,94	4,38	3,01	0,93
	Ca ⁺⁺		11,22	20,84	16,99	3,69
	Mg ⁺⁺		3,89	10,69	7,39	2,80
	HCO ₃ ⁻		1,72	13,94	9,41	4,63
	Cl ⁻		151,47	249,92	204,48	41,13
	SO ₄ ⁻		50,00	56,00	53,60	2,61
	NO ₃ ⁻	0,00	0,01	0,01	0,00	
SAR		4,52	6,78	5,88	0,96	
ESP	%	5,13	8,03	6,89	1,24	

Tableau IV-7 : Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°W4

Caractéristiques	Unité	Min	Max	Moyen	Ecart-type	
CE à 25 °C	mS/cm	0,22	0,26	0,23	0,01	
Salinité	g.l ⁻¹	0,10	0,12	0,11	0,01	
Résidu sec	mg.l ⁻¹	0,00	4,60	3,04	2,01	
PH		7,10	8,40	7,70	0,54	
Humidité	%	3,75	17,53	7,93	5,60	
Taux du Calcaire		0,00	4,70	2,40	2,25	
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na ⁺	mg.l ⁻¹	114,73	120,60	116,88	2,33
	K ⁺		1,41	5,70	3,36	1,93
	Ca ⁺⁺		9,62	17,64	15,07	3,13
	Mg ⁺⁺		4,86	9,72	7,78	1,82
	HCO ₃ ⁻		0,88	13,48	9,05	4,77
	Cl ⁻		174,19	234,77	202,97	24,19
	SO ₄ ⁻		37,00	71,00	49,40	15,98
	NO ₃ ⁻	0,00	0,01	0,01	0,00	
SAR		5,86	6,60	6,11	0,31	
ESP	%	6,88	7,81	7,19	0,39	

Tableau IV-8 : Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J1

Caractéristiques	Unité	Min	Max	Moyen	Ecart-type	
CE à 25 °C	mS/cm	0,15	0,20	0,17	0,04	
Salinité	g.l ⁻¹	0,07	0,09	0,08	0,02	
Résidu sec	mg.l ⁻¹	0,00	2,20	1,10	1,56	
PH		7,70	8,40	8,05	0,49	
Humidité	%	/	/	/	/	
Taux du Calcaire		5,60	6,20	5,90	0,42	
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na ⁺	mg.l ⁻¹	85,93	85,93	85,93	0,00
	K ⁺		2,93	4,91	3,92	1,40
	Ca ⁺⁺		24,05	28,86	26,46	3,40
	Mg ⁺⁺		5,83	145,83	75,83	98,99
	HCO ₃ ⁻		0,07	10,69	5,38	7,51
	Cl ⁻		106,03	151,47	128,75	32,13
	SO ₄ ⁻		45,00	64,00	54,50	13,44
	NO ₃ ⁻	0,01	0,01	0,01	0,00	
SAR		1,45	3,81	2,63	1,67	
ESP	%	0,88	4,18	2,53	2,33	

Tableau IV-9 : Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J2

Caractéristiques	Unité	Min	Max	Moyen	Ecart-type	
CE à 25 °C	mS/cm	0,24	0,33	0,29	0,04	
Salinité	g.l ⁻¹	0,11	0,15	0,13	0,02	
Résidu sec	mg.l ⁻¹	0,20	0,40	0,24	0,09	
PH		7,00	7,70	7,44	0,29	
Humidité	%	0,91	9,44	2,67	3,78	
Taux du Calcaire		0,00	4,10	2,10	1,97	
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na ⁺	mg.l ⁻¹	74,95	119,62	102,82	17,60
	K ⁺		2,60	15,63	6,12	5,42
	Ca ⁺⁺		11,22	88,18	62,52	30,17
	Mg ⁺⁺		14,58	31,11	22,75	7,58
	HCO ₃ ⁻		9,75	22,18	13,91	5,04
	Cl ⁻		113,60	227,20	180,24	57,78
	SO ₄ ⁻		60,00	190,00	116,80	47,17
	NO ₃ ⁻	0,00	0,00	0,00	0,00	
SAR		1,95	5,42	3,11	1,36	
ESP	%	1,58	6,31	3,19	1,84	

Tableau IV-10 : Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J3

Caractéristiques	Unité	Min	Max	Moyen	Ecart-type	
CE à 25 °C	mS/m	0,40	1,35	1,08	0,39	
Salinité	g.l ⁻¹	0,18	0,62	0,50	0,18	
Résidu sec	mg.l ⁻¹	0,20	5,40	2,88	2,22	
PH		7,05	8,05	7,68	0,40	
Humidité	%	1,01	1,01	1,01	0,00	
Taux du Calcaire		0,00	6,10	2,60	2,63	
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na ⁺	mg.l ⁻¹	110,82	127,44	117,47	7,49
	K ⁺		11,01	19,26	16,29	3,45
	Ca ⁺⁺		60,12	272,54	157,11	76,07
	Mg ⁺⁺		7,29	97,22	49,09	37,08
	HCO ₃ ⁻		18,63	26,62	21,03	3,24
	Cl ⁻		181,76	681,60	360,49	197,89
	SO ₄ ⁻		86,00	265,00	159,60	65,63
	NO ₃ ⁻	0,00	0,00	0,00	0,00	
SAR		1,84	3,25	2,24	0,58	
ESP	%	1,43	3,41	1,99	0,82	

Tableau IV-11 : Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J4

Caractéristiques	Unité	Min	Max	Moyen	Ecart-type	
CE à 25 °C	mS/m	0,15	0,37	0,25	0,11	
Salinité	g.l ⁻¹	0,07	0,17	0,12	0,05	
Résidu sec	mg.l ⁻¹	1,60	4,20	3,52	1,10	
PH		7,40	8,20	7,86	0,31	
Humidité	%	1,01	13,03	6,48	6,08	
Taux du Calcaire		0,00	6,30	2,80	2,78	
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na ⁺	mg.l ⁻¹	89,84	127,50	108,35	15,05
	K ⁺		2,53	4,64	3,15	0,86
	Ca ⁺⁺		16,03	36,07	27,73	8,77
	Mg ⁺⁺		17,01	49,58	35,68	14,56
	HCO ₃ ⁻		9,75	22,18	14,82	5,20
	Cl ⁻		166,61	408,96	254,46	101,27
	SO ₄ ⁻		51,00	70,00	63,40	7,96
	NO ₃ ⁻	0,00	0,01	0,00	0,00	
SAR		2,32	3,92	3,29	0,75	
ESP	%	2,11	4,32	3,46	1,03	

Tableau IV-12 : Résultats analytiques de caractérisation du sol du sondage n°J5

Caractéristiques	Unité	Min	Max	Moyen	Ecart-type
CE à 25 °C	mS/cm	0,10	0,57	0,39	0,21
Salinité	g.l ⁻¹	0,05	0,26	0,18	0,09
Résidu sec	mg.l ⁻¹	0,20	3,00	1,72	1,33
PH		7,10	8,10	7,62	0,43
Humidité	%	1,01	2,51	1,32	0,67
Taux du Calcaire		0,00	3,00	1,54	1,43
Teneur en sels solubles dans l'extrait 1/5	Na ⁺	89,84	131,42	114,28	15,41
	K ⁺	4,45	23,88	9,56	8,12
	Ca ⁺⁺	24,05	172,34	106,61	62,00
	Mg ⁺⁺	4,86	36,46	18,57	13,26
	HCO ₃ ⁻	10,22	25,73	19,52	5,75
	Cl ⁻	151,47	212,05	190,85	25,34
	SO ₄ ⁻	66,00	108,00	82,80	17,28
	NO ₃ ⁻	0,00	0,02	0,01	0,01
SAR		2,15	4,97	2,95	1,15
ESP	%	1,87	5,72	2,97	1,56

Les conductivités des sols de différents sondages varient entre 0,10 et 3,98 mS/cm. Ces valeurs indiquent une minéralisation moyenne. Des variations horizontales et verticales notables des conductivités dans les sols à cause de l'hétérogénéité lithologique.

Les valeurs de pH, mesurées dans les solutions des sols, paraissent proches de la neutralité, avec des faibles écarts types de 0,10 à 0,37. Les sols de premier périmètre (El-Wifak) possèdent des pH variant entre 6,50 et 8,50 et variant entre 7 et 8,2 pour le deuxième périmètre.

Les sols des périmètres présentent des teneurs de calcium légèrement supérieur, le calcium dépasse largement la concentration de 200 mg.l⁻¹ dans des quelque échantillons et voir une moyenne aux alentours de 70 mg/l. La pluparts des concentrations moyennes de magnésium observées, sont proches à la valeur de 18 mg/l, sauf au dernier sondage dans le premier périmètre que nous observons une valeur très basse en cet élément. Cependant, toutes les valeurs dépassent 4 mg/l. Les chlorures dans les sols analysés dévoilent des concentrations élevés. La concentration moyenne est plus de 300 mg/l, avec 73% des échantillons dépassant 180 mg/l.

Le sodium, affiche des concentrations plus ou moins élevé et dépassent 100 mg/l dans la pluparts des échantillons, sauf dans des quelques sol où cette valeur affiche des minimales valeurs. Les teneurs en potassium observées dans ces sols, avec des valeurs qui ne dépassent pas 30 mg/l. La mesure présente des valeurs du sulfate ne dépassent pas 70 mg/l. Dans les 60 % des échantillons. La concentration moyenne de cet élément est de 82,69 mg/l.

IV.1.2. Résultats des mesures et des analyses des eaux

IV.1.2.1. Paramètres physiques

Dans ces tableaux nous avons présenté les différents paramètres physiques mesurés lors de prélèvement des échantillons des eaux d'irrigation.

Tableau IV-13 : Paramètres physique mesurés dans les trois puits

Paramètre	Puits 01	Puits 02	Puits03
Température	21,2	23,4	47,8
CE (ms/cm)	5,11	6,66	2,55
Résidu sec	2,2	1,6	1,4
Ph	7,4	7,4	7,7

Les conductivités (Tableau IV-13) des eaux des différents puits varient entre 2,55 à 6,66 ms/cm. Les valeurs de résidu sec indiquent une minéralisation moyenne pour les puits 1 et 2 mais pour le dernier puits la minéralisation est faible.

Les valeurs de pH mesurées dans les eaux d'irrigation sont légèrement alcalines. Ces eaux possèdent des pH variant entre (7,4 à 7,7).

IV.1.2.2. Electrolytes minéraux (au laboratoire)

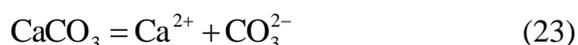
Ce type d'analyse est effectué sur les échantillons prélevés au niveau des trois forages destinés pour l'irrigation des périmètres, nous avons présenté les résultats sous forme de tableau qui regroupent tous les paramètres chimiques mesurés dans chaque puits.

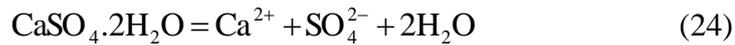
Tableau IV-14 : Paramètres chimiques mesurés dans les trois puits

Paramètre	Unité	Puits 01	Puits 02	Puits 03	
Na ⁺	mg.l ⁻¹	202,98	242,09	84,54	
K ⁺		13,65	18,60	15,63	
Ca ⁺²		248,50	304,61	164,33	
Mg ⁺²		160,41	157,98	43,75	
HCO ₃ ⁻		21,74	39,93	25,38	
Cl ⁻		4029,01	5452,80	2044,80	
SO ₄ ⁻		159,00	191,00	100,00	
No ₃ ⁻					
SAR			2,47	2,80	1,51
ESP		%	2,32	2,79	0,96

Calcium (Ca²⁺)

La présence des ions Ca²⁺ dans les eaux des nappes est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) suivant la formule (23) ainsi que les formations gypseuses (CaSO₄) suivant la formule (24).





Les eaux d'irrigation présentent des teneurs élevées. Ces eaux sont riches en calcium qui dépasse largement la concentration de **160 mg/l** voir une moyenne aux alentours de **239 mg/l**

Magnésium (Mg²⁺) :

Cet élément provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium en l'occurrence ; la dolomite selon la relation (25) suivante :



Les concentrations de magnésium observées, ne dépassent pas les valeurs naturelles au niveau de l'eau d'irrigation. Ces eaux affichent des teneurs en magnésium avec une moyenne de **120,71 mg/l**.

Sodium (Na⁺)

L'origine de sodium est liée principalement à la dissolution de l'Halite (26) (NaCl), qui se fait selon la relation suivante :



En effet, le sodium, affiche des teneurs élevées dans les eaux d'irrigation, avec une valeur maximale de plus de **240 mg/l** dans le puits n°2. Ces eaux concentrations légèrement élevés en cet élément. La concentration moyenne est de l'ordre **176 mg/l**

Potassium (K⁺)

Il provient, essentiellement, des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl) (27), ou par suite d'altération des argiles potassiques.



Les teneurs en potassium observées dans les eaux étudiées dévoilent des valeurs faibles, et dépassent légèrement la norme (**12 mg/l**). Les concentrations de potassium dans les eaux d'irrigation présentent une moyenne avoisine **16 mg/l**.

Chlorure (Cl⁻)

L'existence de cet élément est liée, essentiellement, à la dissolution de l'Halite (26).

En effet, les chlorures, de même que pour le sodium, affichent les teneurs les plus élevées dans les eaux d'irrigation, avec une valeur maximale de plus de **5 g/l** enregistrée dans le puits n°2. La concentration moyenne est plus de **3,5 g/l**.

Sulfates (SO₄²⁻)

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses, selon la relation (24). Les concentrations des sulfates dans nos eaux de dépassent **190 mg/l**. La concentration moyenne est de **150 mg/l**

Bicarbonates (HCO₃⁻)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire, dolomite...etc.) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Les pH alcalins de l'eau inférieurs à 8.3, maintiennent l'eau dans le domaine de stabilité vis-à-vis des bicarbonates dans les nappes utilisées en irrigation.

Dans Ces eaux, les concentrations moyennes en bicarbonates observées **25 mg/l** ne dépassent pas la valeur guide (**30 mg/l**). Les eaux les plus bicarbonatées sont, évidemment, celles du puits n°2 avec **39,93 mg/l**, et à degré moindre dans le puits n°3 avec **25,38 mg/l**, avec de concentrations les plus faible dans le puits n°1 avec **21,47 mg/l**.

Conclusion

L'étude granulométrique des sables au niveau des périmètres étudiés, a permis de déterminer cinq classes granulométriques. Il s'agit des limons, des sables fins, des sables moyens, des sables grossiers et des graviers petits. La classe la plus dominante est le sable fin.

Les sols présentent des conductivités moyennes, de même que pour la salinité et le résidu sec, ces valeurs indiquent une minéralisation plus ou moins élevés. Une augmentation verticale remarquable de celle-ci dans les sols à cause de l'accumulation des sels au niveau de des horizons les plus hauts.

L'analyses chimique des sols de la présentent des teneurs légèrement élevées en éléments majeurs (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Na⁺, Ca²⁺, et Mg²⁺), la valeur moyenne de calcium dépasse la concentration de 70 mg/l. Les pluparts des concentrations moyennes de magnésium

observées, sont proches à la valeur de 20 mg/l. Le sodium, de même que pour les chlorures, affiche des teneurs élevées dans nos sols, avec une maximale valeur de 180 mg/l en sodium et 2540 mg/l en chlorures. Les teneurs en potassium observées dans ces sols dévoilent des valeurs faibles. Pour les concentrations des sulfates dans les sols irrigués dépassent 37 mg/l.

Concernant les eaux d'irrigation révèle des pH alcalines, une minéralisation élevée, exprimée par la conductivité électrique et le résidu sec, des valeurs élevées et variables dans les eaux, au puits n°2, et à un degré le plus moindre dans le puits n°3.

Dans ces eaux, les teneurs en éléments majeurs sont légèrement élevées, renseignent sur une lithologie riche en évaporites (Halite, Gypse,..) de la roche réservoir.

IV.2. Interprétations et discussions des résultats

La salinité de l'eau d'irrigation et du sol de la vallée de Ouargla, comme d'ailleurs dans la majorité des régions du bassin oriental du Bas-Sahara, ont fait l'objet d'un bon nombre de travaux antérieurs pour expliquer l'origine, les causes, l'impact sur l'agriculture et sur l'environnement et l'évolution de ce phénomène au cours de l'histoire récente et tenter d'y remédier. Cependant la prédiction de l'aspect géochimique de la salinité des eaux est une démarche originale qui pourrait s'avérer fructueuse pour une meilleure connaissance des conséquences de cette salinité sur les sols et l'environnement dans cette région.

IV.2.1. Caractéristiques granulométriques du sol

IV.2.1.1. Classes Granulométriques

L'étude granulométrique des sables des périmètres étudiés, a permis de déterminer cinq classes granulométriques. Il s'agit des limons ; des sables fins, des sables moyens, des sables grossiers et des graviers petits.

- Le limon est abondant. Il a des proportions varient entre (0,52 et 1,56) %;
- Le gravier petit est peu abondant par rapport au limon. Il a des proportions varient entre (1,62 et 4,13) %;
- Le sable fin est situé à des profondeurs variables et le plus dominante car Il présente les proportions les plus élevées et varient entre (47,62 et 80,55) %;
- Le sable grossier présent comme la deuxième catégorie dominante par rapport au sable fin dont les proportions varient entre (11,99 et 39,56) %;
- Le sable moyen est classé comme la troisième catégorie dominante par rapport aux autres catégories. Il a des proportions varient entre (2,42 et 10,27) %.

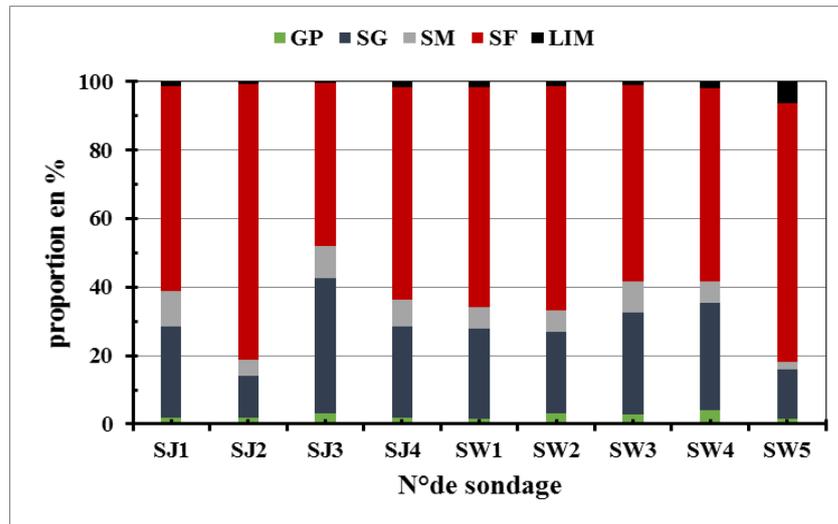


Fig IV-1. Proportions des classes granulométriques des sables au niveau des périmètres étudiés.

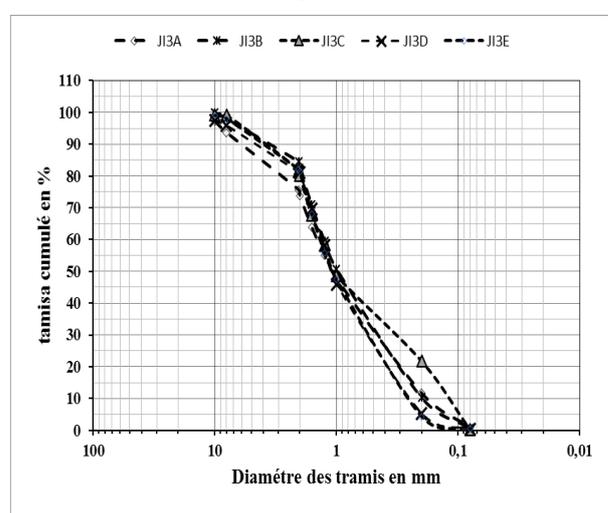
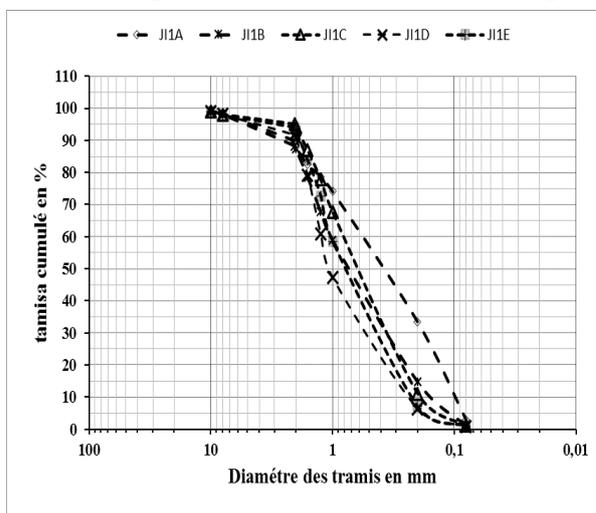
IV.2.1.2. Faciès granulométriques

L'analyse des courbes cumulatives semi-logarithmiques des sables étudiés un seul faciès (Fig IV-1), faciès parabolique. Ce faciès implique une dynamique sédimentaire, il caractérise les différents sables présentés dans les périmètres.

A partir de la courbe granulométrique, nous avons tiré et calculé les paramètres suivant :

- d_{10} : Le diamètre effectif des particules qui correspond à 10% du passant.
- d_{60} : Le diamètre effectif des particules qui correspond à 60% du passant.
- d_{25} : Le diamètre effectif des particules qui correspond à 25% du passant.
- d_{75} : Le diamètre effectif des particules qui correspond à 75% du passant.

D'après les résultats on observe que la totalité de classe de granulométrie est variée



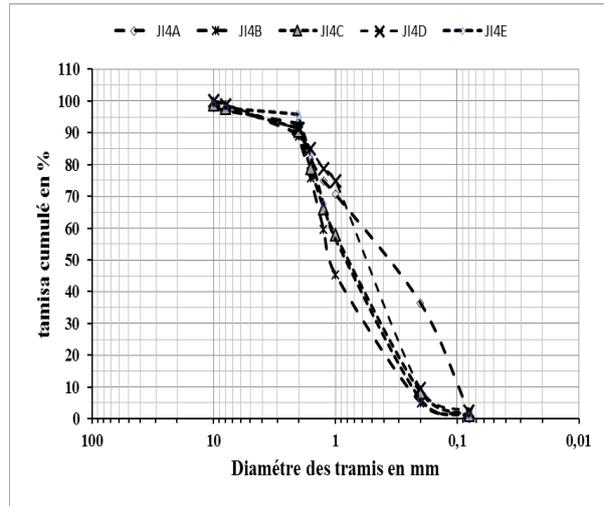
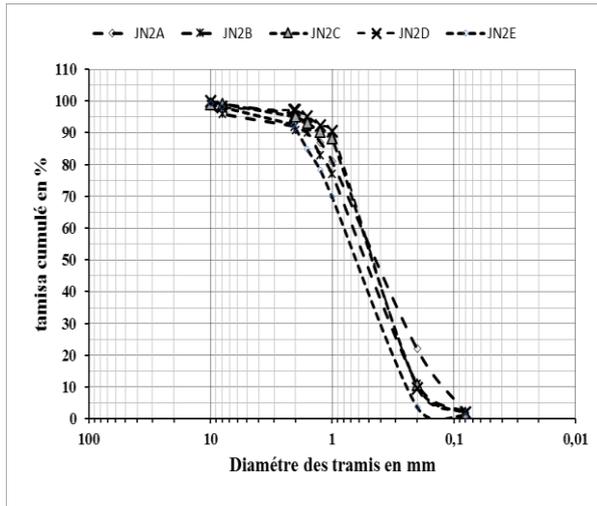
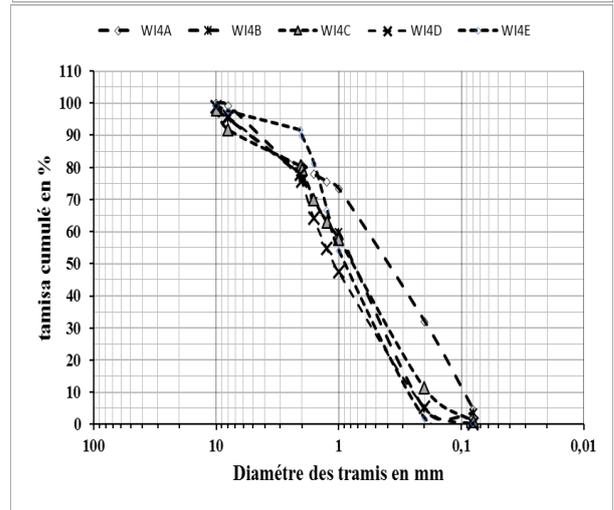
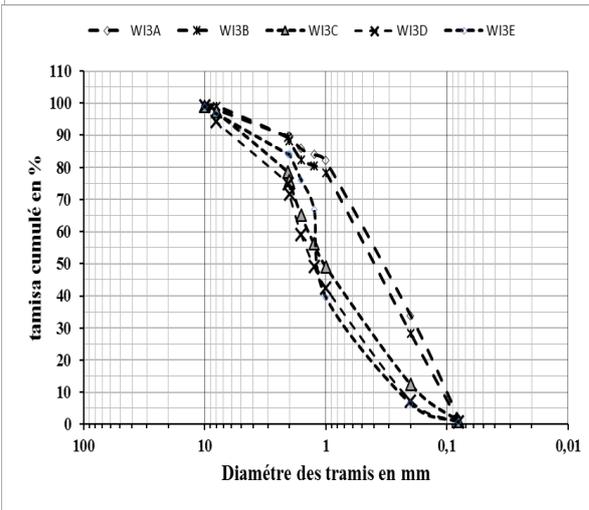
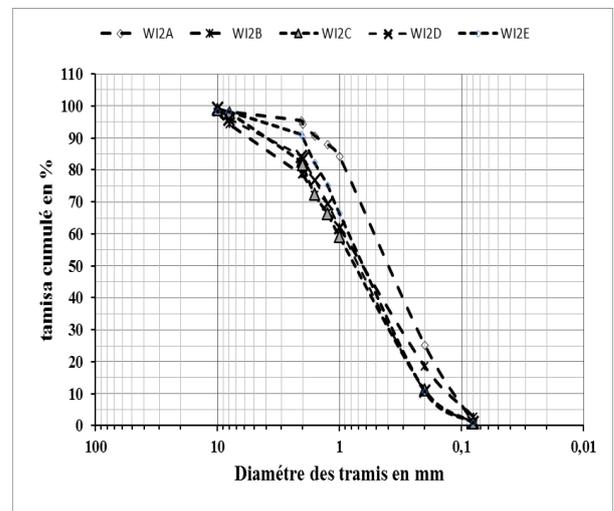
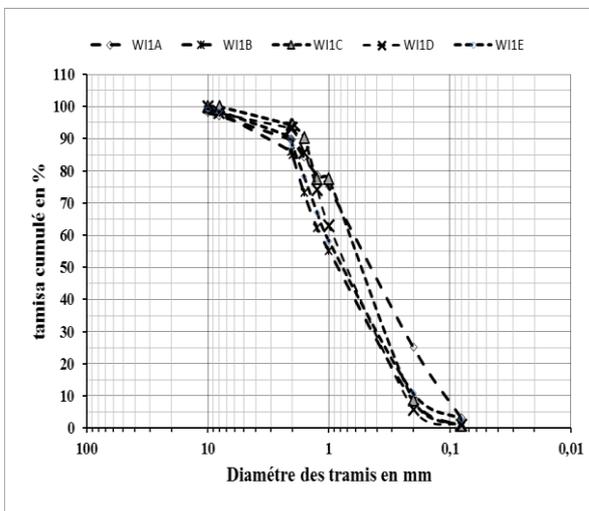


Fig IV-2 : Faciès granulométriques des sables au niveau du périmètre des jeunes



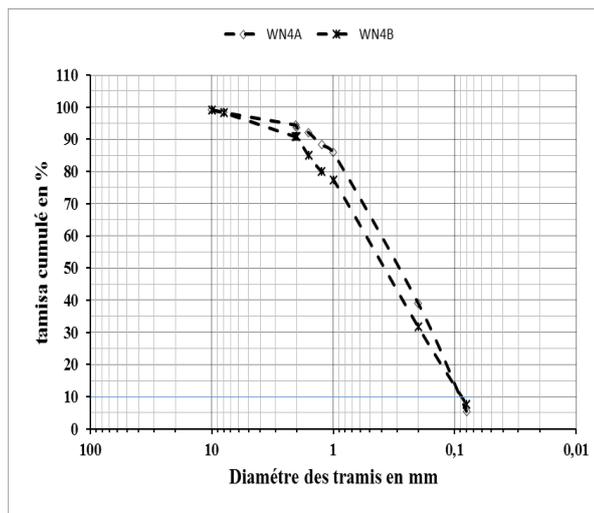


Fig IV-3 : Faciès granulométriques des sables au niveau du périmètre El-Wifak

IV.2.2. Classification des sols salés

Pour bien illustrer les catégories les plus dominantes des sols au niveau des périmètres étudiés, nous avons replacé, la conductivité électrique de la solution 1/5 du sol, en ordonnée, et le pourcentage du sodium échangeable en abscisse.

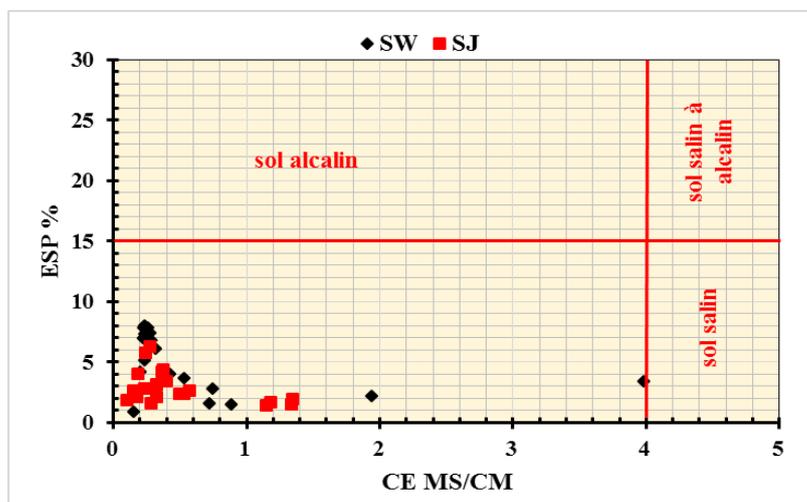


Fig IV-4 : Classification des sols salés au niveau des périmètres

Le graphique ci-dessus montre que la plupart des échantillons sont situés dans la catégorie du sol non salin ($CE < 4$ mS/cm et $ESP < 15\%$). Généralement on peut dire que ces sols ne sont pas affectés par la salinité car le lessivage est efficace et il n'y a pas d'une nappe phréatique qui contribue à l'accumulation des sels par sa remontée.

IV.2.3. Teneurs en éléments majeurs en fonction de la profondeur

Dans les graphes ci-dessous (Fig IV-5), nous avons placé, les concentrations des éléments dans les sols pour les différents sondages au niveau des périmètres, en ordonnée, et la profondeur de prélèvement en abscisse. Nous avons remarqué :

Une augmentation des teneurs en sulfate et en chlorures dans la surface du sol ce qui signifie une accumulation de cet élément dus à l'irrigation continue par des eaux riches en ces éléments surtout dans le premier périmètre (les jeunes) où sa source d'irrigation est caractérisée par un teneur de sulfate supérieur à 180 mg/l et du chlorures qui dépassent 5g/l.

Un échange des minéraux entre l'eau d'irrigation et le sol en faveur des éléments sursaturés dans l'eau. Ces derniers vont se précipiter dans le sol ce qui explique l'évolution des teneurs.

Pour les autres éléments majeur, il y a une stabilité de la concentration en comparant les profils des sols irrigués et ceux non irrigués et on a trouvés que les teneurs maximales est réside à la profondeur de 90 cm.

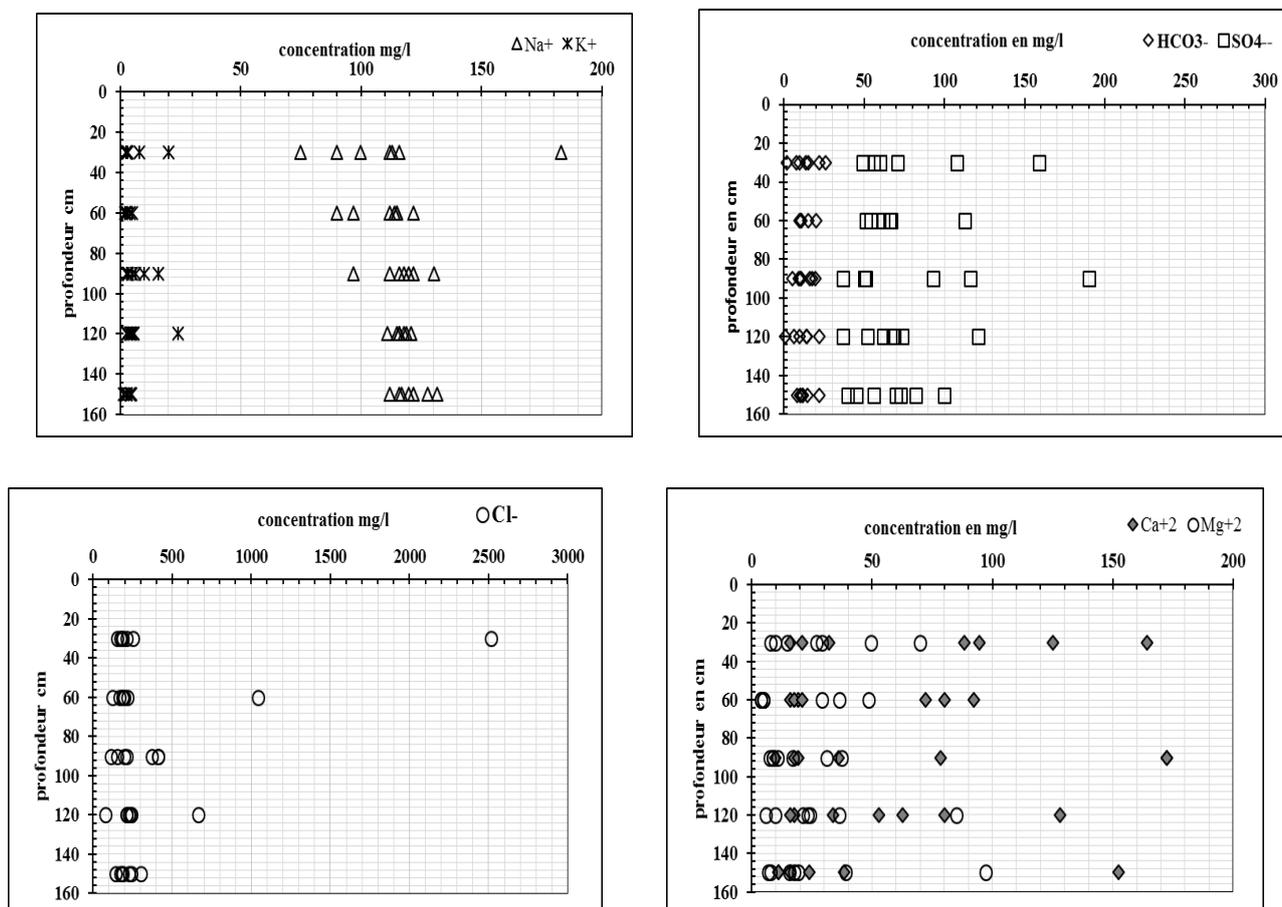


Fig IV-5 : Variations des éléments majeurs dans les sols irrigués en fonction de la profondeur

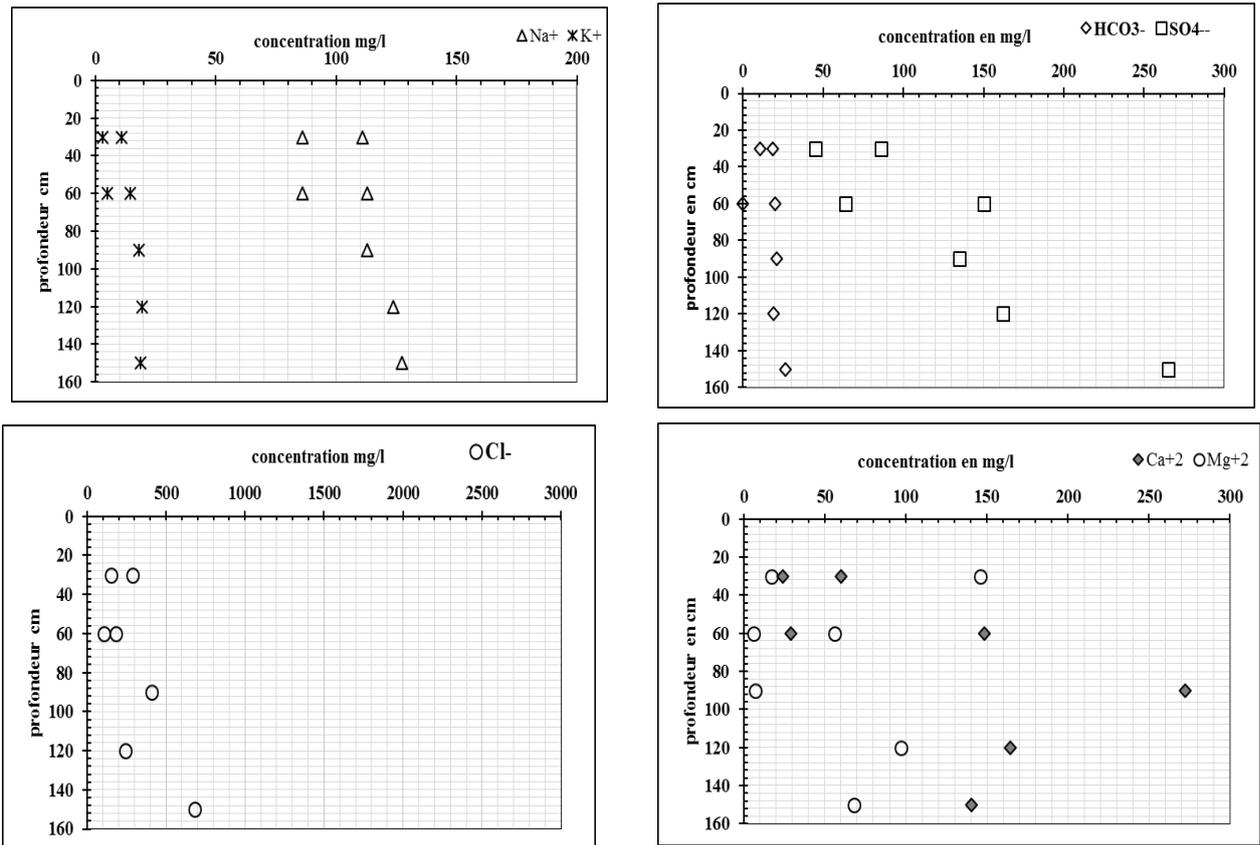


Fig IV-6 : Variations des éléments majeurs dans les sols non irrigués en fonction de la profondeur

IV.2.4. Faciès géochimique du sol et de l'eau d'irrigation

La projection des différents points sur le diagramme ($Mg^{2+}/Na^+ : SO_4^{2-}/Cl^-$), nous donne une vue d'ensemble sur la répartition des faciès géochimiques au niveau des eaux d'irrigation et au niveau du sol dans les périmètres étudiés (Fig IV-5 et Fig IV-6).

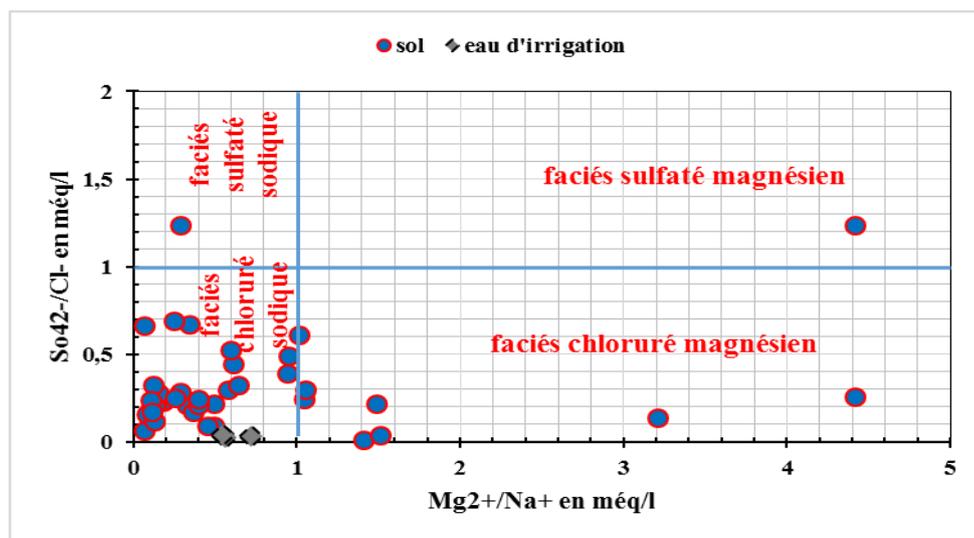


Fig IV-7 : Faciès géochimiques de l'eau d'irrigation et du sol par les rapports Mg^{2+}/Na^+ et SO_4^{2-}/Cl^-

Le (Fig IV-7) montre un faciès dominant dans le sol, le faciès chloruré sodique (79,19% des échantillons), et par un degré plus moindre le faciès chloruré magnésien 19,04 % des échantillons).

Pour l'eau d'irrigation on a trouvés que les trois échantillons sont situés dans le faciès chloruré sodique.

IV.2.5. Diagramme de concentration

Dans les diagrammes de concentration ci-dessous (Fig IV-7 et Fig IV-8), le logarithme des concentrations (méq/l) est placé en ordonnée et le logarithme du facteur de concentration en abscisse. Dans ces diagrammes, les teneurs en chlorures paraissent alignées suivant une droite de pente 1. L'ordre des éléments classés par concentration, n'est pas toujours le même, car les éléments ne se concentrent pas proportionnellement au facteur de concentration. Les teneurs de certains éléments augmentent alors que d'autres diminuent.

IV.2.6. Equilibre sels/solution et comportement des ions

Dans le diagramme ci-après (Figures IV-8), l'indice de saturation des minéraux dans les échantillons du sol, est placé en ordonnée, et le logarithme du facteur de concentration en abscisse ($IS = \text{Log} (F_c)$). Nous pouvons constater que, dès le début de concentration ($\text{log } F_c < 0.2$), les solutions sont déjà saturées (en équilibre) à sursaturées (précipitation) selon les cas en dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), en Calcite (CaCO_3), et en Aragonite (CaCO_3), contribuant ainsi au contrôle de l'alcalinité (bicarbonatée) et des teneurs en calcium et en magnésium, qui ne peuvent augmenter simultanément.

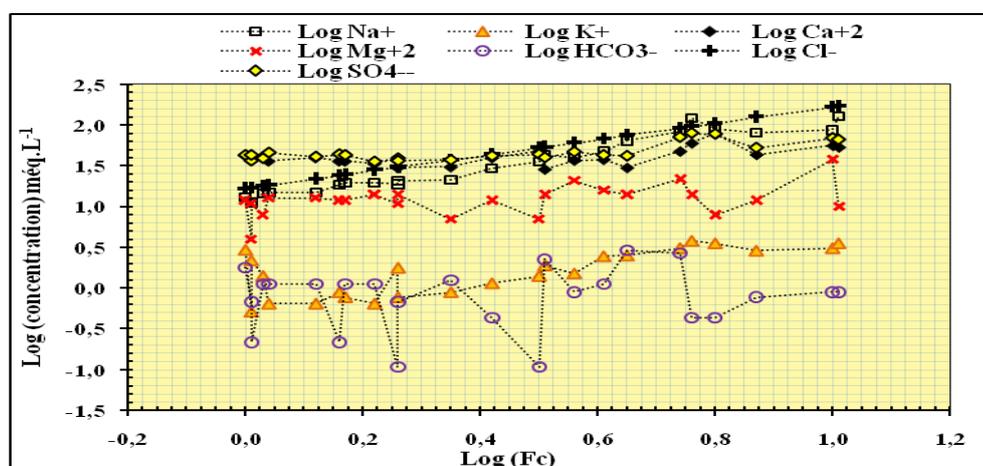


Fig IV-8 : Evolution des concentrations des éléments majeurs dans le sol en fonction du facteur de concentration

La somme des équivalents de calcium et magnésium est supérieure à l'alcalinité ($alc-2Ca-2Mg < 0$) dans la solution de départ. Les concentrations en calcium et en magnésium augmentent mais à un rythme inférieure à celui du facteur de concentrations et en accord avec l'alcalinité résiduelle Calcite négative ($alc-2Ca < 0$). Le nuage de points exprimant les concentrations sus indiquées s'incurve vers le bas, traduisant ainsi une consommation du calcium et du magnésium, alors que la teneur en sulfate demeure élevée, et en accord avec l'alcalinité résiduelle Calcite plus Gypse positive ($alc-2Ca+2SO_4 > 0$, et alcalinité résiduelle Gypse positive ($2SO_4-2Ca-2Mg > 0$). Cette évolution est conforme au concept de l'alcalinité résiduelle généralisée (Droubi, 1976).

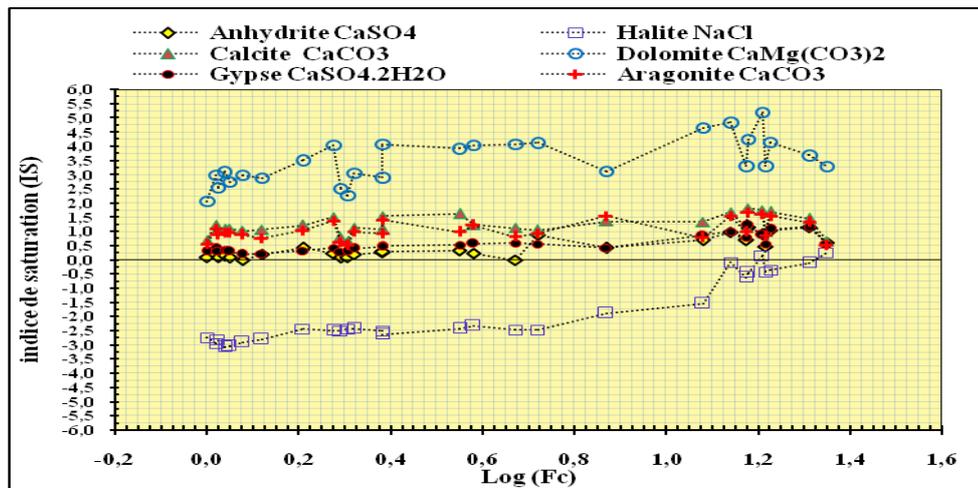


Fig IV-9 : Evolution de l'indice de saturation des minéraux dans l'eau phréatique en fonction du facteur de concentration

Concernant le sodium, il reflète une augmentation de molalité proportionnelle au facteur de concentration, donc parallèlement au chlore. Cependant l'excès du sodium pour de faibles concentration en chlorures (les échantillons les plus dilués) au détriment du calcium et du magnésium peut être expliqué également par un déséquilibre chloro-alcalin due, probablement, à un échanges de bases ou entres les eaux d'irrigation et les sols. (Nezli, 2009)

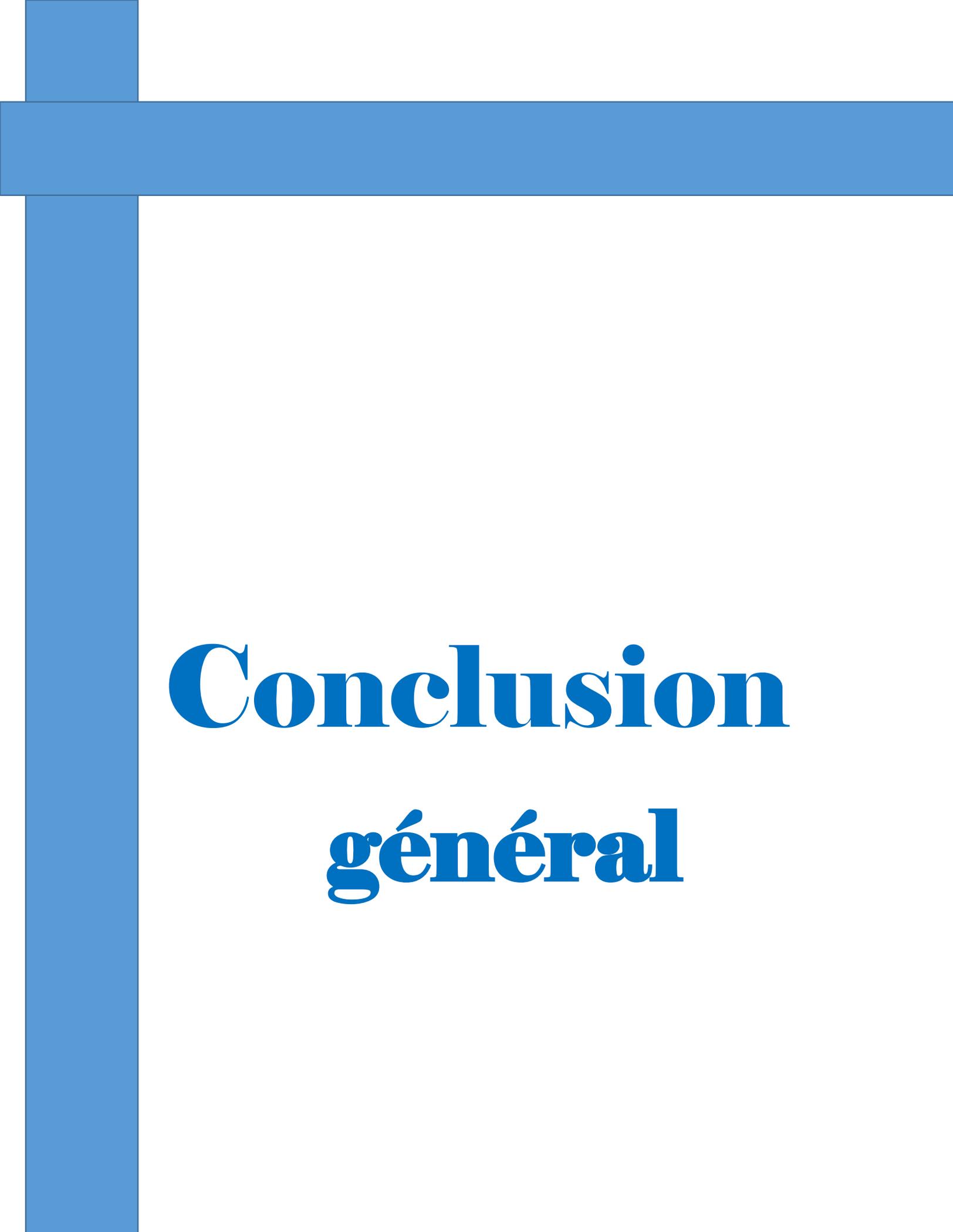
Conclusion

L'analyse des courbes granulométriques cumulatives des sables des périmètres étudiés montre un faciès parabolique. Ce faciès implique une dynamique sédimentaire, et caractérise les sables très fins.

Les sols irrigués ne sont pas affectés par la salinité car le lessivage est efficace, ces sols sont caractérisés par un faciès chimiques dominant chloruré sodique, et avec un degré moindre le faciès chloruré magnésien. Les conductivités des sols indiquent une minéralisation

moyenne. Le profil de sondages indique une accumulation des sels au aux horizons de la surface. Les variations verticales notables des conductivités dans les sols à cause de l'hétérogénéité lithologique, et à cause de l'échange des minéraux entre l'eau d'irrigation et le sol en faveur des éléments sursaturés dans l'eau. Ces derniers vont se précipiter dans le sol ce qui explique l'évolution des teneurs.

L'évolution géochimique de la salinité de l'eau d'irrigation décrite par l'indice de saturation des minéraux par rapport au facteur de concentration, montre la forte sensibilité des minéraux carbonatés à la précipitation, et à un degré moindre les minéraux évaporitiques. Les concentrations en calcium et en magnésium augmentent, mais à un rythme inférieure à celui du facteur de concentrations (Fc), et en accord avec l'alcalinité résiduelle Calcite négative ($\text{alc} - 2\text{Ca} < 0$).



Conclusion

général

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce modeste travail, il paraît important de renforcer le contrôle de la salinité dans les périmètres irrigués (et dans toutes les aires agricoles où est menée l'irrigation) et de promouvoir le développement de l'expertise sur ces questions. Ce besoin de renforcement s'explique d'abord par le contexte général de l'eau et de la salinité dans notre région : tensions croissantes sur la ressource, performance des systèmes en place souvent faible, manque de connaissance sur les évolutions (notamment de salinité) en cours. Ce besoin d'expertise s'explique ensuite par la nécessité de développer, d'évaluer et de promouvoir des méthodes adaptées aux différents contextes écologiques de notre pays.

- Les sols dans les périmètres irrigués se caractérisent par une salure moyennement élevée de l'horizon de surface.
- Un échange des minéraux entre l'eau d'irrigation et le sol en faveur des éléments sursaturés dans l'eau. Ces derniers vont se précipiter dans le sol, ce qui explique l'évolution des teneurs.
- Le profil horizontal dans le sens vertical, les teneurs en sulfate et en chlorure diminuent dans les horizons plus profonds, ce qui signifie une migration ascendante des sels à la surface du sol (remontée capillaire des sels).

Les eaux d'irrigation, se caractérisent par une conductivité électrique importante et traduit une minéralisation élevée des eaux de la nappe miopliocène.

- Cette dernière se trouve influencée, tant par les évaporites que par les carbonates, et tant par les chlorures que par les sulfates. Le faciès géochimique dominant est chloruré sodique.
- L'évolution géochimique de la minéralisation des eaux décrite par l'indice de saturation des minéraux par rapport à un facteur de concentration (CI^1), montre la forte sensibilité des minéraux carbonatés à la précipitation, et les minéraux évaporitiques à la dissolution.
- Les concentrations en calcium augmentent, mais à un rythme inférieur à celui du facteur de concentrations (Fc), et en accord avec l'alcalinité résiduelle Calcite négative ($alc - 2Ca < 0$), ce qui conduit à la voie saline neutre.

Recommandations et perspectives de recherches

La gestion efficace et durable des écosystèmes oasiens à travers leurs ressources naturelles

(Eau, sol) implique une excellente connaissance de leur disponibilité sur les plans quantitatif et qualitatif et de leur variation spatio-temporelle.

Cette connaissance doit être fondée sur la mise en œuvre de systèmes d'informations, pouvant faciliter l'accès à différents outils, tels que : Système d'information géographique, Télédétection, Cartographie, pouvant faciliter l'accès des données à ces ressources. Cela doit viser à améliorer la connaissance des ressources de ces milieux pour une exploitation modérée, raisonnée et judicieuse, en vue d'un développement durable, en renforçant les capacités techniques, scientifiques, logistiques et institutionnelles, avec des moyens appropriés.

Ce dispositif doit être soutenu par un réseau d'observatoires, implantés dans les régions sahariennes, chargés de fournir des informations de qualité homogène, susceptibles de contribuer à la mise en œuvre de programmes de réhabilitation et de développement locaux et régionaux de qualité de ces écosystèmes oasiens.

C'est dans cette perspective que le développement durable des écosystèmes oasiens doit être soutenu par des actions de développement multiformes. Il est bien évident que toutes ces actions seraient vaines et ne sauraient atteindre leur but, que dans la mesure où elles s'inscrivent dans le cadre d'un plan de développement global, cohérent, coordonné, impliquant tous les acteurs concernés et soutenu par les pouvoirs publics.

C'est à ce prix-là, que les écosystèmes oasiens doivent être perçus comme l'unique

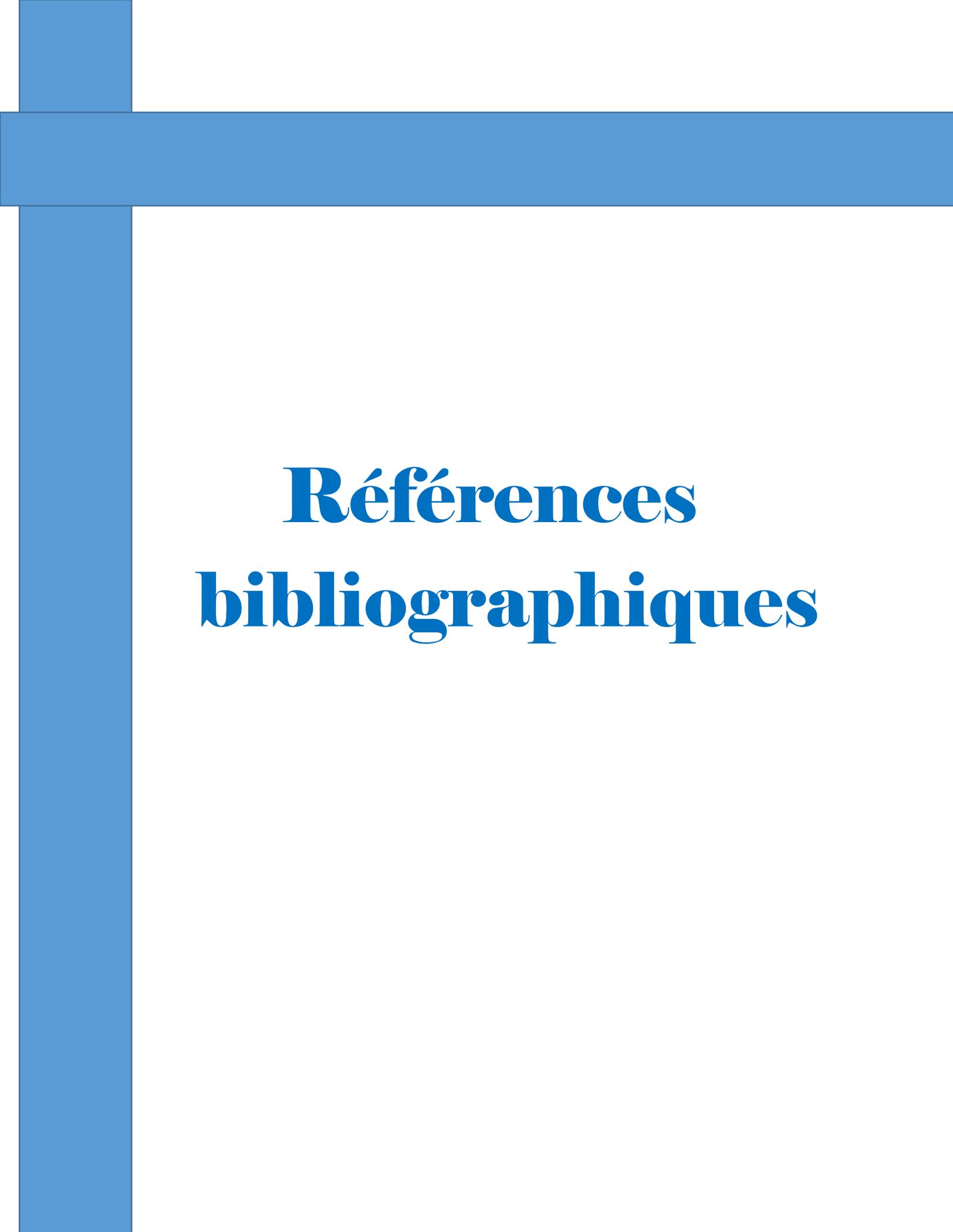
Élément pouvant contribuer au développement économique, social et écologique de ces Milieux sahariens, devant être intégrés dans un processus de développement global.

En effet, leurs ressources commandent la définition des objectifs de développement précis, notamment agricole, à travers une exploitation raisonnée des ressources de ces milieux.

Au terme de ces travaux de recherches, nous proposons les recommandations suivantes :

Les écosystèmes oasiens, au vu du rôle important qu'ils jouent dans l'équilibre, la stabilité et le développement socio-économique, doivent être protégés, à travers les ressources naturelles, qui constituent leurs potentialités par excellence, pour cela, il faut impérativement :

- Valoriser les ressources naturelles, particulièrement en eau et en sol, sans oublier la dimension humaine.
- Procéder à une exploitation raisonnée et à une utilisation rationnelle de la ressource en eau, en appliquant les systèmes et méthodes d'irrigation efficaces et économiques.
- Procéder au traitement des eaux excédentaires (eaux de drainage et eaux usées), et les utiliser au profit de l'agriculture oasienne.
- Valorisation des sols sahariens par des actions de mise en valeur appropriées dans le cadre de travaux d'aménagements appropriés, contribuant à l'extension des surfaces agricoles utiles et l'augmentation des productions agricoles sahariennes.
- Poursuivre et orienter les travaux de recherches sur les ressources en eau et en sol, sur les plans quantitatif et qualitatif, à travers les aspects de caractérisation, d'appréciation et d'impact sur l'environnement oasien. Tout cela, dans le cadre d'études approfondies par des équipes de recherches pluridisciplinaires.

The page features a blue decorative header consisting of a horizontal bar at the top and a vertical bar on the left side. The main content is centered on a white background.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abdoul Aziz GNING, 2015: Etude et Modélisation Hydrogéologique des Interactions Eaux de Surface-Eaux Souterraines dans un Contexte d'Agriculture Irriguée dans le Delta du Fleuve Sénégal, 39p et 49p.

AZOUGGAGH M ,2018 : Les différents systèmes d'irrigation, Département de Machinisme Agricole, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Copyright 2018 AQUA6 1p.

BENMOUAFKI DJ, 2011: Etude de la variabilité spatio-temporelle de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'Université de Ouargla 3p, 5-6p, 6p, 8p et 9-10p.

BOUKHALFA A, KAFI KHN, 2013 : Conséquences de l'utilisation de deux types d'eau d'irrigation sur les paramètres physico-chimique d'un sol de la station d'épuration d'Ouargla 30p, 24p, 23p, 27p et 28p.

BOUTELLI MED H, 2012 : Salinité des eaux et des sols au niveau de la Sebkha de Bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement, 3p, 4p, 6-7p, 9p, 10-11p, 11p,11-12p,23p, 24-25-26p, 31p et 41p.

BESSACI W et ABIKEUR R, 2017 : Comparaison des taux d'infestation des ravageurs entre un ancien système phoenicicole et un nouveau périmètre en mise en valeur dans la région de Ouargla, En vue de l'obtention du diplôme de Licence, 21-22p

DOUCET, ROGER, 2006 : climat et les sols agricoles (La science agricole), comprend des réf.bibliogr.et un index, S596.3.D68 2006, 244p, 261p et 266p.

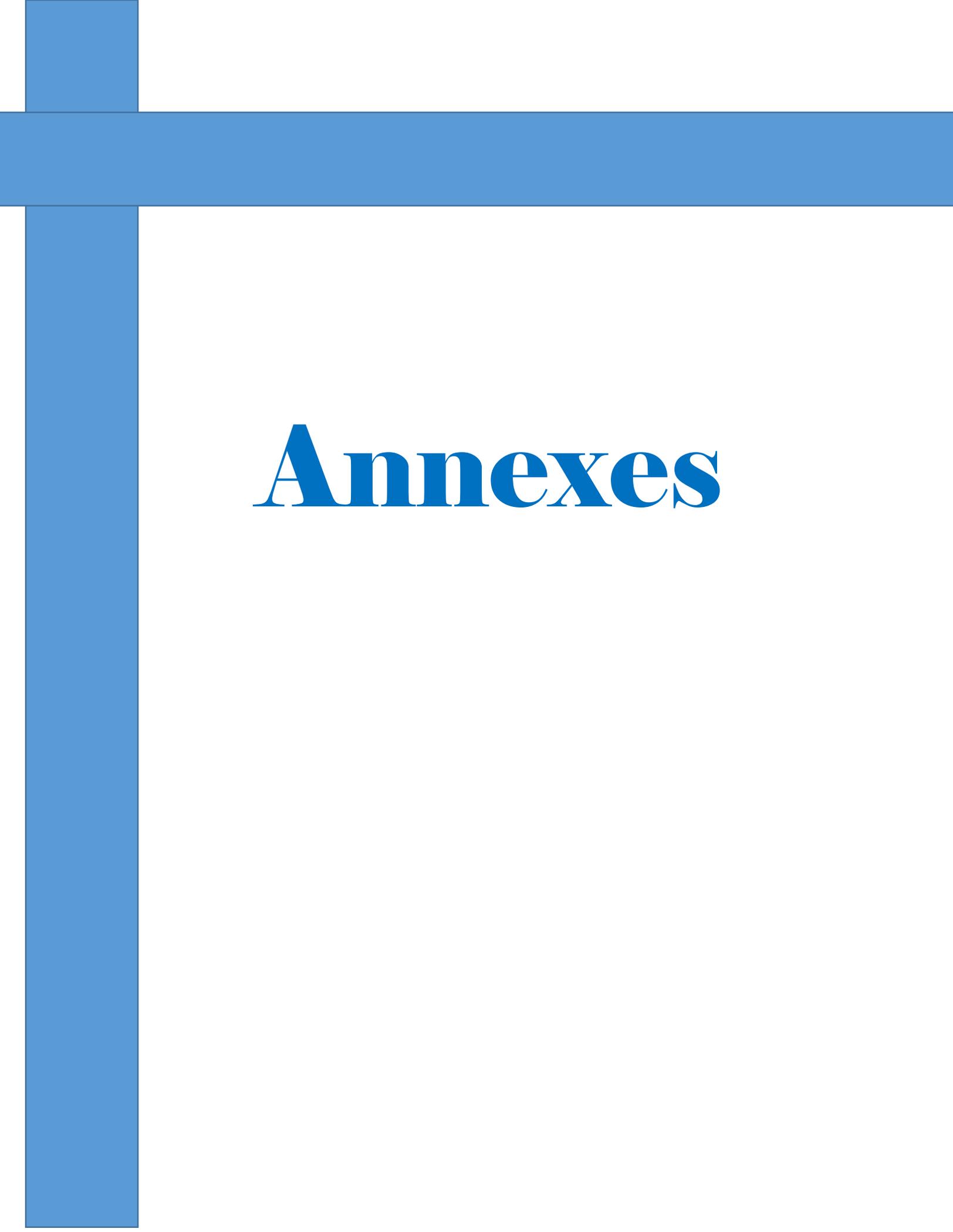
GADDA NOUR-EL-H, 2013 : Mémoire Master Academique, Impacts des eaux usées épurées sur les propriétés physicochimiques des sols dans la région d'Ouargla, 26p.

GOUAIDIA L, GUEFAIFIA O, BOUDOUKHA A. & HEMILA ML, 2013 : Evaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : Exemple de la plaine de Meskiana, nord-est algérien, 86p et 84p.

HAMMIA I, 2012 : Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies d'Oued Righ, 15p et 16-17p.

L. ZELLA, 2013 : l'irrigation par aspersion, 67p et 68p.

MICHEL-CLAUDE.G, CHRISTIAN.W, JEAN-CLAUDE.R, JACQUES.R, JEAN-LOUIS.M, DUNOD, PARIS, 2005, 2011 : sol et environnement, 729p, 729-730p, 735-736p et 741p.



Annexes

Annexes

Annexe I :

Tableau 01: Echelle de l'interprétation de pH du sol

PH	Sol
6.75 < pH < 7.25	Nature
7.25 < pH < 8.5	Alcalin
pH > 8.5	Très alcalin

(BENMOUAFKI DJ, 2011).

Echelles utilisées à l'interprétation des résultats

Tableau 02: Echelle de la salinité en fonction de la CE de l'extrait aqueux 1/5

CE (ds/m) à 25°C	Degrés de salinité
CE < 0,6	Sol non salé
0,6 < CE < 1,2	Sol peu salé
1,2 < CE < 2,4	Sol Salé
2,4 < CE < 6	Sol très salé
CE > 6	Sol extrêmement salé

(BENMOUAFKI DJ, 2011).

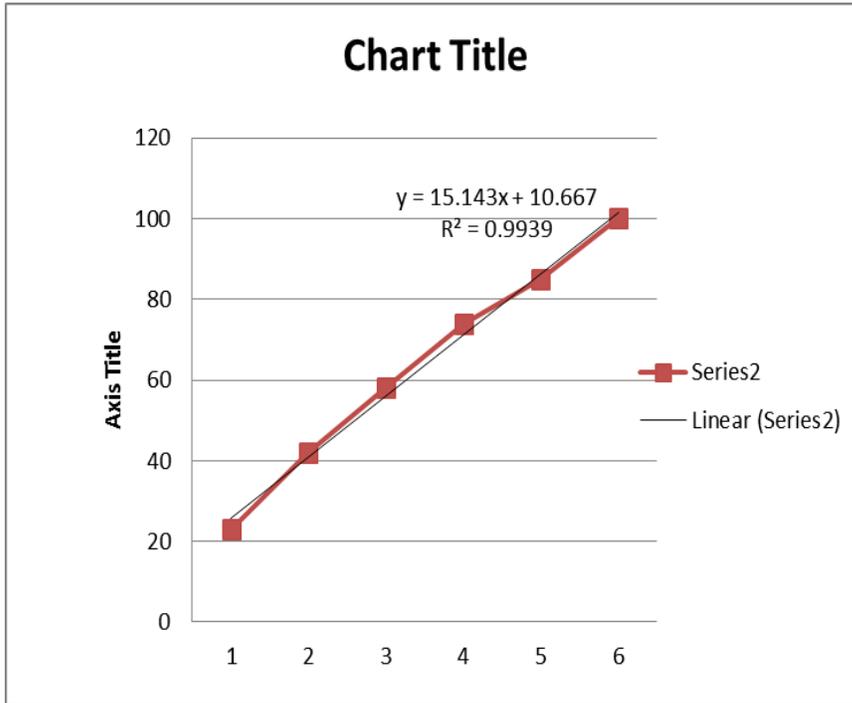
Tableau 03: Echelle de la salinité en fonction de la CE de l'extrait de patte saturée

CE patte saturée	Classe de sol
CE ≤ 2 dS/m	Non salin
2 dS/m < CE ≤ 4 dS/m	Légèrement salin
4 dS/m < CE ≤ 8 dS/m	Salin
8 dS/m < CE ≤ 16 dS/m	Très salin
CE > 16 dS/m	Extrêmement salin

(BENMOUAFKI DJ, 2011).

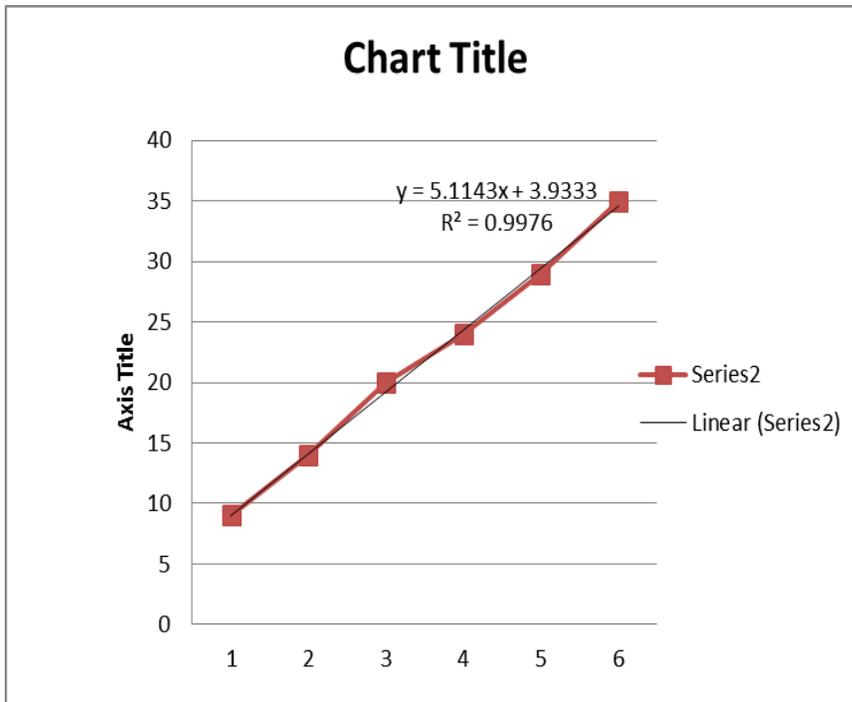
Annexes

Annexe II :



Na	
imputvalue	
2	23
4	42
6	58
8	74
10	85
12	100

Figure 01 : l'influence du sodium.



K	
imput value	
2	9
4	14
6	20
8	24
10	29
12	35

Figure 02 : l'influence du potassium.

Résumé

La plupart des méthodes d'irrigation appliquées sont souvent accompagnées de l'apparition de processus de sodisation, de salinisation ou d'alcalinisation des sols. Ceci est dû aux caractéristiques naturelles des périmètres irrigués (sol et climat).

Le climat de la région d'Ouargla est un climat aride caractérisé par une rareté extensive de la pluie et par une forte évaporation et une évapotranspiration, le recours à l'irrigation par les eaux souterraines pour la majorité des cultures est inévitable.

Ce travail de recherches est mené dans les périmètres agricoles d'El-Wifak et Les Jeunes, ces périmètres sont situés à la commune de Hassi Ben Abdallah à la wilaya d'Ouargla. L'objectif de cette étude est de caractériser et de quantifier la salinité du sol et de l'eau d'irrigation et de traiter la dynamique des sels dans ces périmètres et apprécier leurs conséquences sur l'environnement local.

Dans ce contexte, notre étude s'est focalisée sur la démarche suivante :

1. Echantillonnage et analyses du sol et des eaux d'irrigation ;
2. Utilisation des rapports ioniques caractéristiques, afin d'aboutir à une approche globale des processus d'acquisition de la salinité ;
3. Détermination de l'état de saturation des eaux par les principales espèces chimiques ;
4. Choix d'un indicateur de l'état de concentration des eaux (facteur de concentration) pour décrire le comportement des espèces chimiques selon ce facteur, et préciser davantage les processus d'acquisition de la salinité de l'eau et du sol.

D'une façon générale, les résultats obtenus apparaissent un début d'une salinisation secondaire dus à l'irrigation par des eaux médiocres.

Mots clés : Salinité ; périmètre ; irrigation ; caractérisation ; dynamique des sels.

ملخص:

معظم طرق السقي المعمول بها تساهم في ظهور تملح التربة الزراعية وهذا راجع إلى الخصائص الطبيعية للمحيط (التربة والمناخ). مناخ المنطقة هو مناخ يتصف بندرتة الشديدة للأمطار ويتصف أيضا بنسب عالية للتبخر والرشح لذا أصبح للجوء للسقي باستخدام المياه الجوفية لمعظم المزروعات حتمية لا بد منها.

هذا البحث العلمي الذي اجري على محيطين زراعيين بمنطقة ورقلة وهما محيطي الوفاق والشباب اللذان يقعان ببلدية حاسي بن عبد الله بولاية ورقلة، حيث يكمن الهدف من هذا العمل على توصيف نوعي وتقدير لمدى ملوحة التربة المسقية بمياه رديئة والتي تتميز بملوحة عالية وكذا دراسة حركة الأملاح في الوسط الزراعي وتبيين مدى تأثير هذه الملوحة على المحيط.

من أجل هذا، في دراستنا تم التركيز على الخطوات التالية:

1. جمع العينات وتحليل التربة ومياه الطبقة السطحية (قياس ميداني وتحليل في المختبر).
2. استعمال نسب أيونية مميزة، من أجل التحصل على مقارنة شاملة لآليات اكتساب الملوحة بالنسبة للتربة عن طريق مياه السقي.
3. إيجاد حالة تشبع المياه بالأملاح من خلال العناصر الكيميائية الرئيسية.
4. اختيار مؤشر لتركيز المياه (مؤشر التركيز) من أجل وصف سلوك العناصر الكيميائية حسب هذا المؤشر، وتدقيق الآليات المؤثرة لاكتساب هذه الملوحة بالنسبة للماء السقي والتربة.

بصفة عامة، النتائج المتحصل عليها تبين بداية ظهور تملح ثانوي بواسطة مياه السقي رديئة تتميز بملوحة عالية.

الكلمات الرئيسية: ملوحة، محيط، سقي، توصيف، حركة الأملاح.