

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Sciences de l'environnement

Par : CHENINI Mebarka

Thème

Impact de l'intensification agricole(céréaliculture sous pivot) sur la variation de la salinité du sol dans la région de GHARDAIA(cas de HASSI EL F'HEL)

Soutenu publiquement le : 20/06/2013

Devant le jury :

Mr. AGOUN Mohammed Salah	Maître Assistant B	Univ. Ghardaïa	Président
Mr. BENSLAMA Mohammed	Professeur	Univ. Annaba	Encadreur
Mr. BEN BRAHIM Fouzi	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Co- Encadreur
Mr. BOUTMEDJET Ahmed	Maître Assistant A	Univ. Laghouat	Examineur

Année universitaire 2012/2013

DÉDICACE

❧ *A mes parents tous les deux êtres les plus chers dans le monde pour leurs soutien, encouragements, tendresse et les sacrifices depuis ma naissance et leurs patience pendant mes années d'études, qui n'ont d'égal que le témoignage de ma profonde reconnaissance; que dieu leurs accorde une longue vie.*

❧ *A mes grands parents, maternels et paternels.*

❧ *A mes chères sœurs, Soumia et chikha et Saadia*

❧ *A mes chers frères, Fathi et Antar*

❧ *A ma grande famille, CHENINI.*

❧ *A mes chères amies surtout, Nacira,
Asma, et tous ce qui me connais.*

❧ *A tous les étudiants de.U.G. et en
particulier à la 1ère promotion d'Ecologie.*

Je dédie ce travail.

❧ *Melarka* ❧



Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné la santé, la volonté, le courage et la patience afin de mener à bien ce travail.

Nous tenons, dans un premier temps à remercier Monsieur **BENBRAHIM F.**, maître-assistant à l'université de Ghardaïa, pour son aide et ses précieux conseils au cours de la préparation de ce travail.

Je remercie également Monsieur **BENSLAMA M** Professeur à l'université d'Annaba pour avoir accepté de diriger ce projet.

Mes remerciements vont aussi aux membres du jury, qui nous ont fait honorer d'examiner ce travail :

M. AGOUN M.S., maître -assistant à l'université de Ghardaïa.

M. BOUTMEDJET A., maître-assistant à l'université de Laghouat.

Je remercie particulièrement Monsieur **HOUICHITI R, KRAIMAT M** et **OULED BELKEHIR C** pour leurs aides et leurs conseils.

Je remercie dans une même pensée toute personne ayant contribué de près ou de loin à notre formation et à la réalisation de ce mémoire, qu'ils trouvent l'expression de notre profonde reconnaissance.

Mes vifs remerciements vont aussi au personnel du labo et d'administration du département de biologie de l'université de Ghardaïa.

Je remercie spécialement tous nos amis et collègues et surtout ceux de la première promotion master sciences de l'environnement.

A tous les enseignants de faculté de sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre de l'université de Ghardaïa.

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 01	Production des céréales dans le monde en 2010 (en millions de tonnes).	02
Tableau 02	Surface équipée en pivots (1986 – 1987).	06
Tableau 03	Superficie affectée par la salinité dans le monde.	12
Tableau 04	Solubilité maximum des principaux sels dans l'eau en g/1000cm ³ .	16
Tableau 05	Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée.	20
Tableau 06	Echelle salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5.	20
Tableau 07	Sodium Adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols.	21
Tableau 08	Classes du sol selon le pH de pâte saturée.	22
Tableau 09	Données météorologique de la Wilaya de Ghardaïa (1996-2012).	29
Tableau 10	Classes d'intensité de la variabilité.	47
Tableau 11	Les résultats d'analyses de la salinité de l'horizon de surface.	51
Tableau 12	Statistiques de la conductivité électrique(CE)du sol.	51

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	Structure de la production céréalière en % de production totale.	05
Figure 2	Principales implantations des pivots (modifié).	07
Figure 3	L'évolution de la superficie de céréaliculture sous pivot à Ghardaïa.	09
Figure 4	Evolution des productions (qx) de céréaliculture sous pivot à Ghardaïa (1994-2012).	10
Figure 5	Evolution du rendement (q x/ ha) de céréaliculture sous pivot en Ghardaïa (1994-2012).	11
Figure 6	Type de profils salins.	22
Figure 7	Limites administratives de la wilaya de GHARDAIA.	28
Figure 8	Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa 1996-2012.	31
Figure 9	Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER	32
Figure 10	Milieu physique de la wilaya de GHARDAIA.	34
Figure 11	Esquisse hydrogéologique du M'Zab.	35
Figure 12	Bassin versant de la région du M'Zab.	36
Figure 13	Présentation du site d'étude (sous pivot et témoin).	41
Figure 14	Plan d'échantillonnage des parcelles étudiées.	45
Figure 15	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle non cultivée (témoin).	53
Figure 16	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée.	54
Figure 17	Carte thématique de la variation de la salinité du sol dans la parcelle non cultivée (témoin).	55
Figure 18	Carte thématique de la variation de la salinité du sol dans la parcelle cultivée.	56
Figure 19	Boîte à moustaches de la variation de la salinité du sol.	57

Liste des abréviations

A.N.R.H	Agence National des Ressources Hydriques.
C.E.	Conductivité Electrique.
C.E.C.	Capacité d'échanges cationiques.
CEI	Communauté des états indépendants.
D.P.A.T.	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.
D.S.A.	Direction des Services Agricoles.
dS/m	Déci Semence par mètre.
E.S.P.	Exchangeable Sodium Percentage (pourcentage de sodium échangeable).
FAO.	Food and Agriculture Organization.
MADR	Ministère d'Agriculture et Développement Rurale.
O.N.M.	Office National de Météorologie.
pH.	Potentiel Hydrogène.
qx/ha	Quintaux par Hectare.
S.A.R.	Sodium Adsorption Ratio (taux d'adsorption de sodium).
S.A.U.	Superficie Agricole Utile.
S.A.T.	Superficie Agricole Totale.
TVA	Taux de variation annuelle.
U.S.D.A.	United states Department of Agriculture.
UE	United Européenne.

Résumé

Impact de l'intensification agricole (céréaliculture sous pivot) sur la variation de la salinité du sol dans la région de GHARDAIA (cas de HASSI EL F'HEL)

Dans les régions arides et semi-arides, notamment autour du bassin méditerranéen, la salinisation des sols constitue l'un des facteurs abiotiques majeurs qui réduit le rendement agricole de plusieurs cultures.

Notre travail réalisé dans la région de HASSI EL F'HEL (GHARDAIA) a porté sur la caractérisation de la salinité par un échantillonnage systématique sur une maille régulière de 30x30m dans deux parcelles l'une cultivée (céréaliculture) et l'autre non cultivée (témoin).

Les analyses de la conductivité électrique du sol ont montré que le sol est non salé à peu près dans la parcelle témoin et non salé dans toute la parcelle cultivée.

L'étude de la variabilité spatiale de la conductivité électrique a montré l'existence d'une variation très élevée dans la parcelle témoin et élevée dans la parcelle cultivée.

La modélisation géostatistique a montré, à partir de l'analyse des variogrammes expérimentaux, l'efficacité du « pas » d'échantillonnage choisi.

L'analyse couplée de la variance et du taux de variation annuelle de la salinité du sol a montré une diminution non significative de la salinité du sol en fonction de la campagne agricole.

Mots clés : Céréaliculture, salinité, géostatistique, Variabilité spatiale, Ghardaïa.

Table des matières

Introduction	01
Première partie : synthèse bibliographique	
Chapitre I : Présentation de la céréaliculture dans le Monde, Algérie et en Ghardaïa...	02
1. La céréaliculture dans le monde.....	02
2. La céréaliculture en Algérie.....	03
3. La céréaliculture dans la région de Ghardaïa.....	08
Chapitre II : salinité du sol	12
1. Répartition des sols salés.....	12
1.1. Dans le monde.....	12
1.2. En Algérie	12
2. Définition de sols salés (sols halomorphes).....	13
3. Définition de salinité.....	13
4. Les sels solubles.....	14
4.1. principaux sels solubles.....	14
4.1.1. Chlorures	14
4.1.2. Carbonates.....	14
4.1.3. Sulfates	15
4.2. Paramètres influençant la solubilité des sels	15
4.2.1. Température	15
4.2.2. Force ionique	16
4.2.3. pH	17
4.2.4. Présence d'autre sel	17
5. Importance de la salinité.....	17
6. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation.....	17
7. Origine de la salinité des sols	18
7.1. Salinisation primaire	18
7.1.1. Salinisation géologique	18
7.1.2. Salinisation marine et lagunaire.....	18
7.2. Salinisation secondaire.....	18
8. Paramètres de caractérisation des sols salés	19
8.1. Conductivité électrique	19
8.1.1. Extrait de pâte saturée	19
8.1.2. Extraits dilués	20
8.2. Sodicité.....	21
8.2.1. Pourcentage de sodium échangeable (E.S.P).....	21
8.2.2. Sodium adsorption ratio (S.A.R.)	21
8.3. pH du sol.....	22
9. Type de profils salins.....	22
10. Classification des sols salés.....	23
11. Effet de la salinité sur le sol et les végétaux	23
11.1. Effet de la salinité sur le sol.....	23
11.1.1. Effet sur les propriétés physiques.....	24

11.1.2. Effet sur les propriétés chimiques	24
11.2. Effet de la salinité sur les végétaux	24
12. Mise en valeur des sols salés	25

Deuxième partie : matériels et méthodes d'étude

Chapitre III : Présentation de la région de Ghardaïa	26
1. Situation géographique	26
2. Climat	26
2.1. Température	27
2.2. Précipitation	27
2.3. Humidité relative	28
2.4. Evaporation	29
2.5. Insolation	30
2.6. Vent	30
2.7. Classification du climat	30
2.7.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN	30
2.7.2. Climagramme d'EMBERGER	31
3. Géomorphologie	32
3.1. Chabka du M'Zab	33
3.2. Région des dayas	33
3.3. Région des Regs	34
4. Géologie	35
5. Hydrologie	36
6. Hydrogéologie	37
6.1. Nappe phréatique	37
6.2. Nappe du Continental Intercalaire	37
7. Pédologie	38
Chapitre IV. Matériels d'étude	39
1.1. Au terrain	39
1.2. Au laboratoire	39
2. Choix du site d'étude	39
3. Présentation du site d'étude	40
4. Choix de parcelle d'étude	40
5. Itinéraire technique	42
Chapitre V. Méthodes d'études	44
1. Approche méthodologique	44
2. Méthode d'échantillonnage	44
3. Analyse au laboratoire	45
3.1. Analyse de sol	45
3.2. Analyse de l'eau	46
4.1. Variation annuelle des paramètres étudiés	46
4.2. Statistiques descriptives	46
4.3. Analyse de variance à un facteur	47
4.4. Coefficient de variation	47
4.5. Géostatistiques	48
4.5.1. Variogramme	48
4.5.2. Krigeage	49

Troisième partie : Résultats et Discussions	
Chapitre VI : résultats et discussions	50
1. Résultats.....	50
1.1. Caractéristiques de l'eau d'irrigation.....	50
1.2. Caractérisation de la salinisation du sol	50
1.3. Modélisation géostatistique de la variabilité spatiale de la salinité du sol.....	51
1.3.1. Analyse variographique.....	52
1.3.2. Réalisation des cartes thématiques par krigeage	55
1.4. Simulation de l'évolution de la salinité du sol	56
2. Discussions.....	57
Conclusion	60
Références bibliographiques	63
Annexe	70

INTRODUCTION

Introduction

Les sols salés couvrent environ un milliard d'hectares dans le monde, ils sont situés principalement dans les régions arides et semi-arides (GHASSIMI et al,1995 ; HAMDY, 1995).En Algérie, la salinité constitue un problème majeur qui affecte les terres agricoles et qui concerne de grandes étendues (BOULAINÉ, 1957 ; AUBERT, 1975 ; HALITIM, 1985).

Les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres sont liés à l'aridité du climat, la qualité médiocre des eaux d'irrigation (eau fortement minéralisée), le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel, et la conduite empirique des irrigations (BOIVIN et al, 1988 ; DAOUD et HALITIM, 1994 ; SAIDI, 2004 ; IDDIR,2006).

Les sols salés sont caractérisés généralement par des propriétés physiques, chimiques et biologiques défavorables à la croissance des végétaux (GOUNY et CORNILLON,1973 ; DAOUD, 1993 ; DOUAOUI et al, 2004;SAIDI, 2004).

La salinité du sol constitue aussi un facteur de désertification qui ne cesse d'intéresser les chercheurs (DURAND, 1983 ; HALITIM, 1988 ; GHASSIMI et al,1995).

L'apparition de la céréaliculture sous pivot dans les régions sahariennes a été lancée au début des années quatre-vingt (AÏT HOUSSA et al, 2009).Plusieurs facteurs ont été jugés responsables de la baisse des rendements céréaliers sous pivot, parmi lesquels la salinisation du sol (DAOUD et HALITIM, 1994 ; DJILI et al, 2003 ; BEN BRAHIM, 2006).

Dans cette optique, l'objectif de notre travail portera spécialement sur l'impact de l'intensification agricole sur la variation du taux de la salinité du sol dans une parcelle cultivée par des céréales dans une station expérimentale située à HASSI EL F'HEL (GHARDAIA).

Ce travail comporte trois parties :

- La première est consacrée à la synthèse bibliographique sur la céréaliculture et la salinité des sols.
- La deuxième partie prendra en compte le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail, ainsi qu'une présentation de la région d'étude.
- La troisième partie traitera les résultats et les discussions.

*Première partie : synthèse
bibliographique*

Chapitre I. Présentation de la céréaliculture dans le Monde, Algérie et à Ghardaïa.

Les céréales constituent la base alimentaire la plus importante sur notre planète, à la fois pour la consommation humaine que pour l'alimentation du bétail (Larousse agricole, 2002 ; CHOUEIRI, 2003).

1. La céréaliculture dans le monde

Le secteur des céréales est d'une importance cruciale pour les disponibilités alimentaires mondiales (CHOUEIRI, 2003).

Selon Larousse agricole (2002), la superficie mondiale attribuée aux céréales représente la moitié des superficies des terres cultivées (SAU mondiale).

La FAO estime qu'actuellement un peu moins de 40% de la production mondiale est destinée à l'alimentation humaine, environ 50% à l'alimentation animale et le reste à des usages industriels.

La production des céréales dans le monde était de 2 254.5 millions de tonnes en 2010, et les principaux pays producteurs sont l'Asie et la Communauté Européenne avec une production de 1 017 et 404.5 millions de tonnes respectivement (FAO, 2012) (Tabl.01).

Tableau 01 : Production des céréales dans le monde en 2010 (millions de tonnes) (FAO, 2012)

Pays	Production en 2010
Asie	1 017.1
Extrême-Orient	921.2
Proche-Orient	70.0
Pays asiatiques de la CEI	25.9

Afrique	163.3
Afrique du Nord	32.5
Afrique de l'Ouest	55.9
Afrique centrale	3.6
Afrique de l'Est	39.8
Afrique australe	31.4
Amérique centrale et Caraïbes	41.3
Amérique du Sud	143.7
Amérique du Nord	443.8
Europe	404.5
UE	278.8
Pays européens de la CEI	109.1
Océanie	40.8
totale	2 254.5

Le blé constitue la principale culture céréalière dans le monde et représente en 2010 environ 655.7 millions de tonnes. Les céréales secondaires représentent 1 130.8 millions de tonnes (FAO, 2012).

Les nouvelles prévisions de la FAO concernant la production céréalière mondiale de 2012 s'établissent à 2419 millions de tonnes, soit un niveau record qui marque une augmentation de 3,2 % par rapport au précédent bon niveau enregistré l'an dernier.

Sachons que la progression de la production mondiale résulte des augmentations des superficies cultivées, mais surtout de celles des rendements aux progrès techniques: amélioration variétale, utilisation croissante des engrais, irrigation, maîtrise de lutte contre les ennemis et les adventices... etc (Larousse agricole, 2002).

2. La céréaliculture en Algérie

En Algérie, La céréaliculture occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (HARGAZ, 2007 ; DJERMOUN, 2009 ; DJAOUTI, 2010). Elle prend deux situations, céréaliculture pluviale et irriguée (KHEYAR et al, 2007).

La céréaliculture occupe dans l'agriculture algérienne une place dominante, avec 04 millions d'hectares emblavés annuellement, ce qui représente 9.43% de la SAT et 47% de la SAU (MOUHOUCHE et al, 2008), Cette dominance est présente avec la même force dans tous les étages bioclimatiques, dans les zones relativement bien arrosées comme dans celles qui le sont moins(BOUZERZOURE,2007).

Selon FELIACHI (2000), la céréaliculture est pratiquée dans quatre grandes zones agro-climatiques :

- Un espace à faible potentialité : localisé dans le sud des Hauts Plateaux(zone agropastorale), 1.800.000 ha, pluviométrie inférieur à 450 mm et rendement de 5-6 qx/ha;
- Un espace steppique : pratiquée dans un écosystème fragile, avec une surface de 300.000-800.000 ha (KELLIL, 2009).
- Un espace au niveau des zones sahariennes qui se subdivisent en deux catégories : la première est représentée par le système traditionnel, occupe une surface de10.000 ha, la deuxième qui occupe une surface de 35.000 ha concerne la céréaliculture sous pivot, localisée en zones arides et semiarides (KELLIL, 2009).
- Un espace à haute potentialité : localisé entre les plaines littorales et sub-littorales et le nord des Hauts Plateaux, occupe une superficie de1.200.000 ha dans une zone où la pluviométrie moyenne annuel est variéde 450 à 800 mm avec un rendement moyen de10-15 qx/ha (KELLIL, 2009).

La production céréalière par espèce révèle une tendance à la modification de la hiérarchie des quatre céréales principales (blé dur, blé tendre, orge et l'avoine)(DJERMOUN, 2009) (Fig.01).

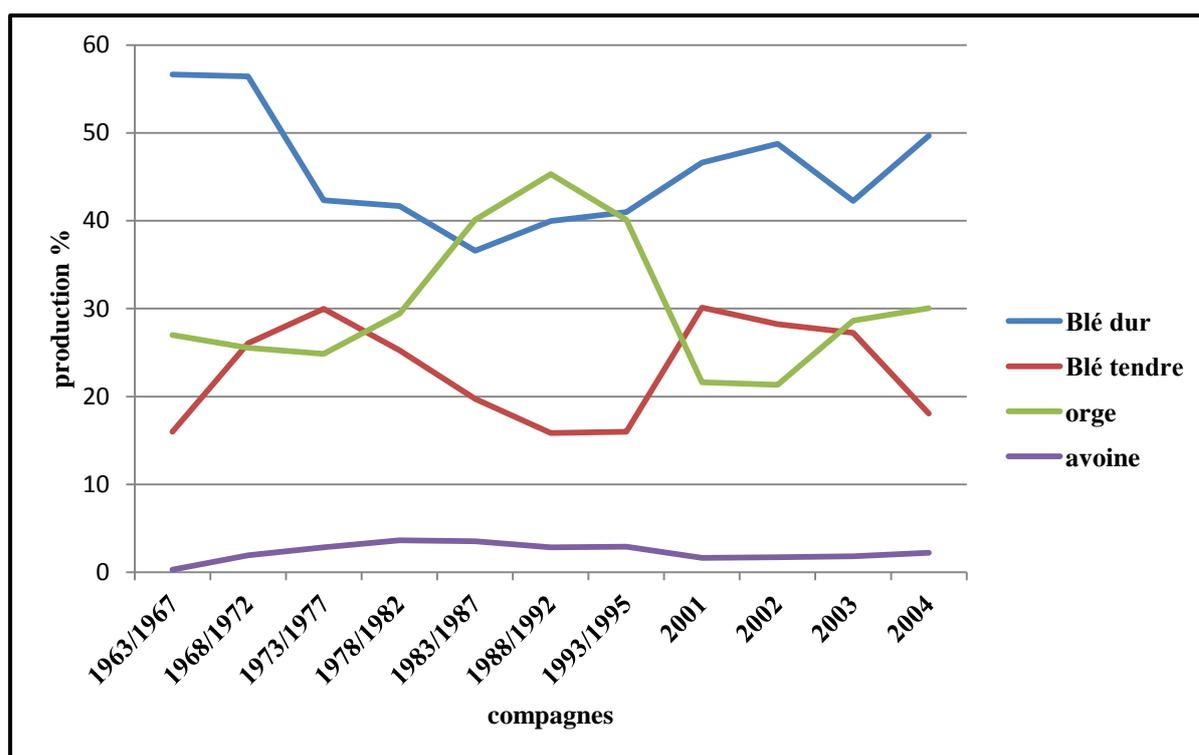


Figure 01 : Structure de la production nationale céréalière en % de production totale (DJERMOUN, 2009)

Au début, la baisse de la production de blé dur s'est faite en faveur de celle de blé tendre, jusqu' à la période 1973/1977, la part du blé dur a baissé de 56,65% en 1963 /1967 à 42,34% en 1973/1977, contrairement à celle du blé tendre qui a connu une augmentation de 16,01% à 29,78%.

A partir de la période de 1978/1982, la part de la production des deux espèces a baissé au profit de la production de l'orge, qui a vu sa part passer de 29,43% en 1978/1992 à 45,34% en 1988/1992.

Puis, une augmentation de la production de blé dur à 48, 74 % avec diminution du blé tendre (28.65%) à la période 1993/1995 jusqu'à 2003, et la production de l'orge s'abaisse et stabilisé à la valeur 21.62 % en 2001, puis une augmentation de 28.65 % en 2003.

Enfin, à partir de la période 2003/2004, une augmentation de la production de l'orge et blé dur à 30.06 % et 49.65 % respectivement et la production de blé tendre diminué jusqu'à 18.08 %, la production de l'avoine ne dépasse pas 3.64 % (1963/2004).

La production céréalière de l'Algérie en 2010-2011 réalisé une récolte de 45 millions de quintaux et pour la campagne 2011-2012 est autour de 52 millions de quintaux (MADR, 2012).

Le manque d'eau est toutefois le facteur le plus limitant auquel fait et doit faire face la céréaliculture algérienne, les agriculteurs adoptent de nombreuses pratiques culturales dans les régions à climat aride ou semi-aride (HARGAZ, 2007).

L'irrigation est l'un des solutions pour assurer l'amélioration et la stabilité des rendements (KELLIL, 2009), les superficies irriguées couvrent 620.687 ha soit 7,34% de la SAU totale et sont localisées dans 287 456 exploitations soit 28 % du total des exploitations. Les céréales occupent 75,4% de la superficie des grandes cultures irriguées. Il s'agit essentiellement d'une irrigation d'appoint (MADR, 2003).

L'apparition des zones céréalières irriguées dans les régions sahariennes début à partir de la création des superficies céréalières équipées en centre pivot, La première installation des centres pivots au sud-est entre les années 1986 et 1987 où se sont installés dans les deux wilayat, Adrar (zone de Sbaa) avec 10 Ha et Ouargla (Ain Zekkar) avec 50 Ha (BEN BRAHIM, 2009) (Tabl.02).

Tableau 02 : Surface occupée en pivots (1986 – 1987) (BEN BRAHIM, 2009)

Régions	Nombre de pivot	Surface (Ha)
<u>Ouargla</u>		
- Gassi Touil	20	1040
- Feidjet El Baguel	20	1040
- Ain Zekkar	01	52
- Amir Abd-el-Kader	01	15
- Hdab El Achra	01	10
- Ibn Khaldoun	01	10
S/Total	44	2 167
<u>Adrar</u>		
- Ferme pilote	01	52
- GEP privé	01	30
S/Total	02	82
Total	46	2 249

Actuellement, environ 400 pivots sont en place dans le Sahara algérien, soit une superficie de plus de 200.000 ha de blé (OULD EL HADJ, 2011).

À partir de la figure (02), la répartition des pivots est accentuée au sud plus d'au nord du pays, c'est à cause du déficit pluviométrique et de la sécheresse, ainsi qu'à la disponibilité en eaux souterraines.

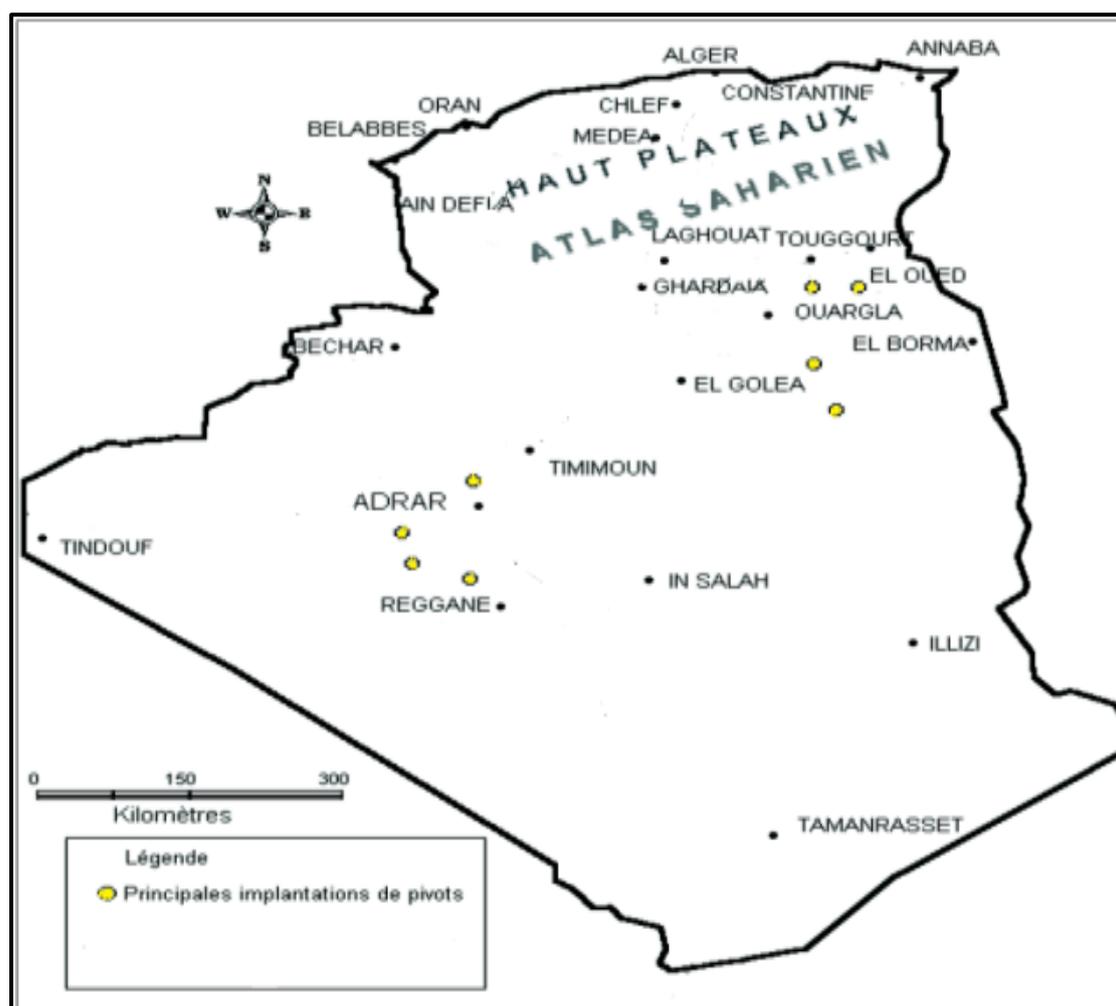


Figure 02 :Principales implantations des pivots (modifie)(OULD EL HADJ, 2011)

Cependant la production céréalière en Algérie est largement déficitaire et est loin de satisfaire la demande d'une population sans cesse croissante (DJAOUTI, 2010)

Aujourd'hui, l'essentiel de ces céréales est importé et l'écart entre offre et demande s'accroît de plus en plus. Les statistiques sur la filière céréalière font ressortir des craintes sur l'avenir et les perspectives sont pour le moins, inquiétantes (BOUSSARD et CHABANE, 2011).

3. La céréaliculture dans la région de Ghardaïa

La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 2183 hectares irriguée "sous pivot" a été consacrée, au titre de la saison agricole (2011-2012), cette superficie est passée de 2100 hectares l'année écoulée à 2183 hectares cette année. Une superficie de 1958 hectares a été consacrée au blé dur et 225 hectares à l'orge (DSA, 2013).

La plus grande superficie réservée à la céréaliculture est située dans la région d'El Ménée, (270 km au sud de Ghardaïa), avec 1698 hectares, suivie par la région de Mansourah avec 170 hectares et Guerrara avec 45 hectares, a-t-on ajouté.

La production céréalière atteindra cette année les 86003.4 quintaux, estiment les responsables des services agricoles de la wilaya.

Durant la campagne 2010-2011, cette production a atteint 86161.5 quintaux sur une superficie cultivée de 2100 hectares avec une moyenne de 41.02 qx/ha, selon l'évaluation de la direction des services agricoles.

Dans la région de Ghardaïa (Fig.03), et de 1994 jusqu'à 2004, la culture de blé dur et d'orge couvre des grandes superficies à l'opposé de la culture du blé tendre et de l'avoine.

A partir de 2005 jusqu'à 2012, la superficie cultivée par le Blé dur a augmentée jusqu'à 2000 ha en 2012, et la superficie occupée par l'orge a diminuée à 220 ha. La superficie exploitée en blé tendre et avoine est négligeable par rapport aux deux autres céréales.

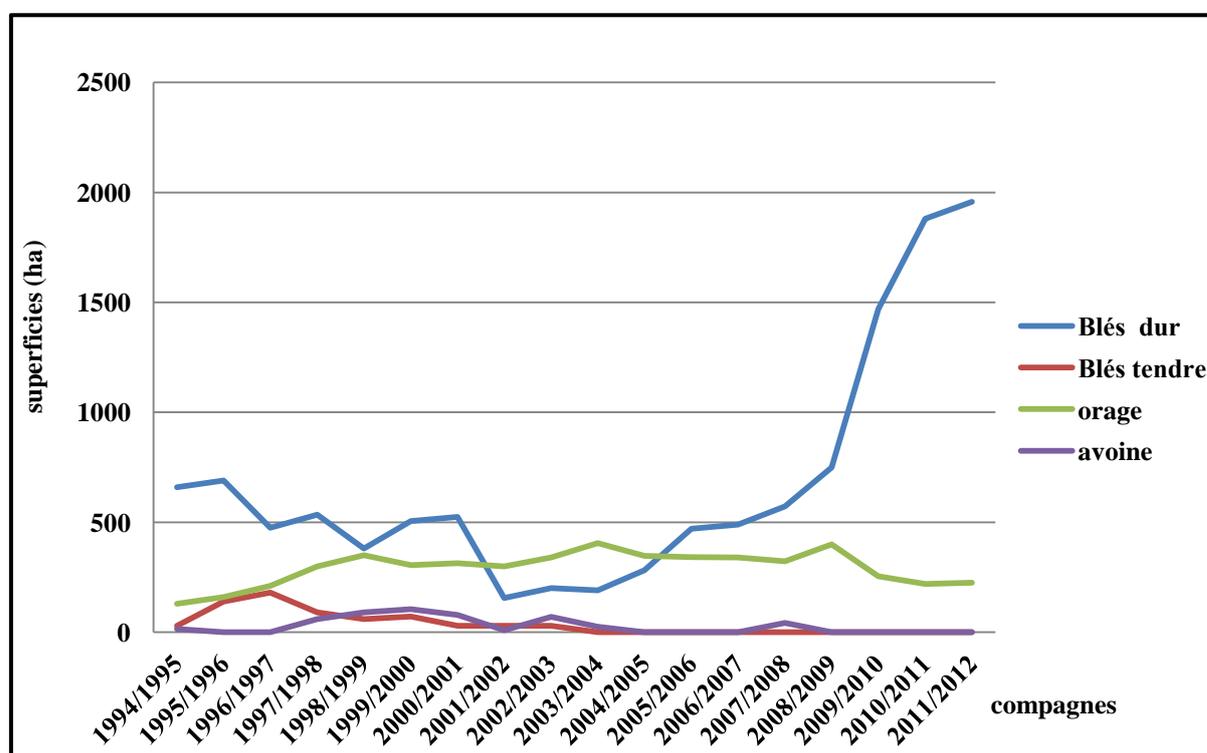


Figure 03 :Evolution de la superficie céréalière sous pivot à Ghardaïa (1994-2012)
(DSA,2013)

La production céréalière dans la région de Ghardaïa a suivi presque les mêmes fluctuations que la superficie cultivée entre 1994 et 2012 (Fig.04).

A partir de 1994 jusqu'à 2001, la production de blé dur est la plus importante, en 2002 la production de l'orge a dépassée celle du blé dur à cause de l'augmentation des superficies consacré à cette culture. La production du blé tendre et d'avoine reste faible.

A partir de 2005 jusqu'à 2011, la production du Blé dur a augmentée avec l'augmentation des superficies. Elle atteint jusqu'à 79330 qx en 2011 puis elle se stabilise à 80 000 qx.

La production d'orge, de blé tendre et d'avoine en 2012 est négligeable par rapport à celle du blé dur.

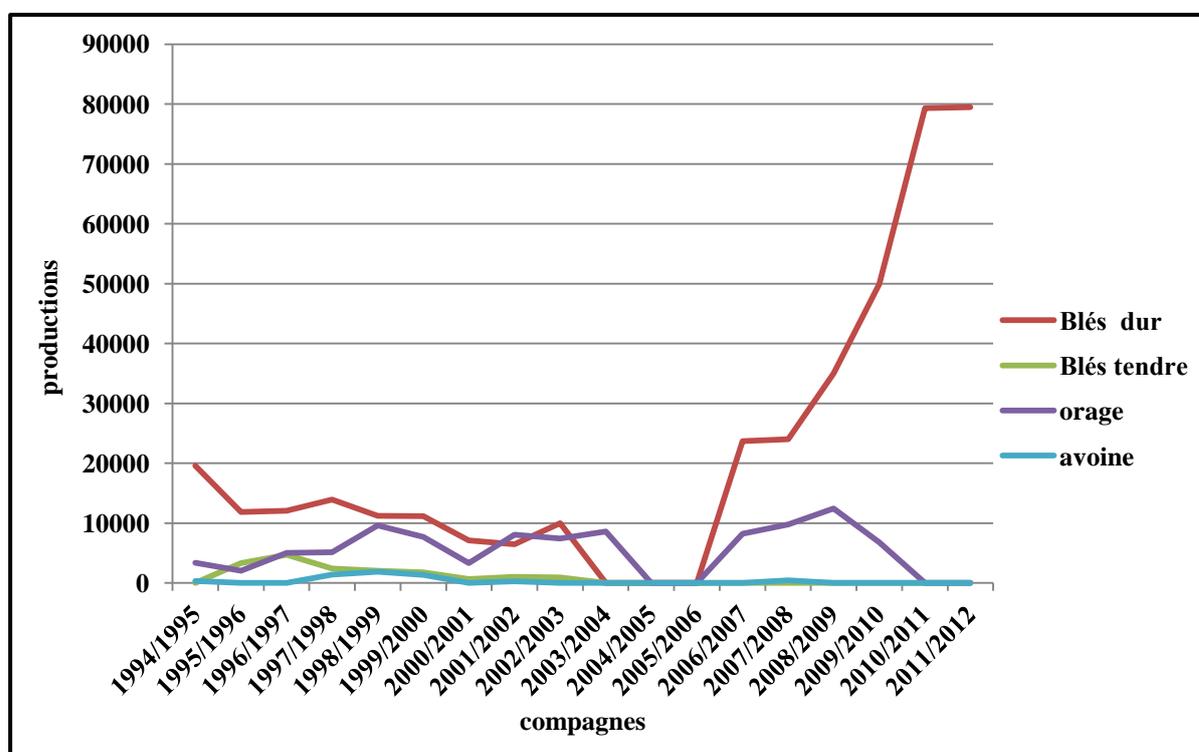


Figure 04: Evolution des productions (qx) de céréaliculture sous pivot à Ghardaïa (1994-2012) (DSA, 2013)

L'évolution du rendement de la céréaliculture sous pivot à Ghardaïa (1994-2012) suit des fluctuations importantes.

A partir de 1994 jusqu'à 2004, la culture de l'avoine et de blé tendre ont le plus grand rendement (blé tendre 32qx/ha et l'avoine 28qx/ha). Le rendement de la Blé dur prend son maximum entre 2003-2012. Le rendement d'orge est en perturbation depuis 1994 à 2012(Fig.05).

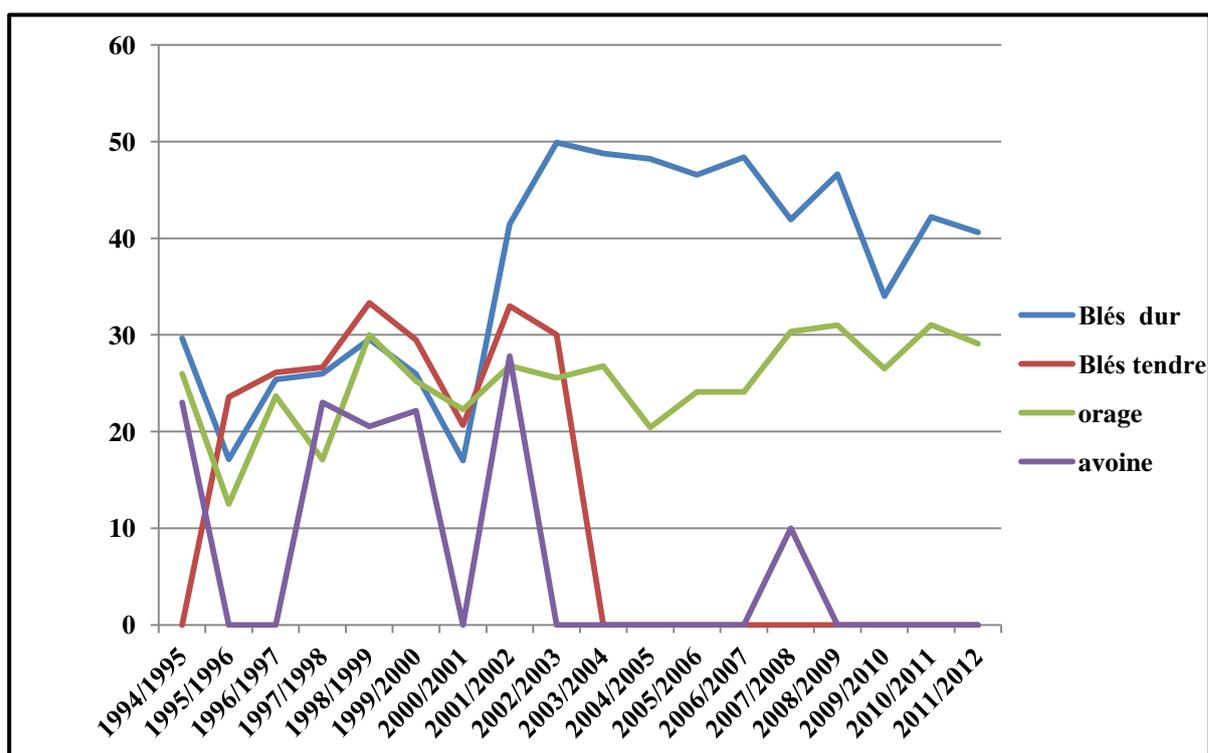


Figure 05 :Evolution du rendement céréalier sous pivot à Ghardaïa (1994-2012)
(DSA, 2013)

Chapitre II : Salinité du sol

1. Répartition des sols salés

1.1. Dans le monde

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent un grand problème pour l'agriculture (FAO, 2008). Les régions arides et semi arides sont les plus favorables au développement des sols salins ou alcalin. Mais on peut les rencontrer aussi dans les régions tempérées soumises à des conditions spéciales (estuaires, marais salants;...) (BAZZINE,2009).

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

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

1.2. En Algérie

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affecté par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1983 ;HALITIM ,1985). Ils sont répartis dans les basses plaines d'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au Sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains Chotts comme Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (DURAND, 1983 ; BAZZINE,2009).

D'après HALITIM (1988), dans les régions arides, les sols salés représentent environ 25% de la surface cartographiée. Soit 3,2 millions d'hectares (HAMDY, 1995 ; BAZZINE,2009). Les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (DJILI et DAOUD, 1999).

Dans les régions sahariennes, on les rencontre près des chotts et des bas-fonds alimentés par une nappe phréatique superficielle tels que : chott Melghir et oued Rhig (BAZZINE,2009).

2. Définition de sols salés (sols halomorphes)

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (GIRARD et al, 2005).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe adsorbant en ions, provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure.

On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g/l (ROBERT, 1996). Selon CALVET (2003), un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 ds/m.

Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes. Les sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (BOUTEYRE et LOYER, 1992).

3. Définition de salinité

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (ASLOUM, 1990). Un sol salé indique la prédominance de NaCl.

La salinité des sols et des eaux, constitue un obstacle majeur sur la croissance des végétaux, dans les régions arides et semi-arides.

La salinité est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole, ces charges en sels soumettent les plantes à un stress permanent (GUPTA et ABROL, 1990 ; BENNABI, 2005).

4. Les sels solubles

Tous les sels plus solubles que le gypse sont considérés 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 (HULLIN, 1983).

4.1. Principaux sels solubles

D'après HULLIN (1983), nous distinguons trois grands groupes de sels solubles : les chlorures, les carbonates et les sulfates.

4.1.1. Chlorures

Les chlorures et les sulfates sont les principaux responsables de la formation des sols salés. Généralement, ils ont une solubilité très élevée et donc une forte toxicité. Nous distinguons (HULLIN, 1983) :

- Chlorure de sodium(NaCl) : C'est le sel le plus répandu. Sa solubilité (300g/l) fait de lui un sel hautement toxique.

- Chlorure de potassium(KCl) : C'est un sel voisin du NaCl, mais peu répandu dans la nature.

- Chlorure de calcium(CaCl₂) : C'est un sel relativement rare dans les sols, car il réagit avec Na₂SO₄ ou Na₂CO₃ pour former du CaSO₄ ou CaCO₃ peu soluble, selon les réactions :



- Chlorure de magnésium(MgCl₂) : C'est un sel plus fréquent que le précédent, il est relativement rare sauf dans les cas de forte salinité. Sa solubilité de l'ordre de 350 g/l fait de lui un sel de toxicité extrêmement élevée.

4.1.2. Carbonates

D'après FAO-UNESCO, (1967 in BENBRAHIM, 2001), les sels carbonatés sont très répandus dans les sols. Parmi ces sels :

- Carbonates de magnésium ($MgCO_3$) : Sa solubilité est plus élevée, il donne du $Mg(HCO_3)_2$ en présence de H_2CO_3 . La fertilité du sol est affectée par sa présence, mais vue sa mobilité le danger est réduit.
- Carbonates de sodium (Na_2CO_3) : C'est un sel très toxique par sa solubilité et son pouvoir alcalinisant.
- Carbonates de potassium (K_2CO_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 $NaCO_3$.

4.1.3. Sulfates

Les sels sulfatés se trouvent en quantités variables dans les sols. La conséquence de ces sels sur l'agriculture et la mise en valeur varie beaucoup avec leur composition chimique (FAO-UNESCO, 1967 in OMEIRI, 1994). Nous pouvons citer :

- Sulfates de calcium ($CaSO_4$) : Le gypse ($CaSO_4, 2 H_2O$) est la formule la plus répandue, il est peu dangereux du fait de sa faible solubilité. Le gypse est utilisé comme un amendement sur certains sols alcalins.
- Sulfates de magnésium ($MgSO_4$) : 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.
- Sulfates de sodium (Na_2SO_4) : C'est également un composant typique des sols salés, sa solubilité dépend de la température (Tab.4).
- Sulfates de potassium (K_2SO_4) : Il est très proche de Na_2SO_4 , il se trouve en très faible quantité dans le sol.

4.2. Paramètres influençant la solubilité des sels

La solubilité d'un sel est fonction de nombreux facteurs : la température, la force ionique, le pH et la présence d'autres sels.

4.2.1. Température

D'après DANS et al. (1967 in GAUCHER et al., 1974), la solubilité de certains sels augmente rapidement avec la température tandis qu'elle varie peu pour d'autres (Tabl.04).

Tableau 04. Solubilité maximum des principaux sels dans l'eau en g/1000cm³ (DANS et al., 1967 in GAUCHER et al., 1974).

Température (°C) Sels	0	10	20	40	60	80	100
CaCl ₂	58,7	65,2	73,9	127,2	138,1	146,9	157,7
CaSO ₄	1,76	1,93	1,99	2,1	1,5	1,0	0,65
KCl	282	312	342	398	455	506	552
K ₂ SO ₄	75	91	111	145	179	212	240
MgCl ₂	526	538	543	574	612	666	724
MgSO ₄	260	309	388	441	544	560	490
Na ₂ CO ₃	69	123	218	488	459	441	441
NaHCO ₃	69	81	94	126	158	182	237
NaCl	356	358	360	366	369	379	388
Na ₂ SO ₄ ,7H ₂ O	184	304	477	-	-	-	-
Na ₂ SO ₄ ,10H ₂ O	45	91	193	-	-	-	-
CaCO ₃	0,015	0,02	-	-	-	-	-

4.2.2. Force ionique

D'après GLINCA (1981 in BENBRAHIM, 2001), la solubilité d'un sel augmente avec la racine carrée de la force ionique de la solution :

$$\text{Log } K_{PS} = \text{Log } K_{PSi} + B \cdot Z_a \cdot Z_b \sqrt{I}$$

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

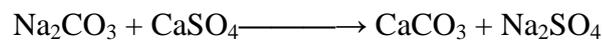
I : force ionique

4.2.3. pH

L'acidité a une influence sur la solubilité. Ainsi, dans un milieu acide nous pourrions assister à une augmentation de solubilité du gypse pour la formation de l'ion SO_4H^- (POUGET, 1968 in BENBRAHIM, 2001).

4.2.4. Présence d'autre sel

D'après HULLIN (1983), la présence d'autre sel influe parfois sur la solubilité. En régions arides et semi-arides, l'accumulation de carbonates de sodium est souvent opposée par la présence de gypse suivant la réaction :



5. Importance de la salinité

La teneur en sels est le critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique, en ppm ou en meq/l. La concentration totale est plus importante car la plupart des cultures répondent à la concentration ionique totale du milieu de croissance (effet osmotique) plutôt qu'à un ion spécifique.

Généralement, une augmentation de la teneur en sels dans l'eau d'irrigation provoquera une augmentation de la salinité de la solution du sol. La vitesse et le degré de cette augmentation dépendront de:

- Lessivage, c'est-à-dire la quantité d'eau apportée par irrigation ou par des pluies en besoins de la culture et l'efficacité du lessivage;
- La composition ionique de l'eau d'irrigation et la tendance de quelques ions, tels que Ca^{++} , HCO_3^- , SO_4^- , à précipiter après l'extraction de l'eau du sol;
- Propriétés physiques du sol tel que l'infiltration, les caractéristiques hydriques et le drainage (ANTIPOLIS, 2003).

6. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation

Selon WYN JONES et GOUSTON (1991), la salinisation des sols peut être due à :

- La lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui déposent leurs sels dans les sols.
- En régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (RAJU et al, 1993).

7. Origine de la salinité des sols

D'après CHERBUY (1991) et LAËTITIA et al (2008), 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.

7.1. Salinisation primaire

La salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

7.1.1. Salinisation géologique

Les sels solubles peuvent provenir:

- Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques et magnésiques. En régions arides et semi-arides, ces sols se concentrent sur place; dans les dépressions fermées.
- Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates,...etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires.
- Soit de l'altération des roches volcanique (SERVANT, 1975).

7.1.2. Salinisation marine et lagunaire

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines ou les déposent à leur surface (GAUCHER et BURDIN, 1974).

7.2. Salinisation secondaire

C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin. L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire ; cet apport est toujours associé à un apport de sels .en effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui

peut s'avérer considérable. Les échanges de cations entre le sol et d'irrigation sont le début de la salinisation du sol.

La salinisation peut aussi être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines salines ou résulter d'une irrigation réalisée avec l'eau saline (IPTRID, 2006).

8. Paramètres de caractérisation des sols salés

Selon U.S.S.L.(1954), l'étude des sols salés se base essentiellement sur :

- ▶ La mesure sur un extrait du sol de la conductivité électrique à 25°C,
- ▶ La caractérisation de l'alcalinité ou la sodicité à l'aide de l'E.S.P. (taux de Sodium échangeable) ou la mesure du S.A.R. (sodium adsorption ratio) sur l'extrait de sol,
- ▶ La mesure sur un extrait du sol de la réaction du sol (pH).

8.1. Conductivité électrique

La salinité est mesurée par la conductivité électrique sur l'extrait de pâte saturée ou l'extrait dilué. Elle est exprimée en mmhos/cm ou en dS/m à 25°C.

8.1.1.Extrait de pâte saturée

Afin de pouvoir mesurer la salinité dans des conditions standards pour ensuite comparer les résultats entre eux, la pâte saturée s'avère le moyen le plus adéquat, car elle se rapproche des solutions existantes dans le sol en place (SERVANT et al., 1966 in BENBRAHIM, 2001).

La préparation de la pâte saturée est difficile à réaliser pour un échantillon sableux par ce qu'elle demande une attention particulière du manipulateur (SERVANT et al., 1966 in BENBRAHIM, 2001).

D'après l'U.S.S.L. (1954), un sol est considéré salé lorsque la conductivité électrique de son extrait de pâte saturée est supérieure ou égale à 4 dS/m à 25°C (Tabl.05). Au Nord de l'Afrique cette limite peut être élevée à 7 dS/m à 25°C (DURAND, 1958 ; AUBERT, 1975).

Tableau 05. Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (U.S.S.L., 1954).

C.E. (dS/m à 25°C)	Degré de salinité
≤ 2	Sol non salé
$2 < \text{C.E.} \leq 4$	Sol faiblement salé
$4 < \text{C.E.} \leq 8$	Sol moyennement salé
$8 < \text{C.E.} \leq 20$	Sol fortement salé
> 20	Sol extrêmement salé

8.1.2. Extraits dilués

Les extraits dilués sont au 1/1, au 1/5 et au 1/10 du rapport sol/eau distillée. Par cette méthode l'extraction est rapide mais les solutions sont moins représentatives de la solution du sol (HULLIN, 1983). Selon AUBERT (1978), un sol est considéré salé lorsque la conductivité électrique de son extrait dilué 1/5 est supérieur ou égale à 2 dS/m (Tabl.06)

Tableau 06. Echelle salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 (AUBERT, 1978).

C.E. (dS/m à 25°C)	Degré de salinité
$\leq 0,6$	Sol non salé
$0,6 < \text{C.E.} \leq 2$	Sol peu salé
$2 < \text{C.E.} \leq 2,4$	Sol salé
$2,4 < \text{C.E.} \leq 6$	Sol très salé
> 6	Sol extrêmement salé

Selon HALITIM (1973), cette classification basée sur la C.E. est critiquable pour plusieurs raisons dont :

- ▶ La résistance des plantes aux sels dépend d'autres facteurs tels que la texture du sol,
- ▶ La conductivité électrique ne donne qu'une somme approximative des ions, alors que chaque cation ou anion à une action spécifique.

8.2. Sodicité

8.2.1. Pourcentage de sodium échangeable (E.S.P)

Le pourcentage de sodium échangeable est fonction de la capacité d'échange cationique (C.E.C.), il est déterminé par la formule suivante (U.S.S.L., 1954):

$$\text{E.S.P. (\%)} = ([\text{Na}^+] / \text{C.E.C.}) \times 100$$

$[\text{Na}^+]$: Concentration de Na^+ échangeable en $\text{cmol}^+/100\text{g}$.

C.E.C. : capacité d'échange cationique exprimé en $\text{cmol}^+/100\text{g}$ de terre sèche.

L'E.S.P. est un paramètre de caractérisation de la sodicité du sol, la structure est détruite à partir d'un seuil souvent fixé à 15% de la C.E.C. (U.S.S.L., 1954).

8.2.2. Sodium adsorption ratio (S.A.R.)

Il s'agit également d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau d'alcalinisation (Tabl.07).

Tableau 07. Sodium Adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols (SERVANT et al., 1966 in BENBRAHIM, 2001).

S.A.R.	Degré d'alcalinisation
≤ 4	Pas d'alcalinisation
$4 < \text{S.A.R.} \leq 8$	Faible alcalinisation
$8 < \text{S.A.R.} \leq 12$	Alcalinisation moyenne
$12 < \text{S.A.R.} \leq 18$	Alcalinisation forte
> 18	Alcalinisation intense

Le S.A.R. est déterminé par la relation suivante (GAPON, 1933 in DURAND, 1958):

$$\text{S.A.R.} = \text{Na}^+ / \sqrt{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2}$$

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}$ Exprimés en cmol^+/l

8.3. pH du sol

Dans les régions arides, la gamme relative aux sols s'étend d'un pH légèrement inférieur à 7 à un pH d'environ 9 (BUCKMAN et al., 1965 in BENBRAHIM, 2001).

Le pH peut être un paramètre de classification, (FIREMAN et al., 1951 in U.S.S.L., 1954), ont classé le sol en fonction du pH de pâte saturée (Tabl.08).

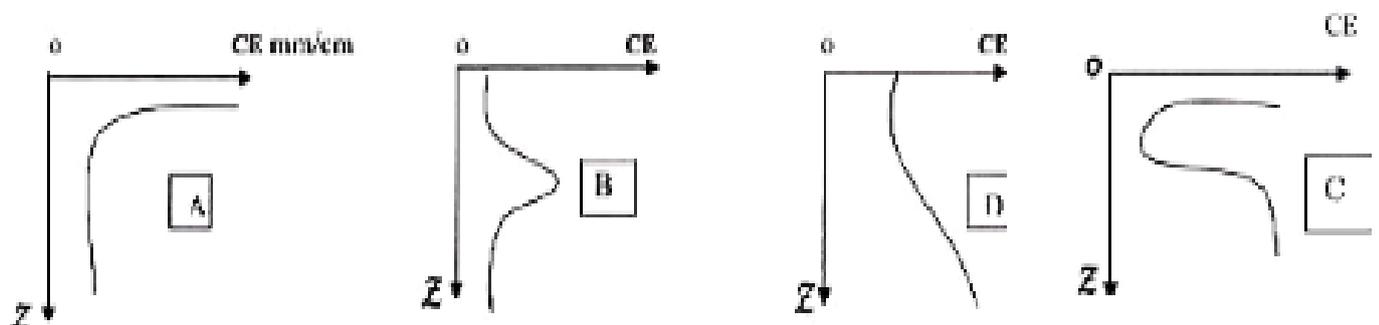
Tableau 08. Classes du sol selon le pH de pâte saturée (FIREMAN et al., 1951 in U.S.S.L., 1954)

pH	Classe du sol
$\geq 8,5$	Indiquent souvent un pourcentage de Na^+ échangeable supérieur ou égale à 15% et la présence des carbonates alcalino-terreux.
$< 8,5$	Les pourcentages de Na^+ échangeable peuvent ou ne peuvent pas dépasser 15%.
$\leq 7,5$	Ces sols ne contiennent jamais de Ca^{++} et Mg^{++} .
< 7	Ces sols contiennent des quantités significatives d'ion H^+ échangeable.

9- Type de profils salins :

La distribution quantitative de la salinité peut dans tous les cas revêtir plusieurs modalités dans le sol servant (1976), il est possible de distinguer quatre formes principales (Fig.06).

- La forme A, est une salinisation.
- La forme B, est une désalinisation temporaire.
- La forme D, est une désalinisation permanente
- La forme C, est une ré-salinisation



Z : profondeur du sol en centimètre CE : conductivité électrique en mmhos/cm

Figure 06 : Type de profils salins (Servant, 1976).

10. Classification des sols salés:

Il existe plusieurs classifications des sols dans le monde. La classification Américaine, Française, Russe et FAO (1975). Parmi ces classifications celle proposé par le laboratoire de salinité des Etats Unis (U.S.S.L., 1954) :

➤ Sols salins(saline soils)

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 échangeable inférieur à 15%. Selon (HULLIN, 1983), ce sont des sols qui contiennent des sels solubles en quantité 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 (DAOUD, 1993).

➤ Sols salins à alcalis(saline-alkali soils)

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, se sont des sols qui contiennent suffisamment des sels solubles et de sodium échangeable (HULLIN, 1983).

D'après (DAOUD, 1993), la perméabilité de ses sols dépend du rapport entre CE - ESP, de la teneur et de la nature de la fraction argileuse des sols.

➤ Sols à alcalis(non saline-alkali soils)

Ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation inférieure à 4 ds/m, un pH compris entre 8.5 et 10 et 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.

11. Effet de la salinité sur le sol et les végétaux

11.1. Effet de la salinité sur le 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 (HAOUALA et al, 2007).

11.1.1. Effet sur les propriétés physiques

C'est par leurs cations que les sels solubles affectent les propriétés du sol. Il s'agit essentiellement de l'ion sodium. L'action défavorable de cet ion à l'état échangeable se traduit par la dispersion des colloïdes du sol et par conséquent:

- Structure dégradée;
- Réduction de la perméabilité;
- Mauvaise stabilité structurale;
- Faible disponibilité de l'eau à la plante (SERVANT, 1970 ; CHEVERY, 1972 ; AGASSI et al, 1981 ; AUBERT,1983 ; HALITIM, et al, 1984 ; DAOUD, 1993 ; CALVET, 2003 ;JEAN-PAUL,2007).

D'une façon générale, la dispersion dépend de deux facteurs :

- 1- La quantité de cations Na^+ adsorbés (ESP) dont l'augmentation favorise la dispersion.
- 2- La concentration de la solution saline au contact de la phase solide, dont l'augmentation limite la dispersion (CALVET, 2003).

11.1.2. Effet sur les propriétés chimiques

L'excès de sels présent un effet sur les propriétés chimiques notamment sur pH etESP (OUSTANI, 2006).

- **pH:** La réaction du sol est influencée par la nature des sels. Alors que certains sels sont acidifiants (CaSO_4 , KCl , MgSO_4), d'autres sont alcalinisant (NaHCO_3 , CaCO_3 , NaCO_3).
- **ESP:** 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 le cas des sols salés, la grande partie de sodium se trouve dans la solution du sol.

11.2. Effet de la salinité sur les végétaux

Les grandes concentrations en sels dissous dans la solution du sol ont des effets indirects sur les végétaux par leur action sur la structure du sol et la circulation des fluides et de l'oxygène. Elles ont des effets directs sur la croissance et le développement des plantes. Les effets néfastes des sels sur les végétaux ont plusieurs causes dont aucune ne semble être dominante:

- La pression osmotique élevée de la solution du sol qui limite la biodisponibilité de l'eau.
- La pression osmotique intracellulaire élevée due à l'absorption des sels et qui aurait des effets inhibiteurs sur la croissance (CALVET, 2003).
- La toxicité propre de certains éléments chimiques liée à leur quantité excessive, comme le bore et surtout l'anion chlore (AYERS, 1978 ; CALVET, 2003).

12. Mise en valeur des sols salés

Indépendamment du facteur économique qui doit nécessairement être pris 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 :
 - 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'utilisation des 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 (GIRARD et al, 2005).

*Deuxième partie : matériels et
méthodes d'étude*

Chapitre III. Présentation de la région de Ghardaïa

1. Situation géographique

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara Algérienne. À environ 600 Km de la capitale Alger. Les coordonnées géographiques du chef-lieu de la wilaya sont (BICHI et BEN TAMER, 2006) :

- Altitude 480 m.
- Latitude 32° 30' Nord.
- Longitude 3° 45' Est.

La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560 km², elle est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa ;
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh.

La wilaya comporte actuellement 11 communes regroupées en 8 daïras pour une population 396.452 habitants, soit une densité de 4,68 habitants/ km² (D.P.A.T, 2013).

2. Climat

Le Sahara est le plus grand des déserts, mais également le plus expressif et typique par son extrême aridité, c'est à dire celui dans lequel les conditions désertiques atteignent leur plus grande âpreté (TOUTAIN, 1979 ; OZENDA, 1991).

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

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Saharien, se caractérise par deux saisons: une saison chaude et sèche (d'Avril à Septembre) et une autre tempérée (d'Octobre à Mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver (A.N.R.H, 2007).

La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de 16 ans entre 1996-2012 ; à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie (Tabl. 09).

2.1. Température

Le climat thermique du Sahara est relativement uniforme; dès la partie septentrionale, on rencontre des étés brûlants qui ne sont guère plus dure que ceux qui s'observent dans la partie centrale et même soudanaise (OZENDA, 1991).

La température moyenne annuelle est de 22,58°C, avec 33,63°C en Août pour le mois plus chaud, et 12,34°C en Janvier pour le mois plus froid.

2.2. Précipitation

Le régime pluviométrique au Sahara septentrional est variable d'une année, il est caractérisé par des pluies qui apparaissent pendant la saison froide, de Septembre à Mars ; avec une moyenne de 100 à 200 mm par an et souvent loin d'être atteinte. Cette périodicité joue un rôle capital dans l'individualisation de la végétation (QUEZEL et SANTA, 1962).

L'insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité inter annuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse (OZENDA, 1991).

D'une manière générale, les précipitations sont faibles et d'origine orageuse, caractérisées par des écarts annuels et interannuels très importants. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 77,01 mm.

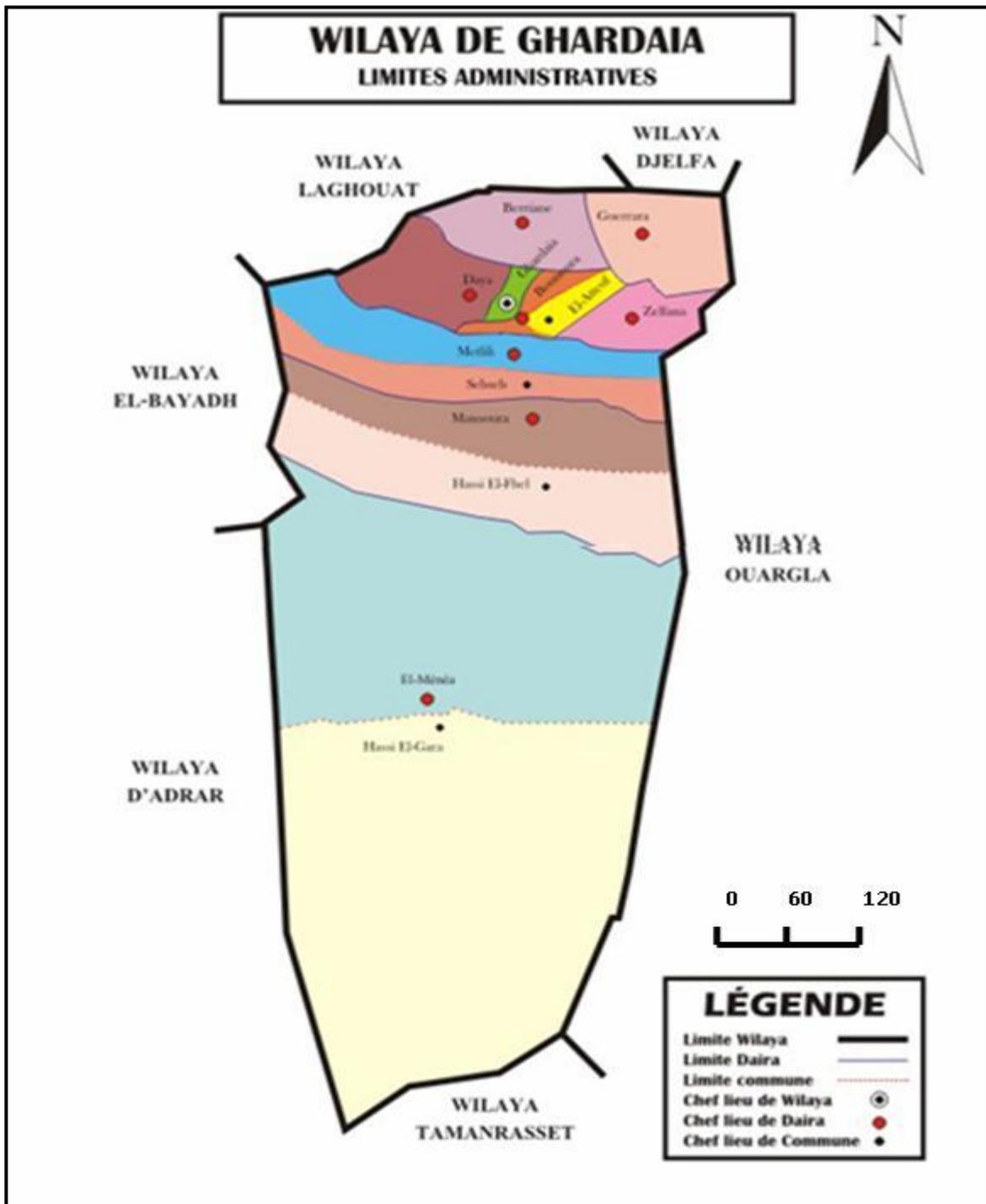


Figure 07 : Limites administratives de la wilaya de GHARDAIA (Atlas, 2004).

2.3. Humidité relative

L'humidité relative de l'air est très faible, elle est de l'ordre de 21,98% en Juillet, atteignant un maximum de 53,81% en mois de Janvier et une moyenne annuelle de 37,77 % (O.N.M, 2013).

2.4. Evaporation

Selon DUBIEF (1959), le Sahara apparaît comme la région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée. Cette perte d'eau, peut avoir comme origine :

- l'évaporation de masses d'eau libre ou de celle contenue dans le sol, ou évaporation physique.
- l'évaporation par les végétaux (qui peut être considérée comme secondaire dans les régions sahariennes), ou évaporation physiologique.

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de 527.62 mm /an, avec un maximum mensuel de 76.97 mm au mois de Juillet et un minimum de 17.62 mm au mois de Janvier (O.N.M, 2013).

Tableau 09 : Données météorologique de la Wilaya de Ghardaïa (1996-2012)

	T. (°C)	P. (mm)	I. (h)	E. (mm)	H. (%)	V.V (m/s)
Janvier	12,34	5,05	50.74	17.62	53,81	5,91
Février	14,38	3,06	46.39	25.97	44,21	7,69
Mars	16,66	8,23	52.87	33.58	38,38	6,9
Avril	21,3	11,23	74,42	43.18	38,63	7,75
Mai	26,11	2,62	62.64	50.18	28,34	7,09
Juin	30,99	2,12	67	75.04	24,87	7,08
Juillet	33,41	1,17	70.60	76.97	21,98	6,11
Août	33,63	9,96	65.93	71.15	25,61	5,63
Septembre	29,16	15,85	54.18	51.47	35,3	6,17
Octobre	23,88	8,2	54.5	33.07	42,74	7,82
Novembre	16,6	3,46	50.63	24.57	46,94	5,29
Décembre	12,51	6,06	49.52	24.82	52,47	6,16
Moyenne	22,58	77,01*	699.42*	527.62*	37,77	6,63

(O.N.M, 2013)

H. : Humidité relative ; T. : Température ; P. : Pluviométrie ; I. : Insolation.
V.V. : Vitesse de vent ; E. : Evaporation ; * : Cumulés annuelle.

2.5. Insolation

A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant en augmentant la température (OZENDA, 1991).

La durée moyenne de l'insolation est de 58.28 heures/mois, avec un maximum de 74.42 au mois d'Avril ; et un minimum de 46.39 au mois de février. La durée moyenne annuelle est de l'ordre 699.42 heures/an, soit approximativement 1.91 heures/jour (O.N.M, 2013).

2.6. Vent

Ils sont de deux types :

- Les vents de sables en automne, printemps et hiver de direction nord - ouest.
- Les vents chauds (Sirocco) dominant en été, de direction sud-nord ; sont très sec et entraînent une forte évapotranspiration (BENSEMAOUNE, 2007).

D'après les données de l'O.N.M (2013) pour la période de 1996-2012, les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 6.63 m/s.

2.7. Classification du climat

2.7.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Selon le tableau 1 qui se base sur l'enregistrement des données de précipitations et des données de températures mensuelles sur une période de 16 ans, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer la période sèche.

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il est représenté (Fig.08) :

- en abscisse par les mois de l'année.
- en ordonnées par les précipitations en mm et les températures moyennes en °C.
- une échelle de $P=2T$.

-L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. Dans la région de Ghardaïa, nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année.

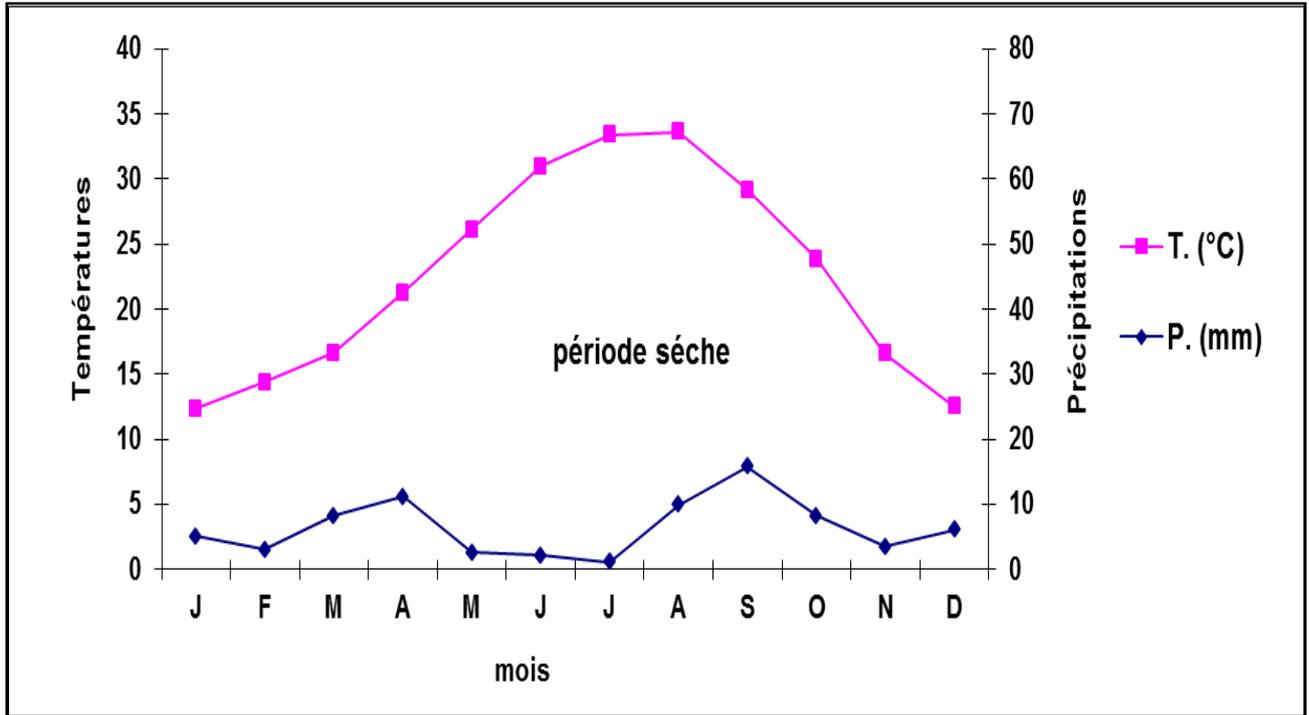


Figure 08 : Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa 1996-2012.

2.7.2. Climagramme d'EMBERGER

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

- en abscisse par la moyenne des minima du mois le plus froid.
- en ordonnées par le quotient pluviométrique (Q2) d'EMBERGER (1933 in LE HOUEROU, 1995).

Nous avons utilisés la formule de STEWART (1969 in LE HOUEROU, 1995) adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q2 = 3,43 \frac{P}{Mm}$$

Q2 : quotient thermique d'EMBERGER

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm $Q2 = 3,43 \frac{P}{Mm}$

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C

m : moyenne des minima du mois le plus froid en °C

D'après la figure (09), Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient thermique (Q2) est de 7,57.

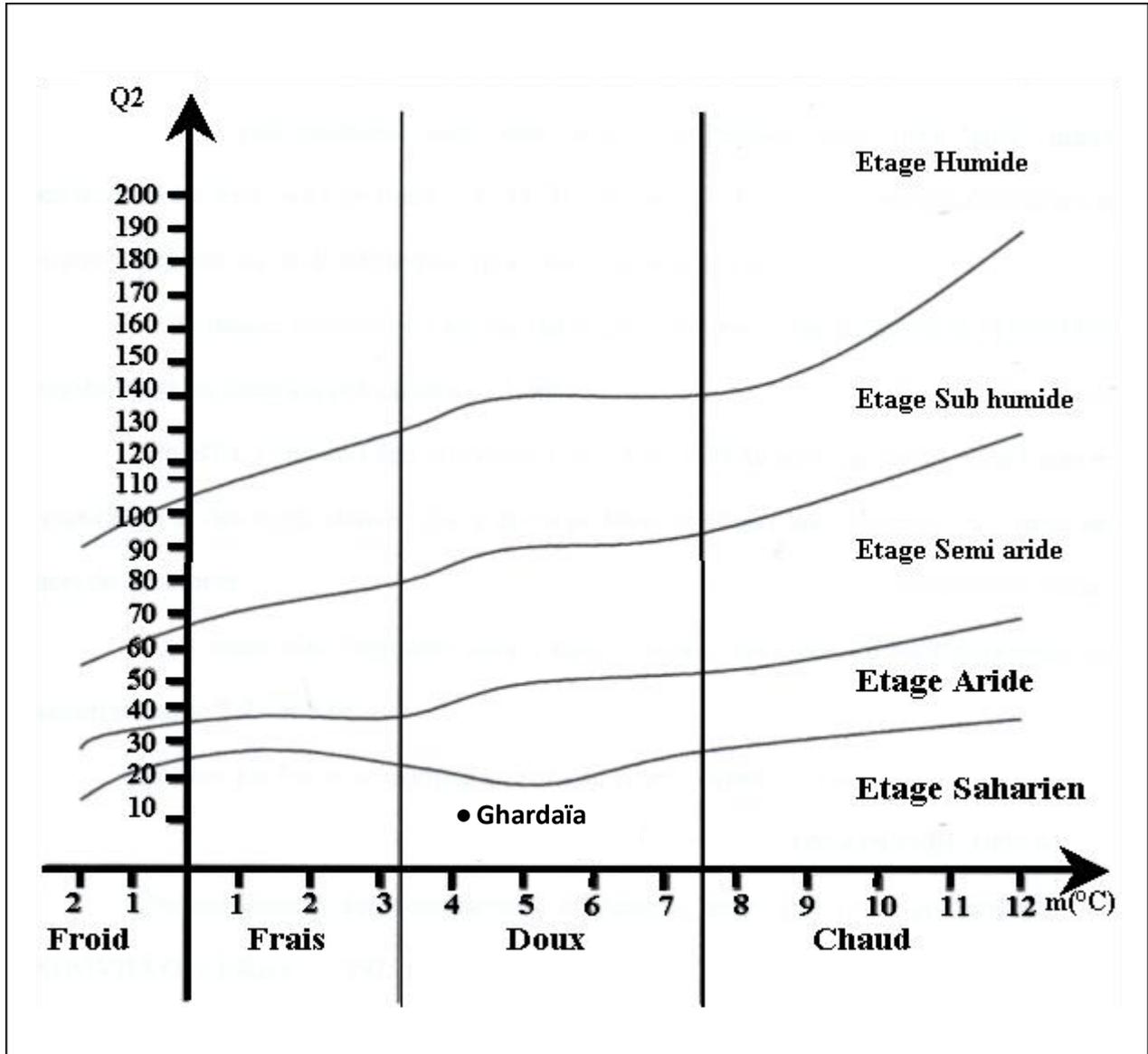


Figure 09 : Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER.

3. Géomorphologie

Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques (Fig.10) (D.P.A.T, 2005).

- La Chabka du M'Zab.
- La région des dayas.
- La région des Ergs.

3.1. Chabka du M'Zab

C'est un plateau crétacé rocheux et découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, qui semblent s'enchevêtrer les unes des autres. Ces vallées sont plus ou moins parallèles. Leur pente est dirigée vers l'Est (D.P.A.T, 2005).

La hauteur des vallées du M'Zab est assez variable et n'atteint pas les cent (100) mètres. Leur largeur est parfois de plusieurs kilomètres. Les formations encaissantes comprennent des calcaires, et au dessous des marnes ; les calcaires généralement dolomitiques constituent le plateau et le haut des berges (D.P.A.T, 2005).

Le plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 Km², représentant 21 % de la région du M'Zab (COYNE, 1989). Vers l'Ouest, il se lève d'une manière continue et se termine brusquement à la grande falaise d'El loua, qui représente la coupe naturelle et oblique de ce bombement.

Mis à part, Zelfana et Guerrara, les neuf autres communes (Ghardaïa, Berriane, Daïa, Bounoura, El Ateuf, Metlili, Sebseb, Mansoura et Hassi L'Fhel) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau.

3.2. Région des dayas

Au sud de l'Atlas saharien d'une part et d'autre part du méridien de Laghouat s'étend une partie communément appelée «plateau des dayas» en raison de l'abondance de ces entités physiologiques et biologiques qualifiées des dayas.

Dans la région de Ghardaïa, seule la commune de Guerrara, située au nord-est, occupe une petite partie du pays des dayas (BARRY et FAUREL, 1971 in LEBATT et MAHMA, 1997).

De substratum géologique miopliocène, les dayas sont des dépressions de dimensions très variables, grossièrement circulaires. Elles ont résulté des phénomènes karstiques de dissolution souterraine qui entraînent à la fois un approfondissement de la daya et son extension par corrosion périphérique (BARRY et FAUREL, 1971 in LEBATT et MAHMA, 1997).

3.3. Région des Regs

Située à l'Est de la région de Ghardaïa, et de substratum géologique pliocène, cette région est caractérisée par l'abondance des Regs, qui sont des sols solides et caillouteux.

Les Regs sont le résultat de la déflation éolienne, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf (BELERAGUEB, 1996 in MIHOUB, 2008).

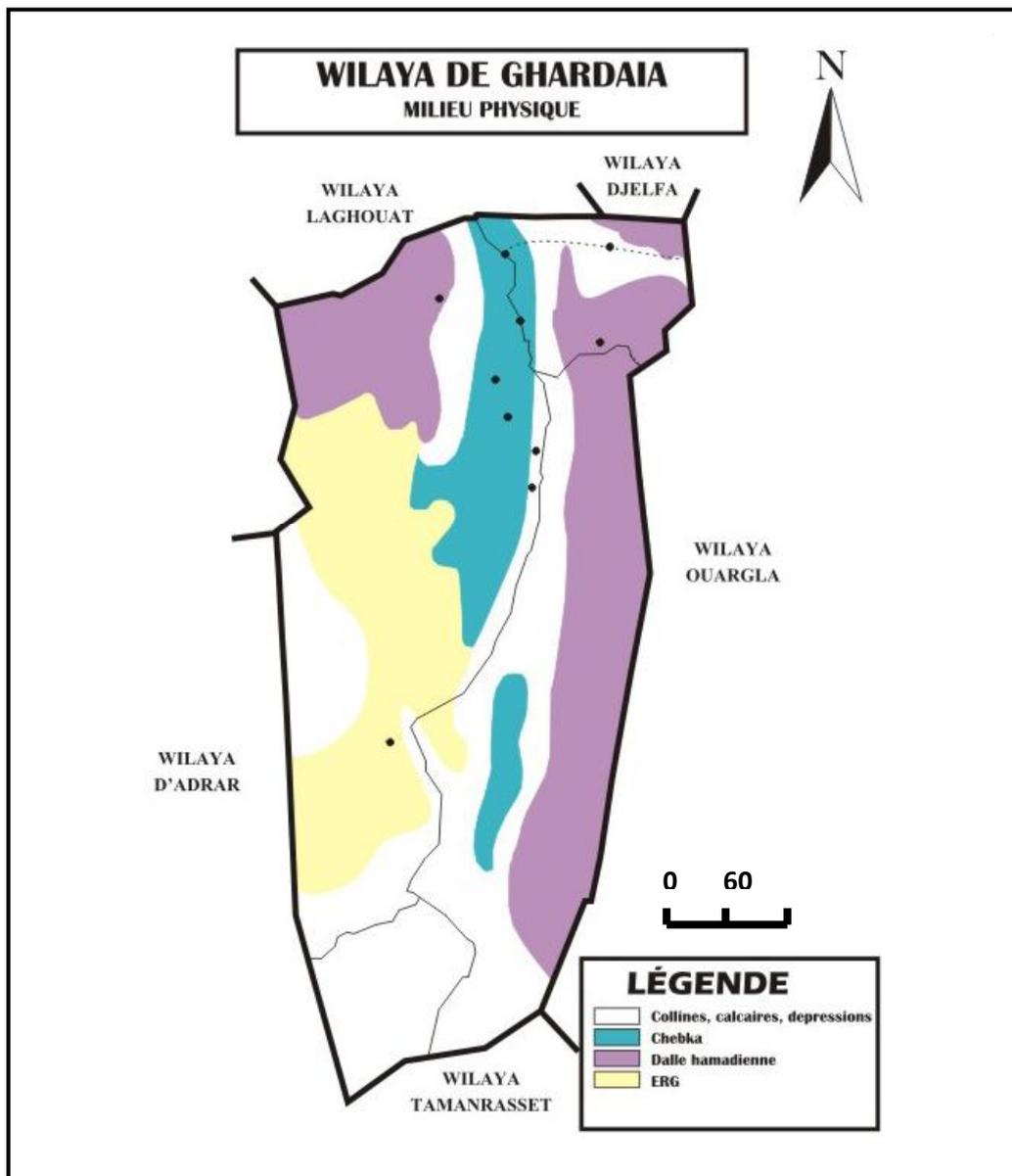


Figure 10: Milieu physique de la wilaya de GHARDAIA (Atlas, 2004).

4. Géologie

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab".

L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques) (Fig.11) (A.N.R.H, 2007).

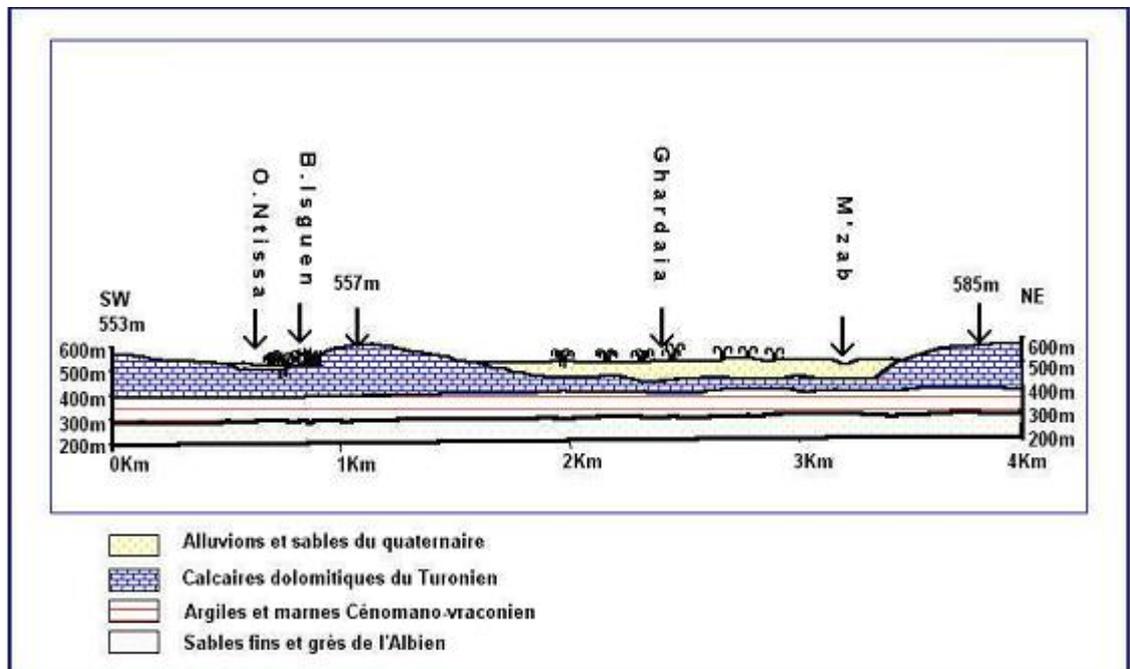


Figure 11 : Esquisse hydrogéologique du M'Zab (A.N.R.H, 2007).

5. Hydrologie

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir.

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Fig.12), ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses que connaît la région.

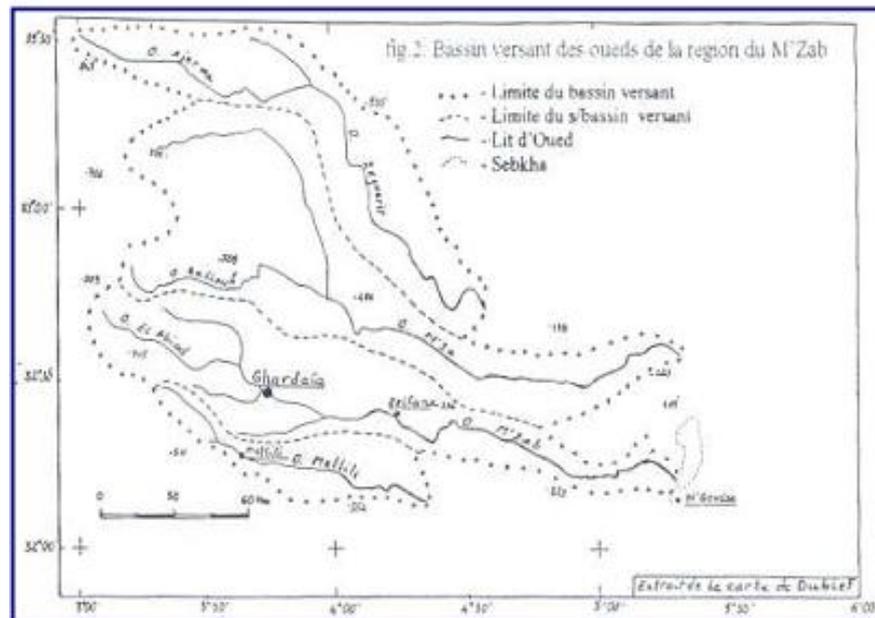


Figure 12 : Bassin versant de la région du M'Zab (A.N.R.H, 2007).

Exceptionnellement, quand les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, ces oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Une étude des crues de l'oued Mzab a estimé les débits de crue décennale et centennale à 205 et 722 m³/s (A.N.R.H, 1994).

Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment pour l'oued M'Zab et Metlili où chaque pluie exceptionnelle cause beaucoup de dommages principalement dans les agglomérations (A.N.R.H, 2007).

6. Hydrogéologie

6.1. Nappe phréatique

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier des dattiers. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie.

La qualité chimique des eaux est comme suit :

- à l'amont, elle est bonne à la consommation.
- à l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines (A.N.R.H, 2007).

6.2. Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréséo-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000 m.

Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud Atlasique.

La nappe du continental intercalaire, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au continental intercalaire, elle est :

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana. Guerrara et certaines régions d'El Menia).
- Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120 m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia) (A.N.R.H, 2007).

7. Pédologie

Au Sahara, la couverture pédologique présente une grande hétérogénéité et se compose des classes suivantes : sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols halomorphes et sols hydromorphes.

La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible (inférieur à 1%) et ne permet pas une bonne agrégation. Ces sols squelettiques sont très peu fertiles car leur rétention en eau est très faible, environ 8% en volume d'eau disponible (DAOUD et HALITIM, 1994).

La région du M'zab est caractérisée par des sols peu évolués, meubles, profonds, peu salés et sablo-limoneux. Elle possède une texture assez constante qui permet un drainage naturel suffisant. Par contre la dorsale du M'zab qui entoure la vallée appartient aux regs autochtones (BENZAYET, 2010).

Chapitre IV. Matériels d'étude

L'étude de la couverture pédologique commence par le choix d'une zone d'étude, qui répond aux exigences des grands axes de thème de recherche, suivie par des travaux préliminaires déterminant le plan d'échantillonnage, en suite l'étude morphologique et analytique ainsi que la classification des sols, et enfin la réalisation d'esquisse d'une carte des sols (MESSEN et al 2004 inDJILI, 2004).

L'objectif principal de cette étude est de mettre la lumière sur l'impact de l'intensification agricole sur la variation du taux de la salinité du sol dans une parcelle cultivée par des céréales dans une station expérimentale situé à HASSI EL F'HEL (ferme de BEN HAMOUDA).

1. Matériels d'étude

Pour effectuer ce travail, nous avons utilisés le matériel suivant :

1.1. Au terrain

- Piquets
- Cordes
- Tarières pédologiques
- Niveau d'ingénieur
- GPS
- Décamètres

1.2. Au laboratoire

- Tamis 2 mm
- Un conductimètre
- Balance
- Agitateur magnétique

2. Choix du site d'étude

Nous avons sélectionné le site BEN HAMOUDA situé à HASSI EL F'HEL pour le déroulement de notre travail expérimental. Ce choix est fait pour les raisons suivantes :

- Le nombre élevé des pivots ce qui donne la possibilité de choix du site.
- La qualité des eaux d'irrigation qui ne présente pas de salinité.

- L'existence d'une parcelle non cultivée (témoin).
- Les facilités rencontrées par les gestionnaires de la ferme.

3. Présentation du site d'étude

Notre essai a été réalisé au niveau de la ferme BEN HAMOUDA qui a été créée en 1995 à Ghardaïa, dans la commune de HASSI EL F'HEL, à 140 Km d'environ de distance de chef-lieu de la wilaya, elle est limitée:

- Au nord: Par la commune de Sebseb.
- Au sud: Par la commune de El meniaa (El goléa).
- A l'est: Par la commune de Rouissat (la wilaya de Ouargla).
- A l'ouest: Par la commune de Brizina (la wilaya d'El Bayadh).

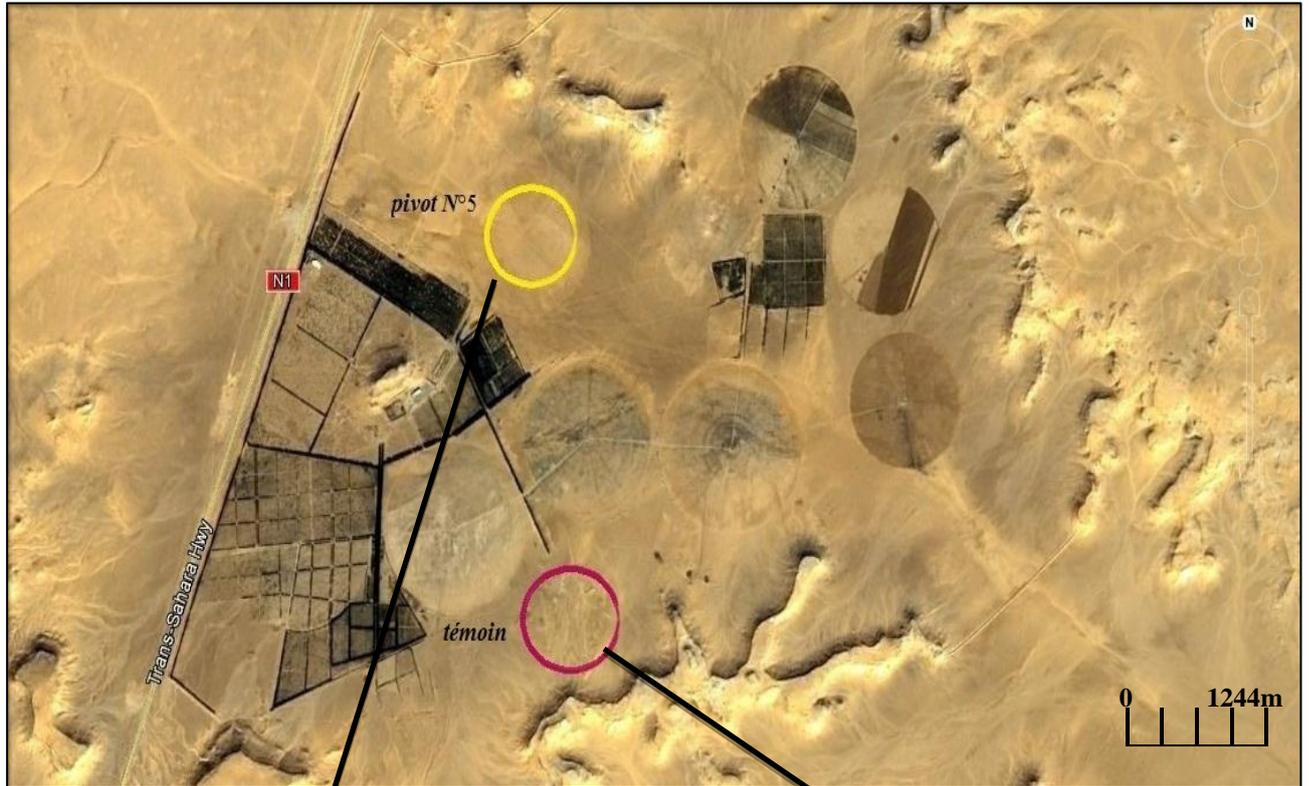
Le périmètre couvre une superficie de 1000 ha, la superficie exploitée est estimée à 600 ha. La ferme dispose de 08 centres pivots de 35 ha, 40 et 50 ha. La superficie totale exploitée est de 400 ha à vocation céréalière irriguée par le système pivot.

En plus de céréaliculture, la phoeniciculture trouve sa place avec un effectif de 5000 pieds couvrant une superficie de 50 ha.

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent d'un seul aquifères : le continental intercalaire (albien).

4. Choix de parcelle d'étude

Nous avons choisi le pivot n°5 qui couvre une superficie de 45 ha et qui a été exploité pendant 4 ans en céréaliculture sous pivot. Une autre parcelle non cultivée (témoin) a été échantillonnée de la même manière (Fig.13).



(Source: www.google.earth.com.)



Figure 13 : Présentation du site d'étude (sous pivot et témoin).

5. Itinéraire technique

Travail du sol

Le travail du sol pour le blé constitue un facteur déterminant dans l'obtention des bons rendements. Il s'exécute en deux phases:

- Le labour pour l'ameublissement du sol en profondeur.
- les façons superficielles pour préparer le lit de semences.

L'orge nécessite, comme le blé, un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 20 à 25 cm et présentant une structure fine en surface.

Dans les régions où les sols sont légers (limoneux-sablonneux), il est à conseiller d'utiliser des instruments à dents, tel que le chisel, couplé à la herse. Dans les sols à texture sablonneuse, les outils à disques peuvent être utilisés sans risques.

En présence des chaumes, utiliser la déchaumeuse pour leurs enfouissements.

Semis

Le semis nécessite l'utilisation de semences sélectionnées et traitées dont la faculté germinative doit être Supérieure à 90% pour le blé tendre et le blé dur et se situe entre 95 et 98% pour l'orge. Ainsi que le choix des variétés utilisées pour assurer un bon rendement dont on peut citer: Anza, Sham4, HD 1.220 pour le blé tendre et Mexicali, Sham3, Virton, Waha, Aldura pour le blé dur et la variété A.C.S.A.D 176 et U.C 476 pour l'orge.

La profondeur de semis: 2 à 3cm pour le blé dur, 2 à 4cm pour le blé tendre et 4 à 5 cm pour l'orge.

La dose de semis appliquée est : de 200 à 225 kg/ha pour le blé dur, de 180 à 200 kg/ha pour le blé tendre et de 150 à 160 kg/ha pour l'orge.

L'époque de semis est de fin octobre à fin novembre pour le blé dur et le blé tendre et fin octobre à début novembre pour l'orge.

Fertilisation

La fumure de fond est appliquée en raison de 4qx/ha T.S.P 46%. Pour les sols pauvres en potasse, il y a lieu de prévoir un apport de 2 qx/ha une année sur deux (pour le blé dur, et le blé tendre et l'orge).

L'azote est l'élément qui assure le rendement. Les besoins en azote sont de l'ordre de 6 à 8 qx/ha d'urée 46 % pour le blé dur et tendre. Pour l'orge une quantité de 6 qx d'urée 46 %.L'apport est fait en utilisant un doseur d'engrais.

Irrigation

Pour germer, le blé dur a besoin d'un sol humide sans excès. C'est de la phase épi 1 cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. Les exigences du blé tendre sont supérieures à celles de l'orge. Ils sont de l'ordre de 600 mm.

L'orge et en raison de son enracinement plus profond, résiste mieux à la sécheresse que le blé. Il lui faut au moins 500 mm d'eau pour atteindre un niveau de rendement économique.

Chapitre V. Méthodes d'études

1. Approche méthodologique

La qualité du sol est un élément essentiel pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole intensive. Un aménagement du sol ne peut être durable que s'il maintient ou améliore les qualités des sols et des eaux.

Pour évaluer la qualité de sol, l'U.S.D.A(1999) a proposé deux manières d'évaluation :

-soit par la prise de mesures périodiquement dans le temps pour surveiller les changements ou les tendances de qualité de sol.

-soit par la comparaison des valeurs mesurées à un état de sol de référence ou à l'écosystème naturel.

La salinité constitue un problème majeur des sols cultivés au Sahara algérien surtout dans les dépressions par la suite d'irrigation continue accompagnée par un mauvais drainage.

La connaissance du niveau de salinité des sols cultivés est indispensable afin d'améliorer la production par le biais de l'amélioration des pratiques culturales à savoir l'irrigation et le drainage.

L'approche méthodologique choisie dans notre étude permet de caractériser la salinité du sol dans une parcelle irriguée par pivot pendant un certain nombre d'année (4 ans) et de comparer les valeurs mesurées des caractéristiques du sol à un état de référence (témoin).

Les critères d'évaluation étant la salinité exprimée par la conductivité électrique à 25°C et représenté par la couche arable.

2. Méthode d'échantillonnage

L'étude de la variation de la salinité dans la région de Hassi el f'hel a été réalisée en faisant un échantillonnage systématique avec une maille régulière de 30 x 30 m, comme montre la figure (14). Le nombre des échantillons est 30 dans la parcelle cultivée (céréaliculture sous pivot) et 30 échantillons dans la parcelle non cultivée (témoin).

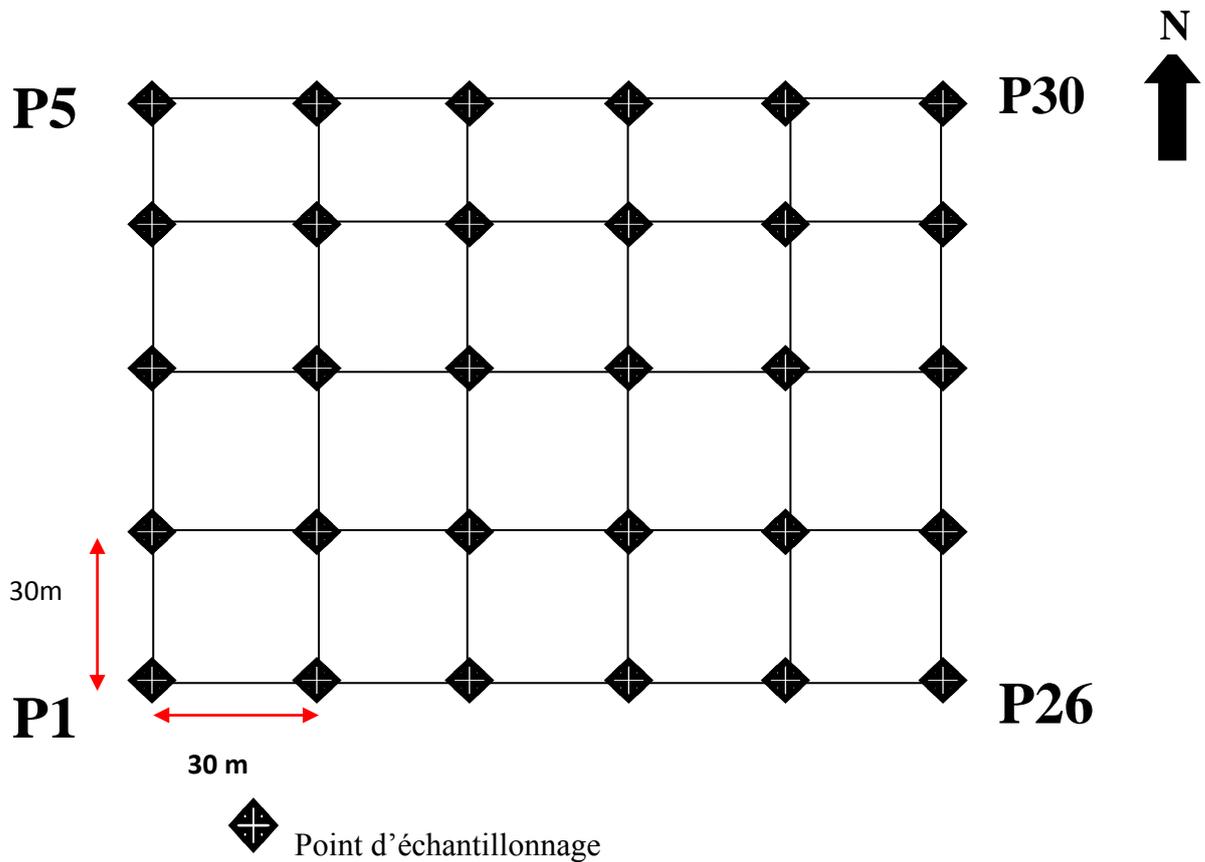


Figure 14 : Plan d'échantillonnage des parcelles étudiées.

3. Analyse au laboratoire

3.1. Analyse de sol

Les échantillons prélevés sont séchés à l'air libre puis tamisés à 2 mm.

Nous avons réalisé au laboratoire un extrait dilué sol/terre avec un rapport 1/5 pour chaque échantillon (10 g de sol et 50 ml de l'eau). Les analyses ont porté sur :

-La conductivité électrique du sol (C.E à 25°C) a été mesurée à l'aide d'un conductimètre.

3.2. Analyse de l'eau

Nous avons mesuré le pH et la conductivité de l'eau d'irrigation.

- Le pH à l'aide d'un pH mètre à électrode.

- La conductivité électrique de l'eau (C.E à 25°C) à l'aide d'un conductimètre.

Toutes les analyses ont été réalisées au laboratoire de chimie à l'université de Ghardaïa.

4. Analyses Statistiques

4.1. Variation annuelle des paramètres étudiés

Le taux de variation annuelle de la salinité du sol (q_i) dans la forme générale est la suivante (BADRAOUI et al, 1988) :

$$\text{TVA-}q_i = (q_{it2} - q_{it1}) / (t_2 - t_1)$$

Avec :

q_{it2} : la valeur moyenne de la salinité de soldans la parcelle cultivé.

q_{it1} : la valeur moyenne de la salinité de sol dans la parcelle témoin.

$(t_2 - t_1)$: nombre d'années d'irrigation

4.2. Statistiques descriptives

Cet outil d'analyse génère un rapport de statistiques à une seule variable pour les données contenues dans la plage d'entrée, fournissant ainsi des informations sur la tendance centrale et la dispersion des données.

Les statistiques descriptives dans notre cas concernent la moyenne, l'écart type, le minimum, et le maximum.

4.3. Analyse de variance à un facteur

Nous avons procédé à une analyse de variance à un facteur entre les échantillons du sol témoin et ceux du sol cultivé.

Cette analyse va permette la mise en évidence de l'existence ou pas des différences entre les moyennes et la signification de cette différence si elle existe.

Nous avons retenues les seuils de signification suivants :

- Très hautement significative à $\alpha = 0.001$

- Hautement significative à $\alpha = 0.01$
- Significative à $\alpha = 0.05$

Les logiciels utilisés pour les analyses statistiques sont STATISTICA 5.1 et EXCEL.

4.4. Coefficient de variation

Le coefficient de variation (CV) a été utilisé pour comparer la variabilité des descripteurs pédologiques. Il est calculé par le rapport entre l'écart-type(s) et la moyenne arithmétique (m) (BECKETT et WEBSTER., 1971 in NOLIN et al, 1991 ; WILDING et DREES., 1983 in MATHIEU, 2009) :

$$\text{CV (\%)} = 100 \text{ S/m}$$

Cinq classes, basées sur la valeur du CV, sont proposées par NOLIN et al, (1997 in MATHIEU, 2009) pour qualifier l'intensité de la variabilité des sols (Tabl.10).

Tableau 10 : Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et al., 1997 in MATHIEU, 2009).

Intensité de la variabilité	Coefficient de variabilité (%)
Faible	<15
Modérée	15-35
Élevée	35-50
Très élevée	50-100
Extrêmement élevée	>100

4.5. Géostatistiques

La géostatistique est un outil d'analyse de la structure de variation et d'organisation spatiale de l'information géographique, comme les propriétés des sols (fertilité, texture...). Elle regroupe un ensemble de techniques statistiques permettant aux pédologues et aux scientifiques du sol de mieux comprendre et de reproduire le modèle de la variabilité spatiale des sols (TRANGMAR et al., 1985 in MATHIEU, 2009).

Ces techniques reposent sur l'analyse numérique de la dépendance des échantillons dans l'espace. En d'autres termes, cela signifie que « plus les échantillons sont rapprochés dans l'espace,

plus ils se ressemblent jusqu'à une certaine distance au-delà de laquelle ils deviennent indépendants les uns des autres » (Nolin., 2000 in MATHIEU, 2009).

C'est une méthode couramment utilisée pour étudier la dépendance spatiale des observations est d'analyser le semi-variogramme (appelé couramment variogramme), un graphique qui présente la variation de la demi-variance $\gamma(h)$ en fonction de la distance (h) entre les échantillons (MATHIEU, 2009).

4.5.1. Variogramme

Soit n points de mesures, chaque point étant caractérisé par ses coordonnées dans l'espace à 2 dimensions (x et y). Soit une valeur D de la distance, on dispose de n' couple de points séparés par une distance égale à D . La semi-variance permet de quantifier la relation spatiale existant entre les points séparés par une distance quelconque D . Pour une variable Z la semi-variance $\gamma(h)$ est donnée par (LAURENT et ROSSI, 1994):

$$2\gamma(h) = \text{VAR}\{z(\mathbf{x}) - z(\mathbf{x} + \mathbf{h})\}$$

Avec h la distance, et $Z(\mathbf{x})$ la valeur de Z au point \mathbf{x} où Var signifie variance.

Le graphe obtenu en traçant $\gamma(h)$ en fonction de h est appelé variogramme. Il indique l'intensité de la structure spatiale et son évolution avec la distance h .

Le variogramme calculé partir d'un échantillon est ensuite ajusté à un modèle théorique qui sera utilisé lors de l'interpolation par krigeage (NOLIN et al, 1991).

4.5.2. Krigeage

Le krigeage est une technique géostatistique de modélisation spatiale permettant, à partir de données dispersées, d'obtenir une représentation homogène des informations étudiées (HENNEQUI, 2010) basées par méthodes d'interpolation linéaire sur l'expression de la dépendance spatiale par le variogramme (NOLIN et al, 1991)

Les deux types de krigeage les plus communs sont le krigeage ponctuel correspond à l'estimation de la valeur d'une variable en un point non échantillonné et le krigeage par blocs estimant la valeur moyenne de cette variable sur une surface déterminée (DESPAGNE, 2006).

La précision des estimations par krigeage dépend d'un certain nombre de facteurs (MYERS, 1994; SULLIVAN et al, 2005; LIU et al, 2006; RIVERO et al, 2007 in MATHIEU, 2009) soit :

- Le nombre d'échantillons et la qualité des données en chaque point;
- La position des échantillons sur le site étudié, car les échantillons régulièrement espacés offrent une meilleure couverture et donnent ainsi davantage d'informations sur le site que des échantillons regroupés;
- La distance entre les échantillons et le point dont on veut estimer la valeur;
- La continuité spatiale de la variable étudiée : il est plus facile d'estimer la valeur d'une variable assez régulière que celle d'une variable qui varie de façon aléatoire.

*Troisième partie : Résultats et
Discussions*

Chapitre VI : Résultats et discussions

Supportant des conditions sévères des zone aride, les sols présentent un certain nombre de caractères constants : des éléments solubles concentrés en surface ou partiellement lessivés et accumulés, à un niveau ou à un autre du profil, jusqu'à donner naissance à des nodules ou à des croûtes calcaires, gypseuses ou salines. Très souvent calcaires, ces sols sont aussi fréquemment salés (AUBERT, 1975).

1. Résultats

1.1. Caractéristiques de l'eau d'irrigation

L'eau d'irrigation est pompée à partir de la nappe albienne (continental intercalaire) qui se trouve à une profondeur de 420 m.

Un échantillon de l'eau de forage irriguant le pivot N°05 a été analysée au laboratoire de chimie à l'université de Ghardaïa, l'eau présente les caractéristiques suivantes :

D'après la classification de Riverside modifiée par DURAND (1958), cette eau appartient à la classe C2 avec CE de 0,66 dS/m à 25°C et d'un pH alcalin de 7.5.

Selon la classification de DURAND (1983), il s'agit d'une eau à salinité moyenne, utilisable avec un léger lessivage.

1.2. Caractérisation de la salinisation du sol

L'étude de la salinité (conductivité électrique) dans l'horizon de surface est effectuée sur une profondeur de 0 à 30 cm dans deux parcelles, l'une a été cultivée pendant 04 ans et l'autre non cultivée.

Tous les résultats sont présentés synthétiquement de la façon suivante :

N; m ± sd (min - max)

Dont :

N : nombre d'observation

m : moyenne

sd : écart type

Min : minimum

Max : maximum

Les résultats d'analyses de la salinité de l'horizon de surface dans les parcelles étudiées sont présentés dans le tableau (11).

Tableau 11. Les résultats d'analyses de la salinité de l'horizon de surface.

	C.E. à 25° C (dS/m)
Parcelle cultivée	30 ; 0.18±0.06 (0.10-0.35)
Parcelle témoin	30 ; 0.24±0.16 (0.10-0.73)

Dans l'horizon superficiel de la parcelle cultivée, la salinité varie de 0.10 à 0.35 dS/m avec une moyenne de 0.18±0.06 dS/m (non salé).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle témoin, la salinité varie de 0.10 à 0.73 dS/m avec une moyenne de 0.24±0.16 dS/m (non salé à peu salé).

Le coefficient de variation montre que la conductivité électrique(CE) a une variabilité élevée (CV=36.19%) dans la parcelle cultivée et une variabilité très élevée (CV=66,43%) pour la parcelle témoin(Tab.12) (NOLIN et al, 1997 in MATHIEU, 2009).

Tableau 12 : Statistiques de la conductivité électrique (CE) du sol.

Parcelle	Profondeur	Moy	Min	Max	CV%	N
Cultivé	0-30 cm	0,18	0.10	0.35	36,19	30
Témoin	0-30 cm	0,24	0.10	0.73	66,43	30

Moy: moyenne, **Min** : minimum, **Max** : maximum, **CV** : coefficient de variation, **N** : nombre d'échantillon.

1.3. Modélisation géostatistique de la variabilité spatiale de la salinité du sol

La géostatistique est un outil d'analyse de la structure de variation et d'organisation spatiale de l'information géographique, comme les propriétés des sols (fertilité, texture...). Elle regroupe un ensemble de techniques statistiques permettant aux pédologues et aux scientifiques du sol de mieux comprendre et de reproduire le modèle de la variabilité spatiale des sols, Ces techniques reposent sur

l'analyse numérique de la dépendance des échantillons dans l'espace (TRANGMAR et al., 1985 in MATHIEU, 2009).

Pour mieux estimer la distribution spatiale de la salinité dans le sol, on a soumis les données d'analyses de ce paramètre au géotraitement statistique selon les étapes suivantes :

- 1- En premier lieu, nous avons tracé des variogrammes expérimentaux.
- 2- Ensuite, nous avons ajusté ces variogrammes au modèle théorique linéaire.
- 3- Enfin, nous avons réalisé des cartes thématiques par krigeage.

1.3.1. Analyse variographique

Le variogramme est un outil statistique, provenant de la théorie des variables régionalisées, initialement a été utilisé en minéralogie, puis a été étendu dans d'autres domaines tels que l'hydrologie, la mécanique des sols et les ressources forestières (MATHERON, 1965 ; KRIDGE, 1966; DELHOMME, 1976 ; MARBEAU, 1976 ; VAUCLIN, 1982 in PINEL, 1997).

Le variogramme qui est l'outil généralement utilisé pour analyser la dépendance spatiale d'une propriété du sol, donne des informations sur la nature des processus spatiaux à l'origine d'un variable observé (WALTER, 2002 ; MATHIEU, 2009), il est ensuite ajusté à un modèle théorique qui sera utilisé lors de l'interpolation par krigeage (NOLIN et al 1991 ; DAUPHINE et VOIRON-CANICIO, 1988 in GODARD, 1994).

Selon GODARD (1994), plusieurs modèles d'ajustement (linéaire, sphérique, exponentiel, ...) ont été déjà testés par différents auteurs sur des données de terrain (BURGESS et al, 1981 ; MCBRATNEY et WEBSTER 1986 ; WEBSTER et al, 1989).

La distribution des points de mesures à un effet sur le modèle de variogrammes, qui sont influencés par le mode d'échantillonnage (sphérique pour le variogramme tiré de l'échantillonnage aléatoire et linéaire pour celui issu de l'échantillonnage régulier) (LAURENT et ROSSI, 1994).

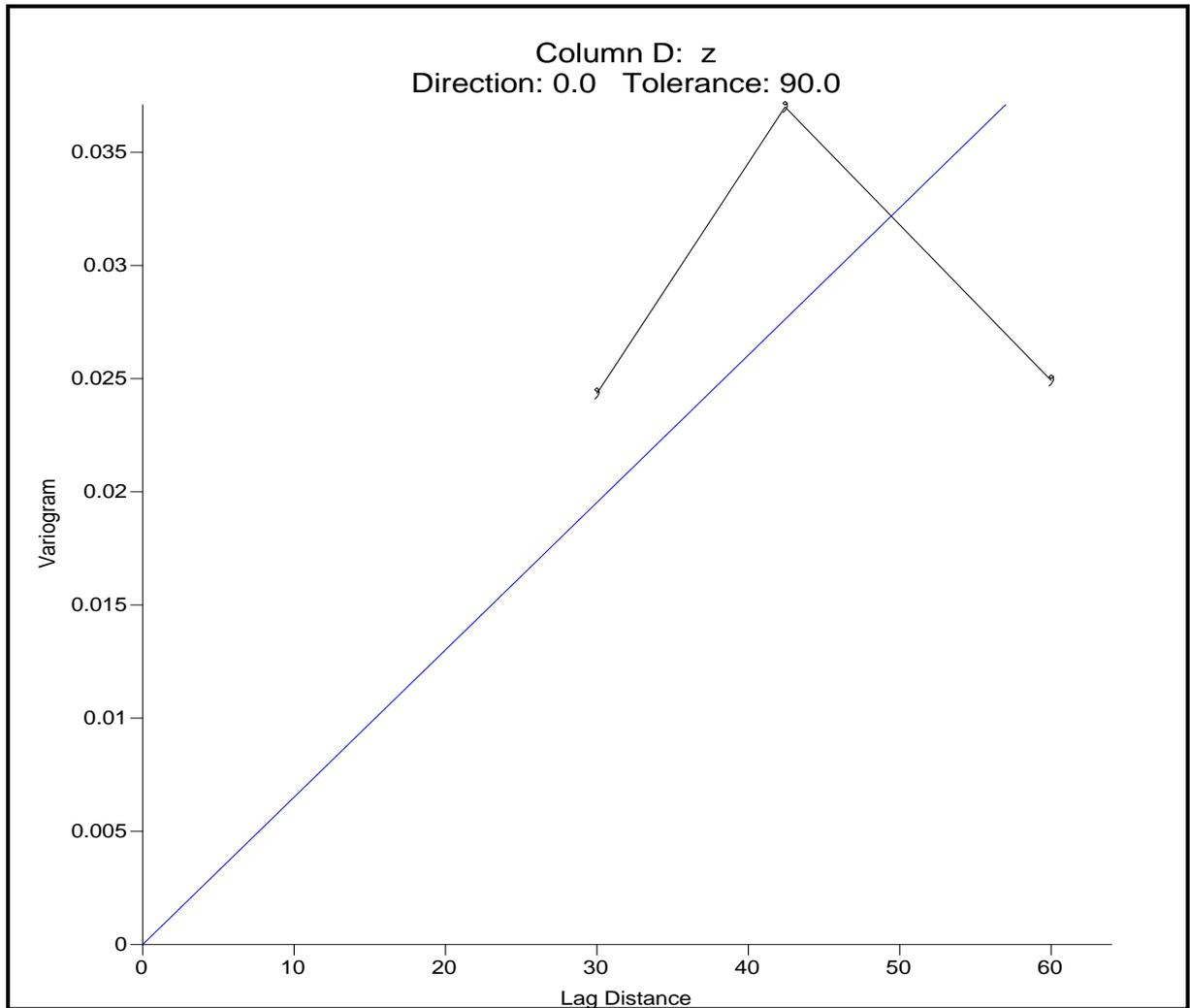


Figure15 : Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle non cultivée (témoin).

D'après la figure (15), notre variogramme expérimentale s'ajuste au modèle linéaire qui explique les variations spatiales de la salinité du sol dans la parcelle témoin avec un effet de pépite faible et caractérisé par une pente égale à 0,000651.

Ce variogramme dans notre cas prend trois points essentiels à des valeurs successivement de 30 m, 42.4 m, et 64 m. La variation spatiale de la salinité augmente avec la distance jusqu'à 42,4m, ensuite elle commence à diminué jusqu'à une distance de 64m. Au-delà de 64 m, la variation de la salinité du sol dans la parcelle non cultivée est indépendante de la distance entre les échantillons.

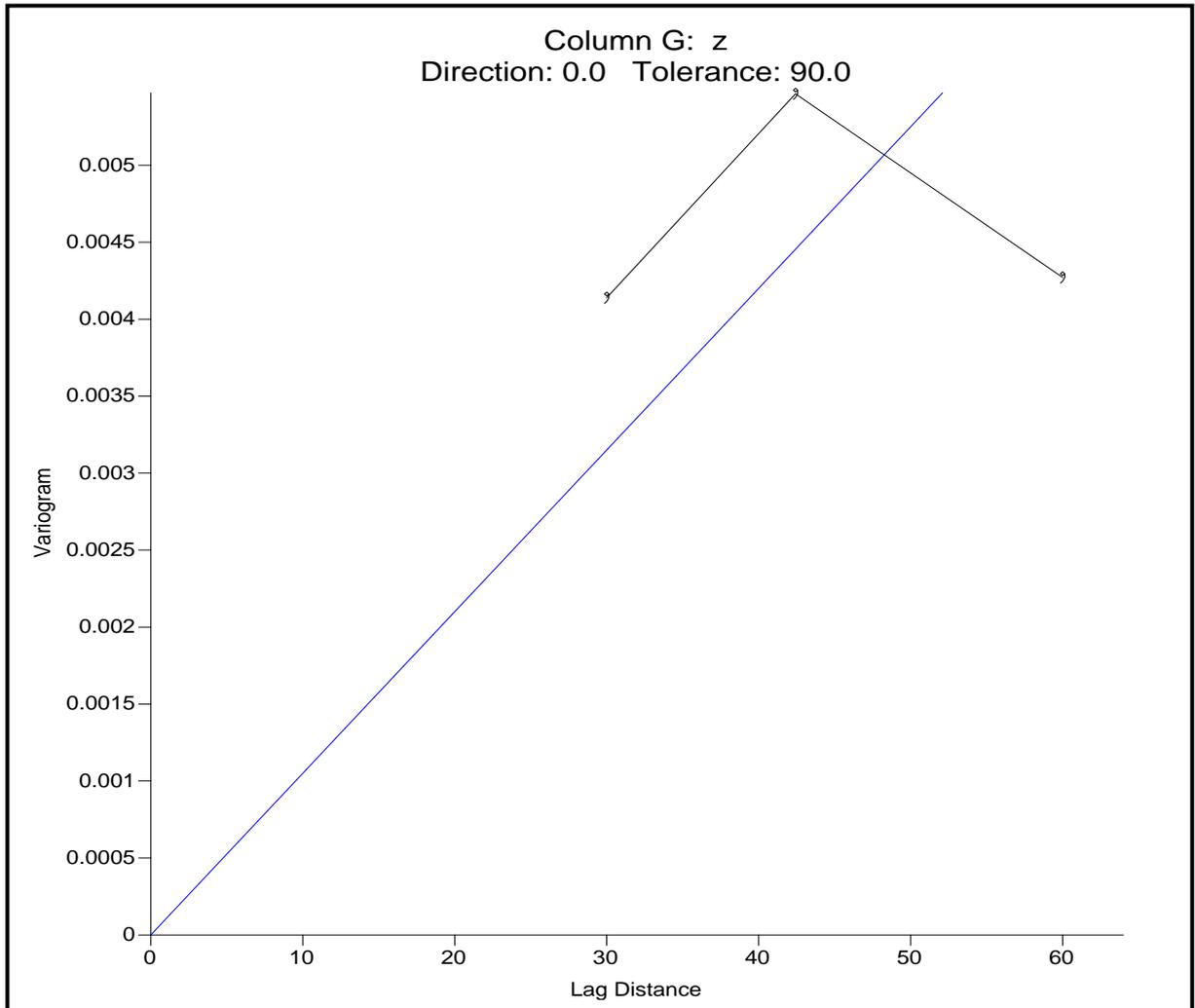


Figure 16 : Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée.

D'après la figure (16), notre variogramme expérimentale s'ajuste au modèle linéaire qui explique les variations spatiales de la salinité du sol dans la parcelle cultivée avec un effet de pépité faible et caractérisé par une pente égale à 0,000105.

Ce variogramme prend les mêmes points essentiels que celui de la parcelle témoin, à des valeurs successivement 30 m, 42.4 m, et 64 m. La variation spatiale de la salinité augmente avec la distance jusqu'à 42,4m, ensuite elle commence à diminué jusqu'à une distance de 64m. Au-delà de 64 m, la variation de la salinité du sol dans la parcelle cultivée est indépendante de la distance entre les échantillons.

1.3.2. Réalisation des cartes thématiques par krigeage

Le krigeage est une technique géostatistique de modélisation spatiale permettant, à partir de données dispersées, d'obtenir une représentation homogène des informations étudiées (HENNEQUI, 2010) basées par méthodes d'interpolation linéaire sur l'expression de la dépendance spatiale par le variogramme (BURGESS et WEBSTER, 1980 in LAURENT et ROSSI, 1994).

La figure (17), représente la variabilité spatiale de la salinité du sol dans la parcelle témoin avec un coefficient de variation très élevée (66.43%) entre les points d'échantillonnage. Cette carte montre un gradient de salinité orienté Nord, et Sud-Ouest pour des salinités variant de 0,05 à 0,75 dS/m à 25°C sur l'extrait diluée sol/eau de 1/5.

Le sol de la parcelle non cultivée est non salé (CE à 25°C comprise entre 0.05 et 0.6 dS/m) à peu salé (CE à 25°C comprise entre 0.65 et 0.75 dS/m) selon l'échelle d'AUBERT (1978).

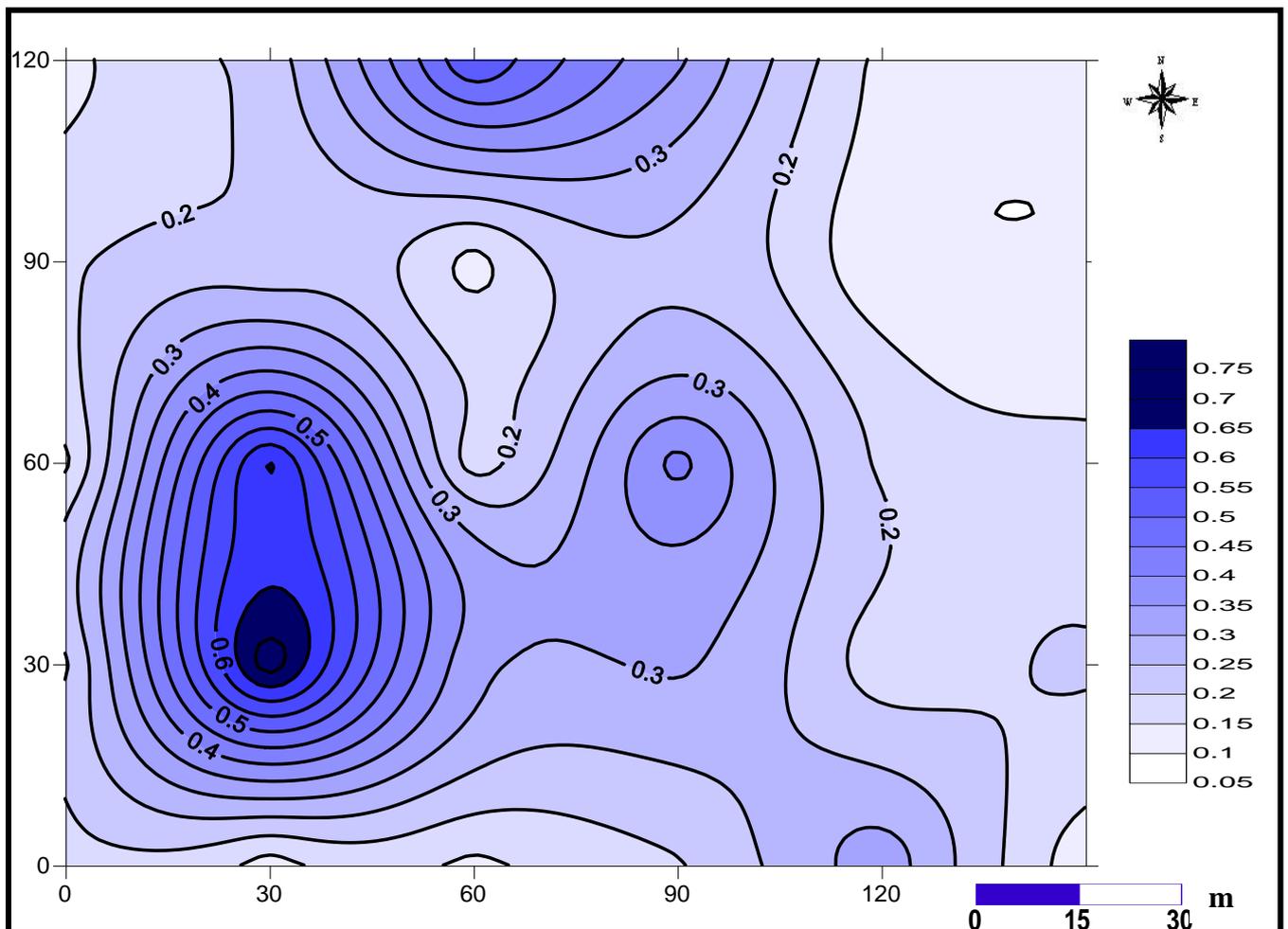


Figure 17: Carte thématique de la variation de la salinité du sol dans la parcelle non cultivée (témoin).

La figure (18), représente la variabilité spatiale de la salinité du sol dans la parcelle cultivée avec un coefficient de variation élevée (36.19%) entre les points d'échantillonnage. Cette carte montre un gradient de salinité orienté Est et Sud-est et Ouest avec une salinité variant de 0,1 à 0,36dS/m à 25°C.

Le sol de la parcelle cultivée est non salé (CE à 25°C comprise entre 0.1 et 0.36 dS/m) selon l'échelle d'AUBERT (1978).

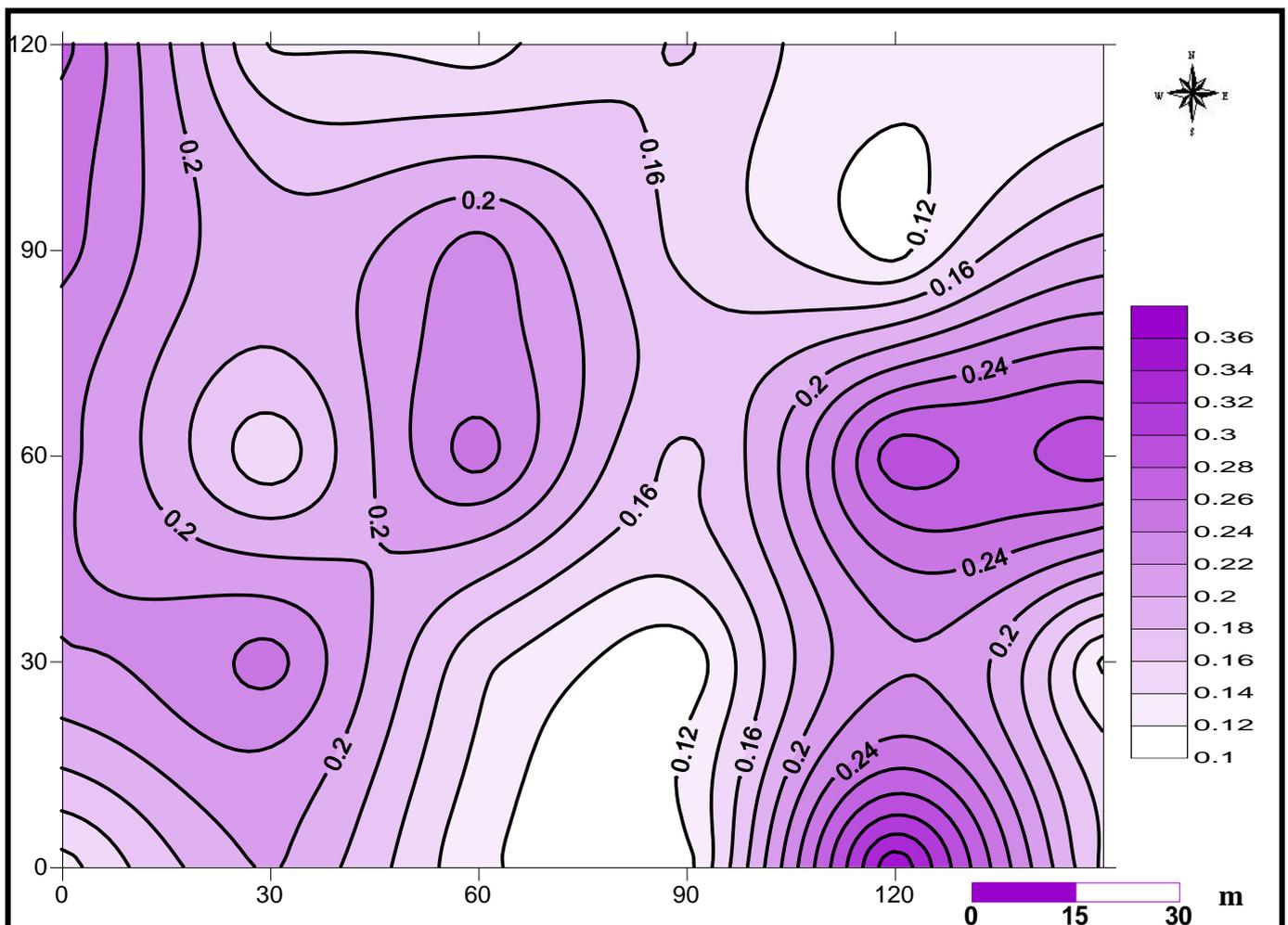


Figure 18: Carte thématique de la variation de la salinité du sol dans la parcelle cultivée.

1.4. Simulation de l'évolution de la salinité du sol

L'analyse du taux de variation annuelle de la salinité du sol montre que la salinité a diminué dans la parcelle cultivée après 4 ans de pratique intensive (céréaliculture sous pivot), avec une diminution moyenne annuelle de -0.01 ± 0.04 dS/m/an.

L'analyse de variance montre que cette diminution (Fig.19) est non significative ($F^{1, 58} = 3,2076, P = 0,07851, N.S.$).

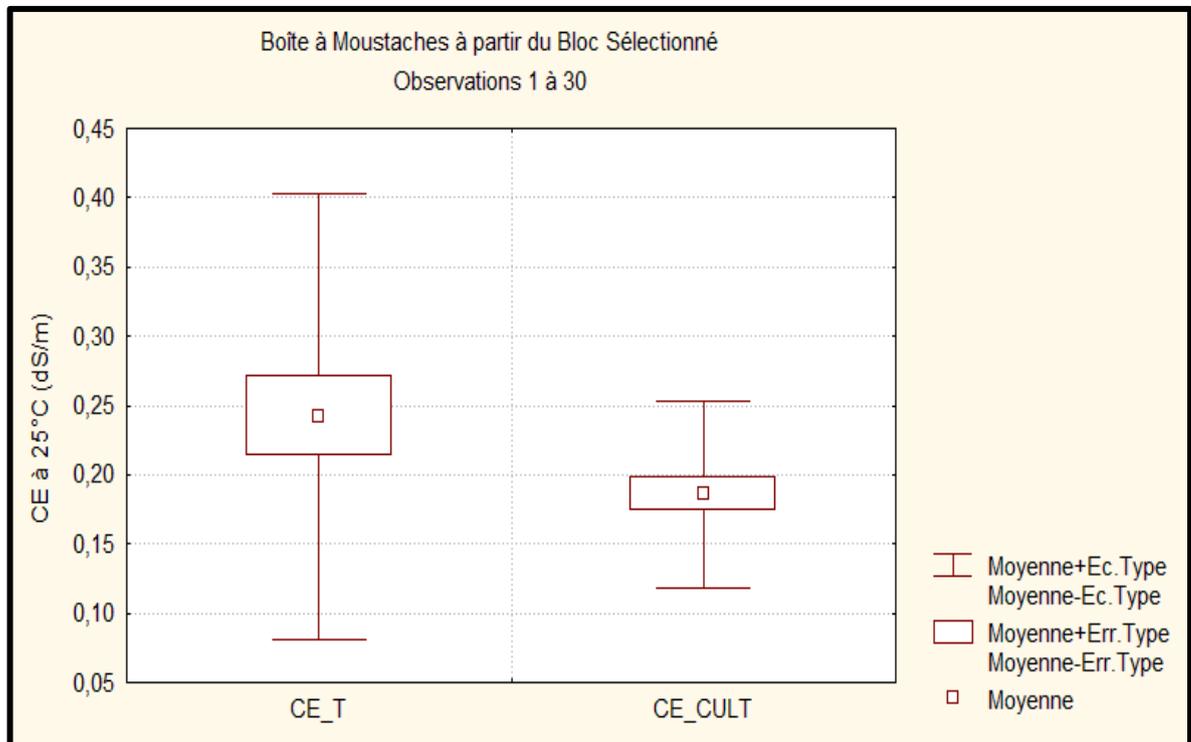


Figure 19 : Boîte à moustaches de la variation de la salinité du sol.

2. Discussions

Selon DURAND et HALITIM, 1994, les sols irrigués en Algérie sont affectés par la salinité ou susceptible de l'être.

Cette salinité provient essentiellement de l'eau d'irrigation, sachant que ces eaux sont dans leur forte majorité chargées en sels. En d'autres termes, de tels milieux sont le siège d'une salinisation secondaire : il y a entrée des solutions salines mais sortie d'eau pure uniquement par l'évapotranspiration (SIMONNEAU et AUBERT, 1963 ; AUBERT, 1975 ; HULLIN, 1983 ; BOIVIN et al, 1989 ; DAOUD et HALITIM, 1994 ; CHERVERRY et ROBERT, 1998 ; CONDOM, 2000).

Dans la région de HASSI EL F'HEL, les eaux d'irrigation appartiennent à la classe C2 caractérisée par une salinité moyenne.

Les résultats obtenus montrent que la salinité du sol exprimée par la conductivité électrique présente des valeurs qui varient entre 0.10 et 0.35 dS/m à 25°C dans la parcelle cultivée, et entre 0.10 et 0.73 dS/m à 25°C dans la parcelle témoin. Cela montre que la salinité est très faible, le sol varie du non salé à peu salé dans la parcelle non cultivée et il est non salé dans toute la parcelle cultivée.

Une diminution de la salinité a été enregistrée dans la parcelle étudiée avec un TVA-CE de -0.01 ± 0.04 dS/m/an. Cette diminution demeure non significative selon l'analyse de variance, ce qui montre une tendance vers la stabilité de la salinité dans le site d'étude après 04 campagnes agricoles. Cela est probablement due à la qualité de l'eau d'irrigation qui est moins chargée ainsi qu'à l'efficacité du drainage naturel, surtout avec l'utilisation de quantités énormes d'eau en irrigation par pivot.

L'étude de la variabilité spatiale réalisée suite à un échantillonnage par maillage systématique, a démontré l'existence de variabilité très élevée ($CV=66,43\%$) dans la parcelle témoin et élevée ($CV=36.19\%$) dans la parcelle cultivée. La diminution du coefficient de variation de la salinité du sol dans la parcelle cultivée est due, d'une part à la diminution de la salinité et d'autre part à la redistribution de la salinité dans le sol à cause de plusieurs facteurs, à savoir, le profil hydrique du sol, la végétation et le travail du sol. Selon NOLIN et al. (1991) et WALTER et al. (2002), ont signalés que la présence de la semelle de labour dans la parcelle cultivée a pour effet d'homogénéiser le sol de la parcelle et de réduire ainsi le coefficient de variation.

Les engrais utilisés dans la parcelle cultivée sont le TPS 46 % et l'urée 46%. Ces engrais sont facilement lessivés dans le sol par l'eau d'irrigation et n'ont pas un effet significatif sur la salinité du sol (MOUGHLI, 2000 ; FAO, 2003).

La modélisation géostatistique a montré, à partir de l'analyse des variogrammes expérimentaux, l'efficacité du « pas » d'échantillonnage choisi (30 m), sachant que les valeurs de salinité dépendent de la distance parcourue jusqu'à une distance de 64 m. Au-delà, la variation de la salinité du sol ne dépend pas de la distance parcourue.

Des études sur la salinité du sol dans le Sahara Algérien sous irrigation par pivot (DURAND, 1983 ; DAOUD et HALITIM, 1994 ; BADRAOUI et al, 1998 ; DJILI et al, 2003, BENBRAHIM, 2006), ont montrés que la salinité du sol commence à augmenter dès les premières campagnes, suite à l'irrigation par une eau saline. Dans la région de HASSI EL F'HEL, et après 04 ans d'exploitation du sol par la céréaliculture sous pivot, nous n'avons pas enregistré une

augmentation significative de la salinité du sol, au contraire, une légère diminution a été détectée mais elle demeure non significative. Cela est probablement dû à la courte durée d'exploitation, ainsi qu'à la qualité moins chargée des eaux de la région par rapport aux autres régions sahariennes sièges des études précédentes, ainsi qu'aux propriétés intrinsèque du sol.

L'intensification agricole sous irrigation par pivot n'a pas pratiquement eu d'effets significatifs sur la salinisation du sol dans la parcelle étudiée. Cela est peut être due à la durée d'exploitation qui est de 04 ans.

CONCLUSION

Conclusion

L'étude de l'impact de l'intensification agricole (céréaliculture sous pivot) sur la variation de la salinité du sol dans la région de HASSI EL F'HEL (GHARDAIA) a été réalisée en faisant un échantillonnage systématique avec 30 échantillons dans la parcelle cultivée (céréaliculture) et 30 échantillons dans la parcelle non cultivée (témoin).

Les résultats d'analyse montrent que le sol est non salé à peu salé pour la parcelle témoin avec des valeurs de conductivité électrique variant de 0.10 à 0.73 dS/m à 25°C, et non salé dans la parcelle cultivée avec des valeurs de CE qui varient entre 0.10 et 0.35 dS/m à 25°C.

Les eaux d'irrigation appartiennent à la classe C2 qui représente une salinité moyenne.

L'étude de la variabilité spatiale, a montré l'existence d'une variation très élevée (CV=66,43%) dans la parcelle témoin et élevée (CV=36.19 %) dans la parcelle cultivée. La diminution du coefficient de variation de la salinité du sol dans la parcelle cultivée est due, d'une part à la diminution de la salinité et d'autre part à l'homogénéisation de sa variation par le travail du sol et l'irrigation.

La modélisation géostatistique a montré, à partir de l'analyse des variogrammes expérimentaux, l'efficacité du « pas » d'échantillonnage choisi (30 m), sachant que les valeurs de salinité dépendent de la distance parcourue jusqu'à une distance de 64 m. Au-delà, la variation de la salinité du sol ne dépend pas de la distance parcourue.

L'analyse du taux de variation annuelle a montré une diminution non significative de la salinité du sol avec un TVA-CE de -0.01 ± 0.04 dS/m/an ce qui montre une tendance vers la stabilité de la salinité dans le site d'étude après 04 campagnes agricoles. Ce qui montre que l'intensification agricole sous irrigation par pivot n'a pas pratiquement eu d'effets significatifs sur la salinisation du sol dans la parcelle étudiée. Cela peut être dû à la durée d'exploitation qui est de 04 ans et à la qualité faiblement minéralisée de l'eau d'irrigation.

La durée de 04 campagnes n'a pas été suffisante pour détecter l'impact de l'intensification agricole sur la salinité du sol dans la région d'étude, ce qui amène aux recommandations suivantes :

- Etudier la salinité du sol dans des parcelles qui ont une durée d'exploitation supérieure à 04 ans.

- Caractériser morphologiquement et analytiquement le sol afin de bien expliquer les résultats trouvés.
- Etendre l'échantillonnage sur plusieurs exploitations céréalières.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

- A.N.R.H., 2007-** Notes relatives aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ouargla, Rapport de l'Agence nati. res. Hyd., Ouargla, 12p.
- AGASSI M., SHAINBERG I., MORNI J., 1981-** Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. *SoilSci. Soc. Am. J.* 45: 848 – 851.
- AÏT HOUSSA A., BOUSLAMA A., BARAKA M., EL MIDAOUI M., BENBELLA M., 2009-** L'utilisation du centre pivot pour l'irrigation:expérience des Domaines Agricoles du Maroc, Transfert de technologie en agriculture. *Bulletin Mensuel de Liaison et d'Information du PNTTA*, N°177.
- ANTIPOLIS S.,2003-**Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens.*PNEU*, N°2.pp 44-45.
- ASLOUM H., 1990-** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum L.*) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis, pp.24- 32.
- AUBERT G., 1975 -** Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annale de l'I.N.A.*, Alger, 6 (1), pp. 185-195.
- AUBERT G., 1978 -** Méthodes d'analyse des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 189 p.
- AUBERT G., 1983 -** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou sals sodiques. *Cash. ORSTOM.ser. ped.* Vol xxx n°1, pp. 73-78.
- AYERS R.S., 1978 -**Aspects de salinité et de la qualité de l'eau de l'irrigation goutte à goutte. *Ann.INA. vol I n°3*, pp. 109- 113.
- BADRAOUI M., SOUDI B., FARHAT A., 1998-** variation de la qualité des sols : une base pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc, *Etude et gestion des sols* 5(4), 1998,pp.227-234.
- BAZZINE M., 2009-** contribution à l'étude des croutes biologiques de quelques sols gypseux et salins du milieu saharien (cas de la cuvette de Ouargla).*Mém. Mag. Univ, Ouargla*, 106 p.
- BEN BRAHIM K., 2009-**Composition et structure de la végétation des périmètres Céréaliers abandonnés dans la région d'Ouargla. *Mém. Mag. Univ, Ouargla*, 61 p.

- BEN BRAHIM F., 2001**-étude de effet saisonnier de la nappe phréatique sur la dynamique des sels solubles dans un sol cultivé dans la cuvette de Ouargla (cas de l'exploitation de l'I.A.S.).Mém. Ing. I.A.S, Ouargla, 111p.
- BEN BRAHIM F., 2006**- évaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région de Ouargla (Cas de Hassi Ben Abdallah).Mém. Mag. Univ, Ouargla, 111 p.
- BENNABI F., 2005**- Métabolisme glucidique et azote chez une halophyte (*Atriplexhalimus L.*) stressée à la salinité.Mém. Mag. Univ, Oran, 49-50 p.
- BENSEMAOUNE Y., 2007**- Les parcours sahariens dans la nouvelle dynamique spatiale : contribution à la mise en place d'un schéma d'aménagement et de gestion de l'espace (S.A.G.E.)-cas de la région de Ghardaïa. Mém. Mag. Univ, Ouargla, 96p.
- BENZAYET B., 2010**- Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab:Cas de Oued Labiod .Mém. Ing, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger, 78p.
- BICHI H., BEN TAMER F., 2006**-contribution à l'étude de la variabilité climatique dans les régions de Ouargla et Ghardaïa. Mém. Ing, univ, Ouargla, 115p.
- BOIVIN P., HACHICHA M., JOB J.O., LOYER J. Y., 1989** -Une méthode de cartographie de la salinité des sols Conductivité électromagnétique et interpolation par krigeage .ORSTOM Fonds Documentaire,Tunis 27(1) pp 69-72.
- BOIVIN P., BRUNET D., JOB J.O., 1988**-conductivimétrie électromagnétique et cartographie automatique des sols salés. Une méthode rapide et fiable. cah. ORSTOM, sér. pédol., vol.XXIV,n°1,39-48.
- BOULAIN J., 1957** –Etude des sols des plaines Chélif. Thèse d'état de l'université d'Alger.582p
- BOUSSARD J.M., CHABANE M., 2011**- La problématique des céréales en Algérie Défis, enjeux et perspectives.Communication dans le cadre de la 5èmes Journées de recherches en sciences sociales à AgroSup Dijon, les 8 et 9 décembre 2011,16p.
- BOUTEYRE G et LOYER Y., 1992**- Sols salés eaux saumâtre des régions arides tropicales et méditerranéennes in l'aridité, une contrainte au développement. ORSTOM, Paris.
- BOUZERZOURE H., 2007** - Contribution à l'étude de l'exploitation à double fin de l'orge *HordeumVulgare L* en zones semi arides d'altitude. Mém. Mag. Univ, Sétif, 102 p.

CALVET R., 2003 - Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 p.

CHERBUY B., 1991-Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne, 170p.

CHERVERRY CL., ROBERT M., 1998 -la dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée .étude et gestion des sols 5(4), pp.217-226.

CHEVERY C., 1972-Exemple d'application des travaux de l'U.S.S.L (1963 -1968) sur l'alcalinisation des sols soumis à l'action bicarbonatée.Cah. ORSTOM. Sér.pédo.10 (2), pp.193-203.

CHOUËIRI E., 2003- stratégie et politique agricole analyse de filières la céréaliculture .Projet "Assistance au Recensement Agricole" République Libanaise, Ministère de l'Agriculture, Direction des Etudes et de la Coordination, FAO, 69 p.

CONDOM N., 2000-analyse et modélisation couplée des processus hydrogéochimiques de la salinisation des sols. Application aux sols rizicoles de l'office du Niger (mali).Thèse. Doct. école nationale supérieure agronomique, Montpellier, 189p.

COYNE A., 1989 - Le M'Zab Ed. Adolphejourdon, Algérie, 41p.

D.P.A.T., 2005 - Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, 142 P.

D.P.A.T., 2013-Atlas de Ghardaïa ,132p.

DAOUD Y., 1993- Contribution à l'étude des sols des plaines de Cheliff, le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèses doctorat d'état.INA. Alger, 193 p.

DAOUD Y., HALITIM A., 1994-irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse 5(3), pp.151-160.

DESPAGNE W., 2006- Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. Mém. master.Univ, Bretagne Sud, 68 p.

DJAOUTI M., 2010 - renforcement des capacités des acteurs de la filière céréale en Algérie dans le cadre d'un partenariat nord- sud .cas de wilaya de sétif .Mém. Master of science N°106.Montpellier, CIHEAM-IAMM, 137 p.

- DJERMOUN A., 2009**-La production céréalière en Algérie:les principales caractéristiques Département d'Agronomie, Univ, Chlef , Revue Nature et Technologie. N° 01,45 à 53 p.
- DJILI K., DAOUD Y., GAOUAR A., BELDJOUDI Z., 2003**-la salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. Sécheresse 14(4), pp.241-246.
- DJILI K., DAOUD Y., 1999**- Distribution latérale et verticale de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie compte rendu du séminaire national sur la salinisation des terres agricoles. CRSTRA. Chélif. Le 01 et 02 juin, n° 99, pp. 25- 44.
- DJILI, B., 2004**-Etude des sols alluviaux en zones arides : cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Mém.Mag. Univ, Ouargla,p. 81.
- DOUAOUI A., GASCUEL-ODOUX C., WALTER CH., 2004**-Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. EGS, Vol. 11, N°4, pp.379-39.
- DUBIEF J., 1959** - Le climat de Sahara.Ed. inst. Rech.saha., Alger. Tome 1. 307 p.
- DURAND J.H., 1958** - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190 p.
- DURAND J.H., 1983** - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imprimerie Boudin, Paris,339 p.
- FAO., 2003**- les engrais et leurs applications, Quatrième édition .abat, 77 p.
- FAO., 2012** - Perspectives de récolte et situation alimentaire .N° 2.
- FELIACHI K., 2000**-programme de développement de a céréaliculture en Algérie communication au séminaire international sur le blé .Alger, du 07 au 09 février 2000.
- GAUCHER G., BURDIN S., 1974** - Géologie, Géomorphologie et Hydrologie des terrains salés. Ed. P.U.F., Paris, 231 p.
- G Hassimi F., Jakeman A.J., Nix Ha., 1995**-Salinisation of land and water ressources: human causes, extent, management and case studies. CAB International, Canberra Australia. 544 p.
- GIRARD M.C., WALTER C., Remy J.C., Berthelin J., Morel J.L., 2005**-sols et environnement. 1^{ère} Ed. Dunod., Paris, 881 p.

GODARD V., 1994 - Apport de l'analyse variographique pour déterminer la taille et l'espacement des unités d'échantillonnage lors d'un inventaire d'occupation du sol en milieu naturel tropical. Bul. SFPT, 1994-4 (136). France. pp 33-44.

GOUNY P., CORNILLON P., 1973- La salinité, aspects théoriques, modes de contrôle. PHM- Revue Horticole, 142 : 3-7.

GUPTARK., ABROL I.P., 1990-Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. Adv. SoilSci. 11:223-228.

HALITIM A., 1985- Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse.Doct. Univ, Renne, 384 p.

HALITIM A., 1988- Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p.

HALITIM A., ROBERT M., TESSIER D et PROST R., 1984- Influence des cations échangeables (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) et la concentration saline sur le comportement physique (rétention en eau, conductivité hydraulique de la mont morillonite agronomie. 4 (5), pp. 451 - 459.

HAMDY A., 1995 -les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. C.R.Acad.Agric.fr., 81 n° 2, pp 47-60.

HAMDYA., LASRAMM ., LACIRGNODAC., 1995- Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. Comptes rendus de l'académie d'agriculture. De France action (1).vol 81 (2). Paris. Séance spécialisée du 22 Mars, 47- 60 p.

HAOUALA F., FERJANI H., BEN EL-HADJ S., 2007: Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{++}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, Vol. 11, N°3, pp. 235- 244.

HARGAZ H., 2007 - Identification et sélection des caractères de résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions semi-arides des hauts plateaux de Sétif. Mém. Mag. Institut national d'agronomie EL Harrach, Alger, 78 p.

HENNEQUI M., 2010-Spatialisation des données de modélisation par Krigeage. Master statistique et applications stage de 1ère année du 14 juin au 15 août. ASPA-ID.74p.

HULLIN M., 1983 - Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. Cours photocopié, Vol. 3, I.N.A., Alger, 139 p.

IDDIR M.E.,2006- Evaluation de la salinité par induction électromagnétique : exemple d'une parcelle cultivée de la plaine de la Macta (wilaya de mascara).Mém. Mag.Univ,alger ,132p.

JEAN-PAUL L., 2007- Les grands sols du monde, presses polytechniques et universitaires romandes ,574p.

KELLIL H., 2009- Contribution à l'étude du complexe entomologique des Céréales dans la Région des hautes plaines de l'est algérien. Mém. Mag. Univ, Batna, 188 p.

KHEYAR M.O., AMARA M., HARRAD F., 2007-la mécanisation de la céréaliculture algérienne :constat et perspectives. Annales de l'Institut National Agronomique- El-Harrach- Alger.Vol.28 N° 1 et 2.

LAËTITIA C., ANTONIO B., MARION B., DOMINIQUE K., COORD., 2008- Gestion durable des sols, Ed Quae, France, 320 p.

LEBATT A., MAHMA A., 1997 - Contribution à l'étude d'un système agricole oasien cas de la région du M'Zab INFS/AS, 92 P.

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

LAROUSSE AGRICOLE., 2002 - Larousse agricole: le monde paysan au XXIe siècle. 4^{émé}Ed LarousseMagazine Web de la Mission Agro biosciences, France, 767 p.

LAURENT J.Y., ROSSI J.P., 1997- Stratégies d'échantillonnage au champ : détermination du nombre et de la disposition spatiale des points de prélèvements. Paris, pp.43-52.

MADR.,2003 -Recensement général de l'agriculture. Rapport général des résultats définitifs .Direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information, ministère de l'agriculture et du développement rural, Alger, 125 p.

MATHIEU Q., 2009-cartographie à l'échelle de la parcelle agricole de variables indicatrices de la capacité des sols à fixer le phosphore à l'aide de la télédétection et des nouvelles technologies. Thèse Doct,Institut national de la recherche scientifique Eau,Terre et Environnement,Québec,234 p.

MOUGHLI., 2000- les engrais minéraux, caractéristiques et utilisations. Bulttein mensuel d'information et de liaison du PNTTA N° 72, sept.2000.transfert de technologie en agriculture. institut agronomique et vétérénaire Hassan II, Maroc, 4 p.

- MIHOUB A., 2008-** Effet de la fertilisation phosphatée sur la nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (*triticum durum* l. var. *carioca*) (dans la région d'El-Goléa-Ghardaïa) .Mém. Ing. Univ, Ouargla, 85p.
- MOUHOUCHE B., SMADHI D., SEMIANI M., ZELLA L., 2008.** Pluviométrie et céréaliculture : cas des hauts-plateaux de l'est algérien in Recherche agronomique « revue semestrielle » n°21. Ed. INRAA, pp. 7 -16.
- NOLIN M.C., CAILLER M.J., WANG C., 1991-** Variabilité des sols et stratégie d'échantillonnage dans les études pédologiques détaillées de la plaine de Montréal. Can. J. soilSci. 71 .pp. 439-451.
- O.N.M., 2013-** Données météorologiques de la wilaya de Ghardaïa ,3p.
- OMEIRI N., 1994** - Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette de Ouargla. Mém. Ing. I.N.F.S.A.S, Ouargla, 72 p.
- OULD EL HADJ M. D., 1992** - le développement de la céréaliculture dans le Sahara algérien face aux problèmes acridiens. Séminaire International sur la Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides Problèmes acridiens au Sahara algérien .Univ, Ouargla, pp.128-131.
- OZENDA P., (1991)-**Flore de Sahara (3 édition mise à jour et augmentée) Paris, Editions du CNRS. 662 p.
- PINEL V., 1997** - apport de la modélisation du transfert radiatif pour l'étude des écosystèmes forestiers par télédétection. Mém.Doct.Univ,toulouse III. N° 2703, France, 271p.
- QUEZEL P., SANTA S., 1962-** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales CNRS. Paris, tomo 2, 1170 p.
- RAJU R.T., JINNO K., WADA S.I., 1993-** exchange process at the land surface for a range of space and time scales proceedings of an international symposium held at yokohama, Japon, 13-16 July 1993.
- ROBERT M., 1996-**le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement Ed. Masson. Paris, 243 p.
- SAIDI J., 2004-** Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux argileux du bas Cheliff. Thèse de Doctorat d'Etat en Science Agronomiques, INA, El Harrach, 181p.

SAIDI D., LE BISSONNAIS Y., DUVAL O., DAOUD Y., HALITIM A., 2004-effet du sodium échangeable et la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du bas Chélif (Algérie). Étude et gestion des sols, pp.137-148.

SERVANT J.M., 1970- Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques. Sci. Du sol.2, pp. 87- 103.

SERVANT J.M., 1975 -Etude pédologique des sols halomorphes.Thèse. Doct. Uni, Montpellier, 194p.

SERVANT J.M., 1976 - Sur quelques aspects de la pédogénèse en milieu halomorphe : l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne Française. Ann. de l'INRA.vol. VI.n° 1, pp. 225-245.

SIMONEAU P., AUBERT G., 1963 -L'utilisation de l'eau salée au Sahara. Ann. Agron. 14(5):859-872.

TOUTAIN G., 1979 - Eléments d'agronomie saharienne, de la recherche au développement : cellule des zones arides, INRA- GRET. 276 p.

U. S. SALINITY LABORATORY., 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A, Handbook N° 60, Washington, 160 p.

WALTER C., CHAUSSOD R., CLUZEAU D., CURMI P., HALLAIRE V., 2002- Caractérisation, déterminisme et surveillance de la qualité des sols en milieux limoneux acides. Rapport Final Programme de Recherche GESSOL, Fonctions environnementales des sols.177p.

WYN JONES G., GUNSTON H., 1991- Completely a ryor conflicting approaches to Salinity DDU. Bulletin n 23, pp. 7-9.

ANNEXES

Annexe

**Tableaux I: évolution de la superficie (ha) de céréaliculture sous pivot en Ghardaïa
(1994-2012) (DSA, 2013).**

espèce	1994/ 1995	1995/ 1996	1996/ 1997	1997/ 1998	1998/ 1999	1999/ 2000	2000/ 2001	2001/ 2002	2002/ 2003	2003/ 2004	2004/2 005	2005 /200 6	2006 /200 7	2007/20 08	2008 /200 9	2009/20 10	2010/20 11	2011/20 12
Blés dur	660	690	475	535	380	505	525	155	200	190	282	470	490	572	750	1469	1880	1958
Blés tendre	30	140	180	90	60	71	30	30	30	/	/	/	/	/	/	/	/	/
orge	130	160	211	300	350	305	314	300	340	405	348	342	340	322	400	255	220	225
Avoine	15	00	00	60	90	105	79	09	70	25	/	/	/	42	/	/	/	/
totale	835	990	866	985	880	986	948	494	640	620	630	812	830	936	1150	1724	2100	2183

**Tableaux II: évolution des productions (q x) de céréaliculture sous pivot en Ghardaïa
(1994-2012) (DSA, 2013).**

espèce	1994/ 95	1995/ 96	1996/ 1997	1997/ 1998	1998/ 1999	1999/ 2000	2000/ 2001	2001/ 2002	2002/ 2003	2003/2 004	2004 /200 5	2005 /200 6	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/2 011	2011/2 012
Blés dur	19570	11840	12060	13900	11227	11169	7120	6430	9980	9268.2	48.2	46.56	23700	24000	34975	49950	79330	79472
Blés tendre	/	3300	4700	2400	2000	1769	620	990	900	/	/	/	/	/	/	/	/	/
orge	3380	2000	5000	5130	9600	7700	3300	8030	7415	8597	20.43	24.12	8200	9778	12409	6760	6831.5	6531.4
avoine	345	00	00	1380	1850	1330	00	250	/	/	/	/	/	420	/	/	/	/
totale	23670	17140	21760	22810	24677	21968	11040	15700	18295	17865.2	68.63	70.68	31900	34198	47384	56710	86161.5	86003.4

**Tableaux III: évolution du rendement (q x/ ha) de céréaliculture sous pivot en Ghardaïa
(1994-2012) (DSA, 2013).**

espèce	1994/ 1995	1995/ 1996	1996/1 997	1997/1 998	1998/1 999	1999/2 000	2000/2 001	2001/20 02	2002/20 03	2003 /200 4	2004 /200 5	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/2 008	2008/2 009	2009/2 010	2010/2 011	2011/2 012
Blés dur	29.65	17.15	25.38	25.98	29.54	25.97	16.99	41.48	49.9	48.78	48.2	46.56	48.36	41.95	46.63	34	42.19	40.6
Blés tendre	/	23.57	26.11	26.66	33.33	29.48	20.66	33	30	/	/	/	/	/	/	/	/	/
orge	26	12.5	23.69	17.1	30	25.24	22.29	26.8	25.56	26.78	20.43	24.12	24.11	30.36	31.02	26.5	31.05	29.08
avoine	23	00	00	23	20.55	22.16	/	27.8	/	/	/	/	/	10	/	/	/	/
totale	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tableaux IV : statistiques descriptives de la parcelle cultivée.

Moyenne	0,18520155
Médiane	0,15939634
Écart-type	0,06703572
Minimum	0,10451223
Maximum	0,35943855
Somme	5,55604639
Nombre d'échantillons	30

Tableaux V: statistiques descriptives de la parcelle témoin.

Moyenne	0,24219888
Médiane	0,1914805
Écart-type	0,16090499
Minimum	0,10291686
Maximum	0,73517267
Somme	7,26596643
Nombre d'échantillons	30

Tableaux VI: statistiques de taux de variation annuelle.

Moyenne	-0,01425
Médiane	-0,00141
Écart-type	0,0438377
Variance de l'échantillon	0,00192174
Minimum	-0,12983
Maximum	0,03316
Somme	-0,4275
Nombre d'échantillons	30

Tableaux VII : Analyse de variance à un facteur.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	48731,5801	1	48731,5801	3,20767538	0,07851198	4,00687289
A l'intérieur des groupes	881146,41	58	15192,1795			
Total	929877,99	59				

Impact de l'intensification agricole (céréaliculture sous pivot) sur la variation de la salinité du sol dans la région de GHARDAIA (cas de HASSI EL F'HEL)

Dans les régions arides et semi-arides, notamment autour du bassin méditerranéen, la salinisation des sols constitue l'un des facteurs abiotiques majeurs qui réduit le rendement agricole de plusieurs cultures.

Notre travail réalisé dans la région de HASSI EL F'HEL (GHARDAIA) a porté sur la caractérisation de la salinité par un échantillonnage systématique sur une maille régulière de 30x30m dans deux parcelles l'une cultivée (céréaliculture) et l'autre non cultivée (témoin).

Les analyses de la conductivité électrique du sol ont montré que le sol est non salé à peu salé dans la parcelle témoin et non salé dans toute la parcelle cultivée.

L'étude de la variabilité spatiale de la conductivité électrique a montré l'existence d'une variation très élevée dans la parcelle témoin et élevée dans la parcelle cultivée.

La modélisation géostatistique a montré, à partir de l'analyse des variogrammes expérimentaux, l'efficacité du « pas » d'échantillonnage choisi.

L'analyse couplée de la variance et du taux de variation annuelle de la salinité du sol a montré une diminution non significative de la salinité du sol en fonction de la campagne agricole.

Mots clés : Céréaliculture, salinité, géostatistique, Variabilité spatiale, Ghardaïa.

تأثير التكثيف الزراعي (الحبوب تحت الرش المحوري) على اختلاف ملوحة التربة في منطقة غرداية (دراسة حالة حاسي الفحل).

في المناطق الجافة وشبه الجافة، وخصوصاً حول مناطق البحر الأبيض المتوسط، ملوحة التربة هي إحدى العوامل اللاحيوية الرئيسية التي تقلل من المردود الفلاحي في العديد من المحاصيل.

عملنا المحقق في منطقة حاسي الفحل (غرداية) تركز على دراسة خصائص الملوحة بواسطة عينة منتظمة على شبكة منتظمة من 30x30م فيقطعتين ارض واحدة مزروعة (الحبوب) والأخرى غير المزروعة (شاهدة).

تحليلات الموصلية الكهربائية للتربة أظهرت ان التربة غير مالحة الى قليلة الملوحة في القطعة الشاهدة وغير مالحة في كل القطعة المزروعة.

دراسة التباين المكاني للموصلية الكهربائية أظهر على وجود عالي جداً في القطعة الشاهدة و عالي في القطعة المزروعة.

النموذج الجيواحصانية أظهرت، من خلال تحليل مقياس التباين التجريبي، فعالية "خطوة" اختيار العينات.

التحليل المزدوج للتباين معدل التغيير السنوي لملوحة التربة أظهر انخفاضاً غير ملحوظ في ملوحة التربة وفقاً للسنوات الزراعية.

الكلمات الدلالية: زراعة الحبوب، الملوحة، الجيواحصانية، التغيير المكاني، غرداية.

Impact of agricultural intensification (cereals underpivot center) on salinity variation of soil at Ghardaïa (case of Hassi EL F'HEL)

In arid and semi-arid areas, especially around the Mediterranean regions, soil salinity is a major abiotic factor that reduces crop yields in several farming.

Our work done in the area of Hassi EL F'HEL (Ghardaïa) to characterize the salinity by systematic sampling on a regular grid of 30x30m in two plots, the first is cultivated (cereals) and the second isn't cultivated (control).

Soil electrical conductivity analysis showed that the soil is unsalted to little salty in control parcel, while it is unsalted throughout the cultivated parcel.

The study of spatial variability of electrical conductivity showed the existence of very high spatial variation in the control plot and high in the cultivated plot.

Geostatistical modeling showed, from the analysis of experimental variograms, the effectiveness of selected sampling.

The coupled analysis of variance and the rate of annual change in soil salinity showed a non-significant decrease in soil salinity in terms of agricultural companion.

Keywords: cereals cultivation. salinity. geostatistical. spatial variability. Ghardaïa.