

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 : FENNICHE Faiza

Thème

**Variabilité spatiale de la salinité et le pH du sol dans un
périmètre céréalier dans la région de Ghardaïa (cas de
Hassi El F'Hel)**

Soutenu publiquement le : 02/06/2016

2015/2016

Devant le jury :

M. BELGHIT Saïd	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Président
M. BENBRAHIM Fouzi	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Encadreur
M. KRAIMAT Mohamed	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Examineur
Mlle. MEBAREK OUDINA Asmahane	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Examineur
Mlle. DAREM Sabrina	Chercheur	Univ. Annaba	Co- Encadreur

Année universitaire 2015/2016

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

✚ *A ma très chère mère, pour tout son amour et son dévouement, à mon très cher père, pour ses encouragements et surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études, et à mes grands-parents.*

✚ *A Tous mes frères et sœurs Ahmed, Amina, Adel, Omkeltuom et Aissa .*

✚ *A mes oncles, tantes, cousins et cousines, qu'ils ont de près ou de loin contribué à ma formation.*

✚ *A Tous mes amies surtout ma chère Sara*

✚ *A tout ma famille FENNICHE et BOUCHENGA*

*Et sans oublier mes professeurs qui m'ont soutenue durant toutes mes années d'étude. Et tous les responsables et les travailleurs de l'université de Ghardaïa
En fin, je suis reconnaissante à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

F. Faiza

Remerciements

Parce que personne n'arrive jamais seul

Avant tout, je remercie DIEU tout puissant, maître des cieux et de terre, qui m'a permis de mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier sincèrement mon encadreur Mr. BENBRAHIM F Maître Assistant A à l'Université de Ghardaïa pour ses critiques constructives, pour l'écoute et la disponibilité les moments au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi, pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer.

Je tiens à remercier sincèrement ma chère Co-promotrice Melle DAREM S, pour son aide et ces conseils.

Je remercie Mr. BELGHIT S Maître Assistant A à l'Université de Ghardaïa pour avoir accepté de présider le jury, Mr. KRAIMAT M Maître Assistant A à l'Université de Ghardaïa et Mlle MEBAEK OUDINA A Maître Assistant A à l'Université de Ghardaïa qui a fait l'honneur d'examiner ce travail.

J'adresse mes remerciements aussi aux personnes qu'ils m'ont apporté leur aide et qu'ils ont contribuées à l'élaboration de ce projet, ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Mes profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenue de près ou de loin ; principalement à tous l'effectif du laboratoire de géologie de l'Université de Ghardaïa.

A tous les gestionnaires de la ferme du HOUTTIA à HASSI EL F'HEL.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à tous mes proches et amis (es) sans exception, qu'ils m'ont toujours soutenue et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire. A tous ceux que j'ai cité ou je n'ai pas pu citer, que dieux vous bénisses et vous récompense.

Résumé

La céréaliculture sous pivot dans les régions sahariennes est confrontée à plusieurs contraintes qui s'opposent à son développement. Ces contraintes sont d'ordres techniques, économiques, politiques et même social.

L'évaluation de l'impact de la céréaliculture sous pivot dans le milieu aride passe par l'étude morphologique et analytique des composantes de ce milieu. Notre travail réalisé dans la région de HASSI EL F'HEL (Ghardaïa) porte sur l'étude de variabilité spatiale de salinité et du pH du sol par un échantillonnage systématique sur une maille régulière de 15x15m et en comparant les données d'une parcelle exploitée pendant 20 ans à une parcelle non cultivée.

Les résultats obtenus ont révélés que le sol analysé est non salé et d'un pH alcalin, L'analyse du taux de variation annuelle (TVA) a révélée une augmentation hautement significative de la salinité et une diminution très hautement significative du pH.

L'analyse thématique a montré une variabilité spatiale très élevée pour la salinité et faible pour la réaction du sol.

La modélisation géostatistique a montrée, partir des variogrammes expérimentaux une tendance vers l'homogénéisation de la variation spatiale de la salinité et du pH après intensification agricole.

Mots clés Céréaliculture, TVA, salinité, pH, HASSI EL F'HEL, Variabilité spatiale.

الملخص

تواجه زراعة الحبوب في المناطق الصحراوية عدة عوائق, منها عوامل تقنية و اقتصادية وسياسية و أيضا اجتماعية.

إن تقييم تأثير الزراعة المحورية في المناطق القاحلة يتطلب دراسة مورفولوجية و تحليلية لمكونات هذا الوسط. لقد قمنا بإنجاز هذا العمل حول تربة منطقة حاسي لفحل (غارداية) والذي يتركز حول دراسة التباين المكاني للملوحة و حموضة التربة . وهذا من خلال أخذ العينات بطريقة منهجية على 15م×15م شبكة منتظمة من خلال مقارنة البيانات من قطعتي أرض إحداهما مستغلة لمدة 20 سنة والأخرى غير مستغلة.

أظهرت النتائج التحليلية أن التربة ليست مالحة وقاعدية كما أظهر تحليل معدل التغيير السنوي زيادة كبيرة في الملوحة وانخفاض كبير جدا في درجة الحموضة.

كما أظهر التحليل الموضعي أن المتغيرات المكانية عالية جدا بالنسبة للملوحة كما أن درجة حموضة التربة كانت منخفضة. و اظهرت النتائج الجيوإحصائية من خلال المنحنيات التجريبية اتجاه نحو تجانس التباين المكاني في الملوحة ودرجة الحموضة بعد التكييف الزراعي.

الكلمات الدالة: الحبوب, معدل التغيير السنوي للملوحة , درجة الحموضة, حاسي الفحلة, التباين المكاني

Abstract

The cereal cultivation under pivot center in Sahara's regions is confronted with several constraints that oppose to its development. These constraints are of technical and economic order, policies and social as well.

Assessing the impact of cereal under pivot in arid lands, must be done through the morphological and analytical study of components of that environment. Our work realized at Hassi El F'HEL (Ghardaia) focuses on study of spatial variability salinity and soil pH, done by systematic sampling on a regular mesh of 15x15m by comparing the data of an exploited plot for 20 years and uncultivated land.

The results revealed that analyzed soil is unsalted and alkaline. Analysis of annual rate change (TVA) revealed a highly significant increase in salinity and highly significant decrease in pH.

Thematic analysis showed high spatial variability in salinity and low variability of ground reaction.

The geostatistical modeling showed, from the experimental variograms, a trend toward homogenization of the spatial variation of salinity and of pH after agricultural intensifications.

Key words: cereal cultivation, TVA, salinity, pH, Hassi EL F'HEL, spatial variability

Liste des tableaux

N°	Titre	page
01	Production des céréales dans le monde en 2010(millions de tonnes)	05
02	Production des céréales dans le monde en 2010(millions de tonnes)	08
03	Répartition des communes par daïra	12
04	Données climatiques de Ghardaïa durant la période (2006- 2015)	16
05	Principales productions végétales dans la wilaya	31
06	Classes d'intensité de la variabilité	42
07	Statistiques descriptives de la salinité dans le site étudié	45
08	Statistiques descriptives de pH du sol dans le site étudié	52

Liste des figures

N°	Titre	page
01	Structure de la production nationale céréalière en % de production totale	07
02	Evolution des superficies céréalières dans la wilaya de Ghardaïa (2000-2015)	09
03	Evolution de la production céréalière dans la wilaya de Ghardaïa (2000-2015).....	10
04	Limite administrative de la Wilaya de Ghardaïa	
05	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN caractéristique de la région du Ghardaïa (2006-2015)	17
06	Climagramme d'EMBERGER montrant l'étage bioclimatique de la région de Ghardaïa	18
07	Bassin versant de l'oued M'Zab	23
08	Les deux Systèmes Aquifères du Sahara : Le CT et le CI	25
09	Coupe géologique schématique de la région du M'Zab	27
10	Localisation géographique de la zone d'étude	32
11	Localisation des parcelles étudiées (Google Earth, 2016modifié)	33
12	Parcelle cultivée (sous pivot)	36
13	Parcelle non cultivée (témoin)	36
14	Analyses du pH et de la conductivité électrique	40
15	Boite à moustaches de la variation salinité dans le site d'étude	46
16	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle non cultivée (témoin).....	47
17	Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée	48
18	Boite à moustaches de la variation de pH dans le site d'étude	53
19	Variogramme de pH dans la parcelle non cultivée	54
20	Variogramme de pH dans la parcelle cultivée	55

Liste des cartes

N°	Titer	Page
01	Situation de la Wilaya de Ghardaïa	11
02	Milieu physique de la wilaya de Ghardaïa	21
03	Géologie de la willaya de Ghardaïa	26
04	Carte d'occupation de sol dans la vallée de M'Zab	29
05	Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle témoin.....	49
06	Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle cultivée.....	50
07	Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée.....	56
08	Répartition spatiale du pH dans la parcelle cultivée	57

M***Liste des abréviations***

ANRH	: Agence National Des Ressources Hydriques
ANOVA	: Analyse de la variance
C.E.	: Conductivité Electrique
C.E.C.	: Capacité d'échanges cationiques
CEI	: Communauté des états indépendants.
CV	: Coefficient de Variation
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.
ETP	: Evapotranspiration potentielle
E.S.P.	: Echangeable Sodium Parentage (pourcentage de sodium échangeable).
F.A.O	: Food and Agriculture Organization
Fig.	: Figure
GPS	: Global Position Système
MADR	: Ministère d'Agriculture et Développement Rurale
I.N.R.A.A	: Institut Nationale de Recherche Agronomique d'Algérie
pH	: Potentiel d'Hydrogène
Qx	: Quintaux.
S.A.U	: Surface Agricole Utile
SAT	: Surface Agricole Totale
Tabl	: Tableau
TSP	: Triple Super Phosphate
TVA	: Taux de variation annuelle
UE	: United Européenne
°C	: degré Celsius
%	: pourcentage

Table de matière

Dédicace

Remerciement

Résumé

Liste des tableaux

Liste de figures

Liste des cartes

Liste des abréviations

Introduction 01

Première partie : synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la céréaliculture

I	Origine et historique de la céréaliculture	03
II	Définition.....	03
III	Historique de la culture	04
III.1	Céréaliculture dans le monde	04
III.2	Céréaliculture en Algérie	06
III.3	Céréaliculture sous pivot dans les régions sahariennes.....	07
III.4	Céréaliculture dans la Wilaya la Ghardaïa	09

Deuxième partie : Matériels et méthodes

Chapitre II. Présentation de la région de Ghardaïa

I	Situation géographique	11
II	Caractéristiques de la ville	12
III	Aperçu géographique	14
IV	Climatologie	14
IV.1	Température	15
IV.2	Pluviométrie	15
IV.3	Vents	15

IV.4	Humidité	16
IV.5	Synthèse climatique	17
IV.5.1	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен	17
IV.5.2	Quotient pluviothermique d'Emberger (1955)	18
V.	Milieu physique	19
V.1	Géomorphologie.....	19
V.1.1	Chabka	19
V.1.2	Région des dayas	19
V.1.3	Région des Regs	20
V.1.4	Hamada	20
VI	Hydrologie	21
VI.1	Ressources hydriques	23
VI.1.1	Nappes aquifères	23
VI.1.1.1	Nappe du continental intercalaire	23
VI.1.1.2	Nappe phréatique	24
VI.1.1.3	Complexe terminal	24
VII	Géologie	25
VIII	Pédologie	27
VIII.1	Composition des sols désertiques	27
VIII.2	Occupation des sols	28
IX.	Flore	29
X	Faune	30
XI	Agriculture	31
XIV	Présentation du site d'étude	32

Chapitre III. Méthodologie de travail

I	Approche méthodologique	34
II	Choix de la parcelle d'étude	35
II.1	Travail du sol	20
II.2	Semis	36
II.3	Fertilisation	37
II.4	Irrigation	37
III	Expérimentation	37

III.1	Matériels d'étude	37
III.1.1	Au terrain	37
III.1.2	Au laboratoire	37
III.2	Sur terrain (Echantillonnage).....	38
III.3	Analyse au laboratoire	38
IV	Analyse de sol	39
IV.1	Mesure de la conductivité électrique	39
IV.1.1	Principe	39
IV.1.2	Mesure	39
IV.2	Mesure du pH	39
IV.2.1	Principe	39
IV.2.2	Mesure	39
V	Analyses statistiques	41
V.1	Variation annuelle des paramètres étudiés	41
V.2	Statistiques descriptives	41
V.3	Coefficient de variation	41
VI	Modélisation géostatistique	42
VI.1	Variogramme expérimental	42
VI.2	Réalisation des cartes thématiques	43
VI.3	Krigeage	43

Troisième partie : Résultats et discussion

Chapitre IV. Résultats et discussion

I	Caractéristiques de l'eau d'irrigation dans la parcelle d'étude	45
II	Qualité du sol dans la parcelle d'étude	45
III	Etude de la variabilité spatiale de la salinité du sol	45
III.1	Résultats analytiques de la salinité du sol	45
III.2	Evolution de la salinité du sol	46
III.3	Analyse variographique	46
III.3.1	Dans Parcelle non cultivée (témoin).....	46
III.3.2	Dans Parcelle cultivée	47

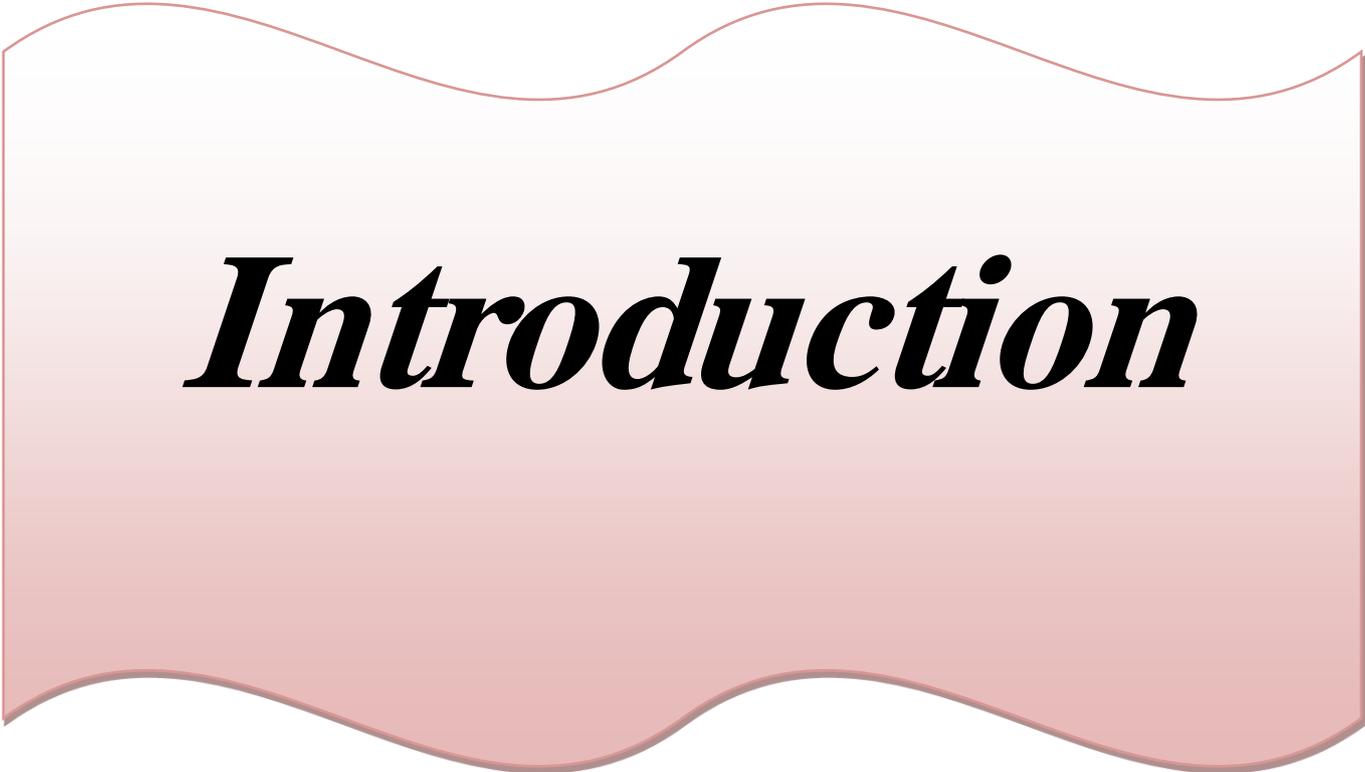
III.4	Réalisation des cartes thématiques	48
III.4.1	Dans la parcelle non cultivé (témoin)	48
III.4.2	Dans la parcelle cultivée	49
III.5	Discussions	50
IV	Etude de la variabilité spatiale de la Réaction du sol	52
IV.1	Résultats analytiques de la réaction du sol	52
IV.2	Evolution de pH du sol	53
IV.3	Analyse variographique	53
IV.3.1	Dans la parcelle non cultivé	53
IV.3.2	Dans la parcelle cultivée	54
IV.4	Réalisation des cartes thématiques	55
IV.4.1	Dans la parcelle non cultivé	55
IV.4.2	Dans la parcelle cultivée	56
IV.5	Discussions	57

Conclusion

60

Références bibliographiques

Annexe



Introduction

Introduction

Les sols sont des réacteurs biologiques qui assurent de nombreuses fonctions environnementales ainsi qu'ils maintiennent le développement des êtres vivants (NOOMENE, 2011).

Les sols salés ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde (CHERBUY, 1991 in MADANI, 2008). Ils se différencient naturellement sous les climats plus ou moins aride, mais aussi tempérés, maritimes ou continentaux, là où l'évaporation excède, les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire (BOUTEYRE et LOYER, 1992 in MADANI, 2008).

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 ; IDDER, 2006 in CHENINI, 2013).

La salinisation des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale (AL-KARAKI, 2000; BAATOUR et *al.* 2004), et le rendement agricole (ZID et GRIGNON, 1991; ZHU, 2001 in BABA SIDI-KACI, 2010).

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 (LARSON et PIERCE, 1992 in DAREM, 2013).

Dans les régions sahariennes, l'agriculture n'est possible que grâce à l'irrigation. Cependant cette technique qui modifie considérablement les propriétés du sol, peut être dangereuse car les eaux d'irrigation qui sont très chargées de sels peuvent aggraver le problème de salinité (BEN BRAHIM, 2001).

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 in DAREM, 2013).

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).

De nombreuses recherches ont été effectuées sur le problème de salinité en zone aride. Nous citons : MESKINE (1992), BOUZID (1993), BENZAHY (1994), OMEIRI (1994), OUSTANI (1994), TRAORE (1995), BENBRAHIM (2001) et BENBRAHIM (2006).

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail qui a pour objectif l'étude de la variabilité spatiale de la salinité et du pH de sol dans un périmètre céréalier dans deux parcelles l'une cultivée et l'autre non cultivée dans une ferme agricole située à HASSI EL F'HEL (GHARDAIA).

Ce travail comporte deux parties :

- ❖ La première est consacrée à la synthèse bibliographique sur la céréaliculture
- ❖ 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 et enfin une conclusion générale.

Première partie

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Généralités sur la céréaliculture

Chapitre I. Généralités sur la céréaliculture

I. Origine et historique de la céréaliculture

Les céréales présentent l'avantage décisif de constituer des provisions pouvant se conserver sous forme de grains de grande valeur nutritionnelle par leurs substances amylacées et leurs protéines (environ 10 %) (Doussinault et *al.*, 1992, in, KELLIL.2010).

Les premières évidences archéologiques de récolte de céréales datent d'un peu moins de 8000 ans avant Jésus-Christ et se trouvent au Moyen-Orient dans le « croissant fertile ».

Mésopotamie, Turquie, Palestine (Feldman, 1976 in Doussinault et *al.*, 1992, in, KELLIL.2010). A cette époque, l'engrain (*Triticumboeoticum*) et l'amidonner (*Triticumdicoccoïdes*) faisaient l'objet de cueillette (DOUSSINAULT et *al.*, 1992 in, KELLIL, 2010).

Les premiers indices d'une agriculture apparaissent il y a 11.000 ans, au Moyen-Orient, au sud de l'Anatolie et au Nord de la Syrie. C'est là que les premiers agriculteurs se fixent et commencent à cultiver les blés que leurs ancêtres récoltaient dans la nature. Les formes sauvages de diverses espèces seraient originaires du Proche et du Moyen-Orient.

Après s'être établie au Proche-Orient, la céréaliculture se répand vers l'Europe, l'Asie et la vallée du Nil (HENRY et DE BUYSER, 2001, in, KELLIL.2010).

Le passage d'une civilisation de nomades (chasseurs, cueilleurs et éleveurs) à celles d'agriculteurs sédentarisés est le résultat de la domestication progressive de graminées cultivées, le blé est indissociable de la culture Européenne, comme le maïs, le riz, le mil et le sorgho sont des cultures de l'Amérique latine, de l'Asie et de l'Afrique (FEILLET, 2000, in, KELLIL.2010).

La grande révolution aura été l'apparition de plantes auxquelles les épis et les grains restaient attachés, ce qui devait permettre de les récolter et de les cultiver; la chance de l'humanité sera que ces grains sont comestibles, riches en énergie, faciles à conserver et à transporter (FEILLET, 2000 in, KELLIL.2010).

II. Définition

Les céréales 1 sont des espèces généralement cultivées pour leur grain, dont l'album en *amylacé*, réduit en farine, est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques. (MOULE, 1971)

La plupart des céréales appartiennent à la famille des *Graminées (ou Poacées)*. Ce sont : le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet, le sorgho. Les unes appartiennent à la sous-famille des *Festucoïdées* : blé, orge, avoine, seigle; les autres à la sous-famille des *Panicoïdées* : maïs, riz, sorgho, millet. (MOULE, 1971).

III. Historique de la culture

La culture des céréales est très ancienne. On trouve des traces de blé, de seigle, d'avoine, d'orge à 6 rangs dès le Néolithique. Le riz, le millet, le sorgho, le blé étaient cultivés 2 700 ans avant notre ère en Chine; les Égyptiens de l'ancienne Égypte connaissaient le blé et le sorgho. (MOULE, 1971)

Les céréales ont d'autre part joué un rôle capital dans le développement de l'humanité : la plupart des civilisations se sont développées autour d'une céréale :

- ✓ les civilisations asiatiques, autour de la culture du riz;
- ✓ les civilisations pré-colombiennes, autour du maïs;
- ✓ les civilisations babyloniennes et égyptiennes, autour du blé.

III.1. 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 in CHENINI, 2013) (Tabl.01).

Tableau 01 : Production des céréales dans le monde en 2010 (FAO, 2012, in CHENINI.2013)

Pays	Production en 2010 (millions de tonnes)
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, elle présente en 2010 environ 655.7 millions de tonnes. Les céréales secondaires représentent 1 130.8 millions de tonnes (FAO, 2012, in CHENINI.2013).

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 ennemies et les adventices... etc. (Larousse agricole, 2002, in CHENINI,2013).

III.2. 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, in CHENINI.2013).

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, in CHENINI,2013), 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 in HAMEL.2015), la céréaliculture est pratiquée dans quatre grandes zones agro-climatiques :

- Un espace à faible potentialité : localisé dans le sud des Hauts Plateaux (zone agro-pastorale), 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, 2010).
- Un espace au niveau des zones sahariennes qui se subdivisent en deux catégories : la première est représentée par le système traditionnel, occupe une surface de 10.000 ha, la deuxième qui occupe une surface de 35.000 ha concerne la céréaliculture sous pivot, localisée en zones arides et semi-arides (KELLIL, 2010).
- Un espace à haute potentialité : localisé entre les plaines littorales et sub-littorales et le nord des Hauts Plateaux, occupe une superficie de 1.200.000 ha dans une zone où la pluviométrie moyenne annuel est varié de 450 à 800 mm avec un rendement moyen de 10-15 qx/ha (KELLIL, 2010).

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).

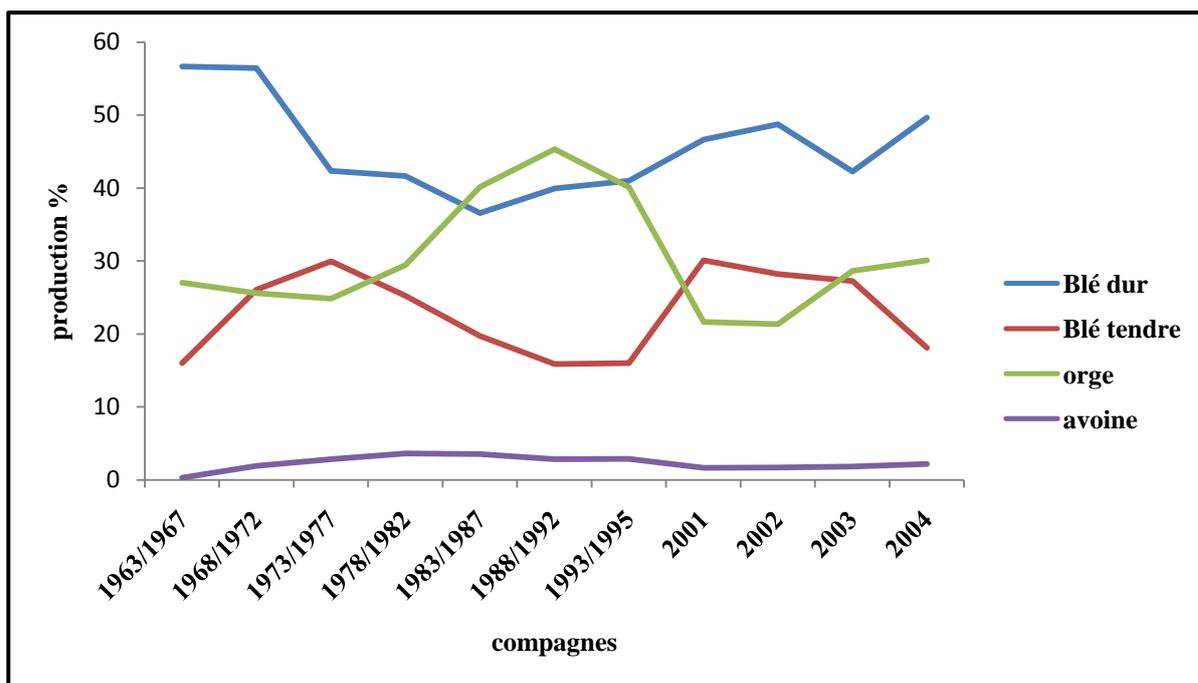


Figure 01. Structure de la production nationale céréalière en % de production totale (DJERMOUN, 2009)

III.3. Céréaliculture sous pivot dans les régions sahariennes

La céréaliculture sous pivot introduite récemment dans les zones sahariennes (fin des années quatre-vingt), a occupé au début presque 10000 ha, les superficies ont atteint à la campagne 98/99 16290 ha avec 440 pivots localisés à travers toutes les wilayas sahariennes et concentrées beaucoup plus dans les zones d'Adrar, Ouargla et Ghardaïa. Le blé dur occupe la première place due à l'augmentation du prix à la production par rapport au blé tendre et l'orge (ITDAS, 2006).

Le début de l'introduction de la céréaliculture dans les régions sahariennes lié à deux dernières décennies où l'Algérie avait connu une augmentation de la population, ceci est conjugué à une augmentation très importante concernant la demande des produits alimentaires surtout les céréales, c'est pour cela que l'état s'est orienté vers l'importation de ces produits dite nécessaires (BENBRAHIM, 2009).

Le secteur agricole dans les régions sahariennes a connu des mutations importantes ces dernières années, la loi 83/18 portant l'accession à la Propriété Foncière Agricole (APFA) est à l'origine de cette nouvelle dynamique agricole. Elle s'est matérialisée par la création de périmètres de mise en valeur dans les vastes étendus sahariennes et par conséquent de nouvelles exploitations agricoles généralement hors oasis (CHELOUFI, 2010).

La céréaliculture sous pivot dans les régions sahariennes est confrontée à plusieurs contraintes qui s'opposent à son développement (BENBRAHIM, 2006).

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 agriculteur s'adoptent de nombreuses pratiques culturales dans les régions à climat aride ou semi-aride (HARGAZ, 2007 in HAMEL, 2015). L'irrigation est l'un des solutions pour assurer l'amélioration et la stabilité des rendements (KELLIL, 2010), 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. in KELLIL, 2010).

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

III.4. Céréaliculture dans la Wilaya la Ghardaïa

Les cultures pratiquées au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sont la céréaliculture, le maraîchage, les cultures fourragères et industrielles en plus de l'arboriculture, l'introduction de la céréaliculture à Ghardaïa était en 1989 (DSA, 2015).

La plus grande superficie réservée à la céréaliculture est située dans la région d'El Ménée, (270km au sud de Ghardaïa), avec 1301 hectares, suivie par la région de Hassi El-Gara avec 312 hectares et Hassi El F'hal avec 242 hectares (DSA, 2015).

Les superficies emblavées en céréaliculture sous pivot sont en fluctuation permanente avec une tendance vers l'augmentation (Fig. 02). Le maximum étant réalisé durant la campagne 2011/2012 avec 2183 hectares.

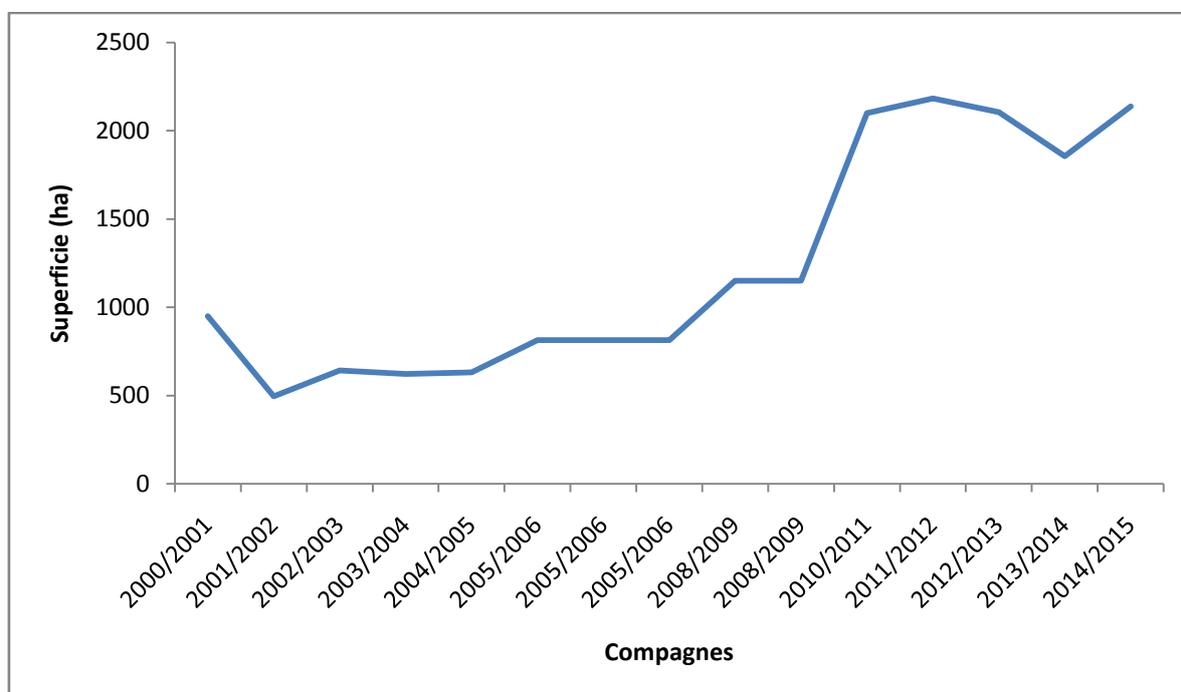


Figure 02. Evolution des superficies céréalières dans la wilaya de Ghardaïa (2000-2015) (DSA, 2016).

Selon la figure (03) réalisée à partir des statistiques fournies par la direction des services agricole de la wilaya de Ghardaïa (DSA, 2015), la production céréalière suit la même allure que celle des superficies avec des fluctuations d'une campagne à une autre et une tendance vers l'augmentation.

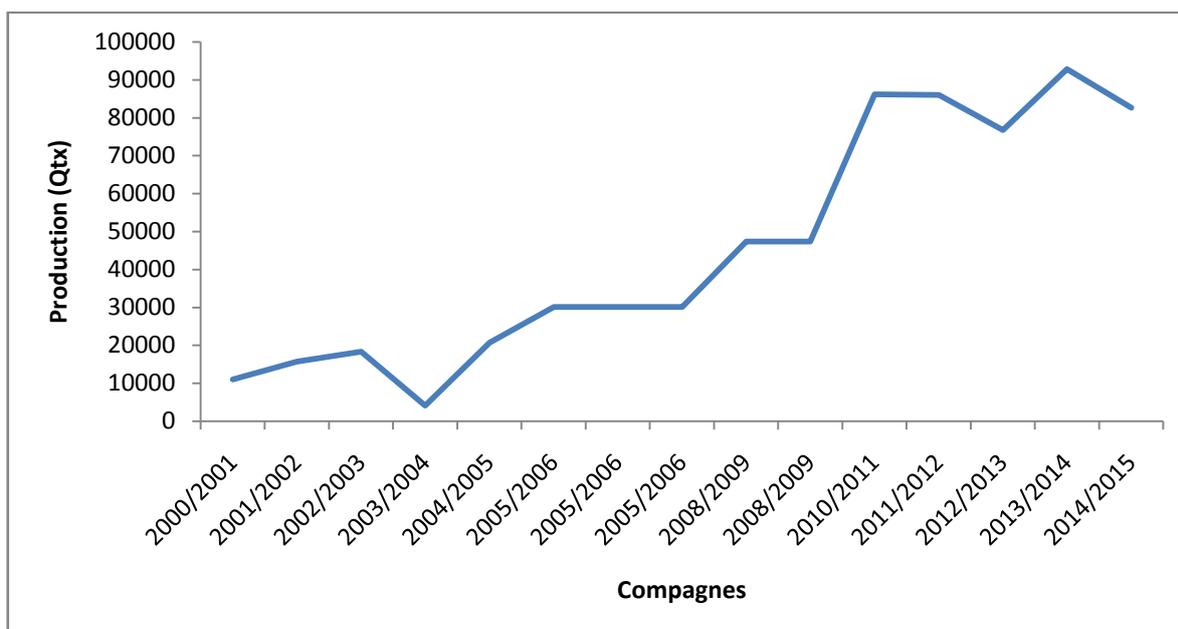


Figure 03. Evolution de la production céréalière dans la wilaya de Ghardaïa (2000-2015) (DSA, 2016).

Deuxième partie

Matériels et méthodes

Chapitre II

Présentation de la région de Ghardaïa

Selon (DPSBM, 2015) La Wilaya couvre une superficie de 84660,12 km² se répartissant comme suit : superficie de la Wilaya

Tableau03 : Répartition des communes par daïra (DPSBM, 2015)

Communes	Superficies (Km ²)
Ghardaïa	306,47
El-Ménéa	23 920,68
Daya	2 234,94
Berriane	2 609,80
Metlili	5 010,12
Guerrara	3 382,27
El-Atteuf	717,01
Zelfana	1 946,23
Sebseb	4 366,82
Bounoura	778,92
Hassi-El-F'hel	6 875,39
Hassi-El-Gara	27 698,92
Mansoura	4 812,55
Total	84 660,12

La wilaya comporte actuellement 13 communes regroupées dans 9 daïra pour une population de 387 880 habitants, soit une densité de peuplement de 4,48 habitants/ km². (DPSBM, 2015)

II. Caractéristiques de la ville

Elle est caractérisée par des plaines dans le Continental Terminal, des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale et s'étend du Nord au Sud sur environ 450 Km et d'Est en Ouest sur environ 200 Km (DPSBM, 2015).

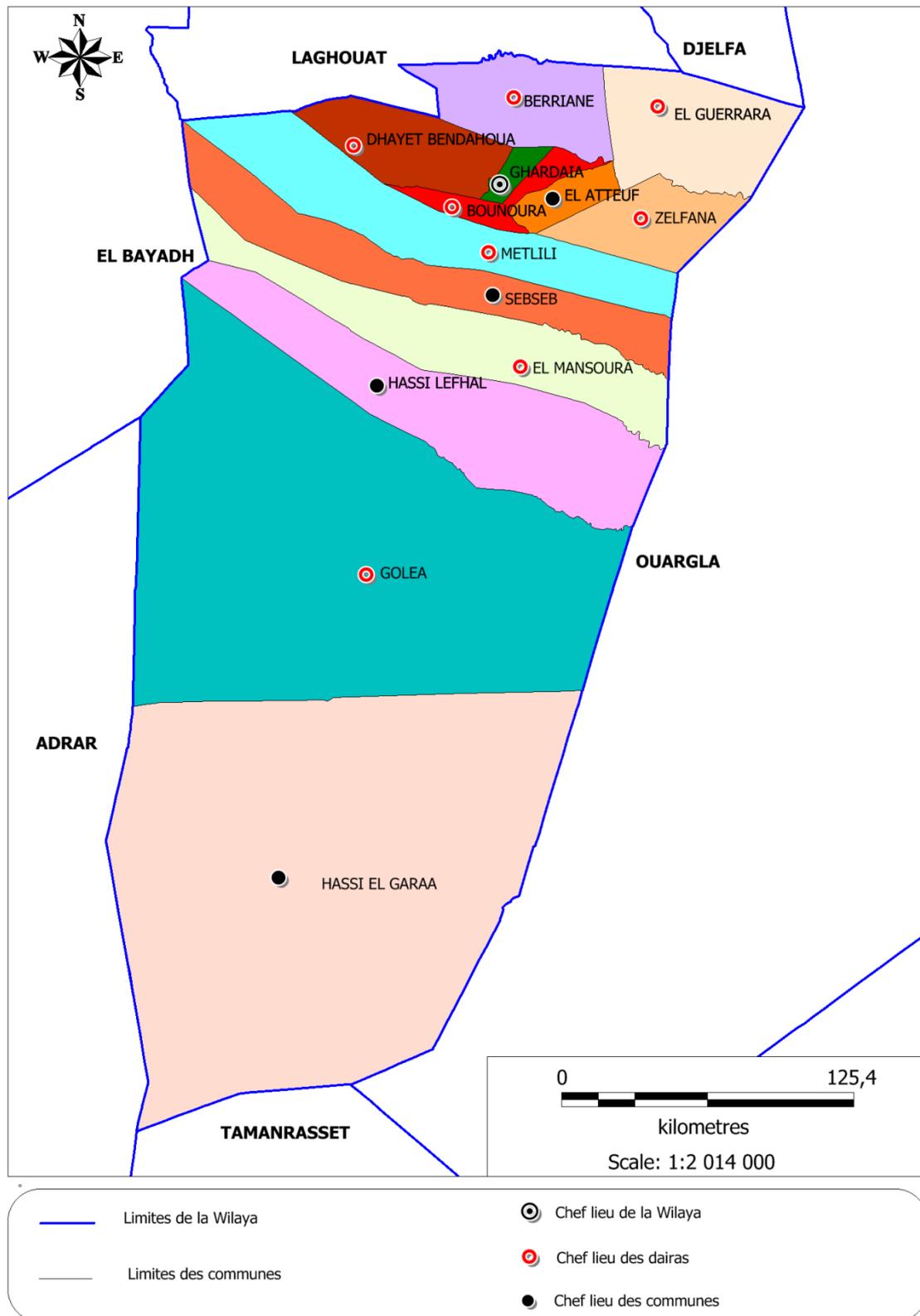


Figure04. Limites administratives de la Wilaya de Ghardaïa (BEN MESSAOUD, 2016).

Les Escarpements rocheux et les oasis déterminent le paysage dans lequel sont localisées les villes de la pentapole du M'Zab et autour duquel gravitent d'autres oasis (Berriane, Guerrara, Zelfana, Metlili et beaucoup plus éloignée au Sud El-Ménéa) (DPSBM, 2015).

L'appartenance au milieu saharien et aride contrait fortement l'occupation de l'espace. L'implantation des villes s'est faite par rapport aux grands axes de circulation et aux oasis et leur développement a été étroitement lié aux conditions naturelles (eau, climat, relief ...) (DPSBM, 2015).

Le couvert végétal est pauvre. La structure et la nature du sol ne sont pas favorables à l'existence d'une flore naturelle riche. La verdure est plutôt créée par l'homme. Cependant la région n'est pas dépourvue de végétation naturelle ; elle est rencontrée dans les lits d'oueds (DPSBM, 2015).

Du point de vue urbain, les agglomérations sont classées selon leur statut administratif, la taille (nombre d'habitants) et la localisation, par rapport aux axes principaux (la hiérarchie fonctionnelle). (DPSBM, 2015) De ce fait on a:

- Ville d'importance nationale : GHARDAIA
- Villes d'importance régionale : GUERRARA, EL-MENEA, METLILI ET BERRIANE.
- Centres urbains d'importance locale : BOUNOURA, EL-ATTEUF, HASSI EL-GARA.

C'est une région très active où le secteur tertiaire est prépondérant avec le commerce, le tourisme et l'artisanat mais aussi l'agriculture (phoénicicole) et l'industrie (DPSBM, 2015).

Dans la Wilaya de GHARDAIA le niveau de l'emploi est meilleur que le niveau national.

III. Aperçu géographique

Selon (DPSBM, 2015) Le désert se présente sous des formes diversifiées :

- ✓ Les ergs, étendus massifs de dunes.
- ✓ Les regs, plaines caillouteuses qui courent vers l'horizon sans que le moindre relief vienne accrocher le regard.

Les sols pierreux recouvrent une partie importante des déserts. La vie y est pratiquement inexistante. La nature du sol et le climat jouent un rôle primordial dans la désertification. La température des déserts n'est donc qu'un phénomène secondaire. (DPSBM, 2015)

IV. Climatologie

Le caractère fondamental du climat Saharien est la sécheresse de l'air, mais l'existence des micro-climats jouent un rôle considérable dans les milieux désertiques. Le relief, la présence d'une végétation abondante peuvent modifier localement les conditions climatiques (microclimat) (DPSBM, 2015).

Au sein d'une palmeraie on peut relever un degré hygrométrique élevé, le degré hygrométrie modifie les effets de la température pour l'homme (DPSBM, 2015).

Selon (DPSBM, 2015) Les éléments qui viennent modifier considérablement les effets de la température par les êtres humains et sur la végétation :

- ✓ L'Humidité
- ✓ Le Rayonnement
- ✓ La composition des sols
- ✓ Le relief,.....

Il faut tenir compte également du fait que les moyennes de températures sont relevées à l'ombre .et celle-ci est rare au Sahara où la température au sol peut dépasser 60 °C (DPSBM, 2015).

Le climat Saharien se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée (DPSBM, 2015).

IV.1. Température

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. La température moyenne enregistrée au mois de Juillet est de 36.3 °C, le maximum absolu de cette période a atteint 47°C. Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 9,2°C, le minimum absolu de cette période a atteint -1 °C (DPSBM, 2015).

IV.2. Pluviométrie

Les précipitations sont très faibles et irrégulières. a Ghardaïa, elles varient entre 13 et 68 mm sur une durée moyenne de quinze (15) jours par ans(DPSBM, 2015)

A El-Ménéa, elles varient entre 0.4 mm et 147.5 mm avec une moyenne annuelle de 41,5 mm; le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours (entre les mois de Janvier et Mars). Les pluies sont en général torrentielles et durent peu de temps sauf cas exceptionnels (DPSBM, 2015).

IV.3. Vents

Il n'y a pas de désert sans vents. Le vent est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, en général en Mars et Avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Des trompes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres de haut (DPSBM, 2015).

L'obscurité règne et toute activité cesse. Ces phénomènes peuvent durer de un à trois jours et plus, avec cependant une accalmie durant la nuit. Des masses de sable peuvent être transportées à des distances considérables (DPSBM, 2015).

Pour éviter les effets dévastateurs du vent sur les cultures, il est nécessaire de protéger celles-ci par des écrans suffisants.

En région désertique, le vent et les particules de sable qui l'accompagnent imposent des contraintes à tous les niveaux de la vie sociale et économique. Si l'homme ne peut pas changer les lois de la nature, il est cependant capable d'en prévoir les effets, de réduire ses conséquences néfastes et parfois aussi de les utiliser à des fins économiques. Les éoliennes peuvent dans certaines conditions apporter un complément non négligeable d'énergie (DPSBM, 2015).

Les vents qui ne trouvent plus d'obstacles à leur progression sur les régions dénudées apportant la sécheresse. L'érosion éolienne prend la relève de l'érosion hydrique. Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. (DPSBM, 2015).

IV.4. Humidité

Selon le (tableau04), l'humidité relative de l'air est faible, la moyenne annuelle est de 35.8%, le minimum est de 20.61% en Juillet et le maximum est de 53.17% au mois de Décembre.

Tableau04. Données climatiques de Ghardaïa durant la période (2006- 2015) (ONM, 2016)

Mois	T (C°)	TM (C°)	Tm (C°)	PP (mm)	V (Km/h)	H
Janvier	11,44	17,09	6,45	12,42	11,04	51,08
Février	12,96	18,5	8,67	2,795	14,166	42,08
Mars	17,02	22,98	10,96	8,662	14,244	35,93
Avril	21,88	25,09	15,16	5,613	15,6	31,39
Mai	26,4	32,68	19,44	3,251	15,4	26,9
Juin	31,37	37,83	24,1	3,126	15,222	23,43
Juillet	35,23	41,52	28,18	2,843	12,011	20,61
Août	34,27	40,51	27,63	3,76	11,333	23,43
Septembre	29,24	35,41	23,22	12,167	11,17	34,55
Octobre	23,55	29,42	17,9	11,3	10,32	40,34

Novembre	16,45	22,15	11,28	6,046	10,8	46,69
Décembre	12,05	17,49	7,26	5,663	11,1	53,17
	22.655	28.3892	16.6875	77.647*	12.7006	35.8

T : Température moyenne (°C) **TM** : Température maximale (°C) **Tm** : Température minimale (°C)

PP : Précipitations (mm) **V** : Vitesse moyenne du vent (Km/h) **H** : Humidité relative moyenne (%)

* : Cumul des précipitations moyennes mensuelles (mm)

IV.5.Synthèse climatique

Pour caractériser le climat d'une région, il faut procéder à une synthèse des principaux facteurs climatiques (température et précipitation).

IV.5.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

A l'aide des notations des données de précipitation et de températures mensuelles sur une période de 10 ans, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer la période sèche.

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN, 1953 in BENBRAHIM, 2006 permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique, il est représenté.

- En abscisse par les mois de l'année.
- En ordonnées par les précipitations en mm et les températures moyennes en °C avec une échelle de $P=2T$.
- L'aire comprise entre les deux courbes représente le période sèche. En effet, dans la région de Ghardaïa, nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année (Fig. 06).

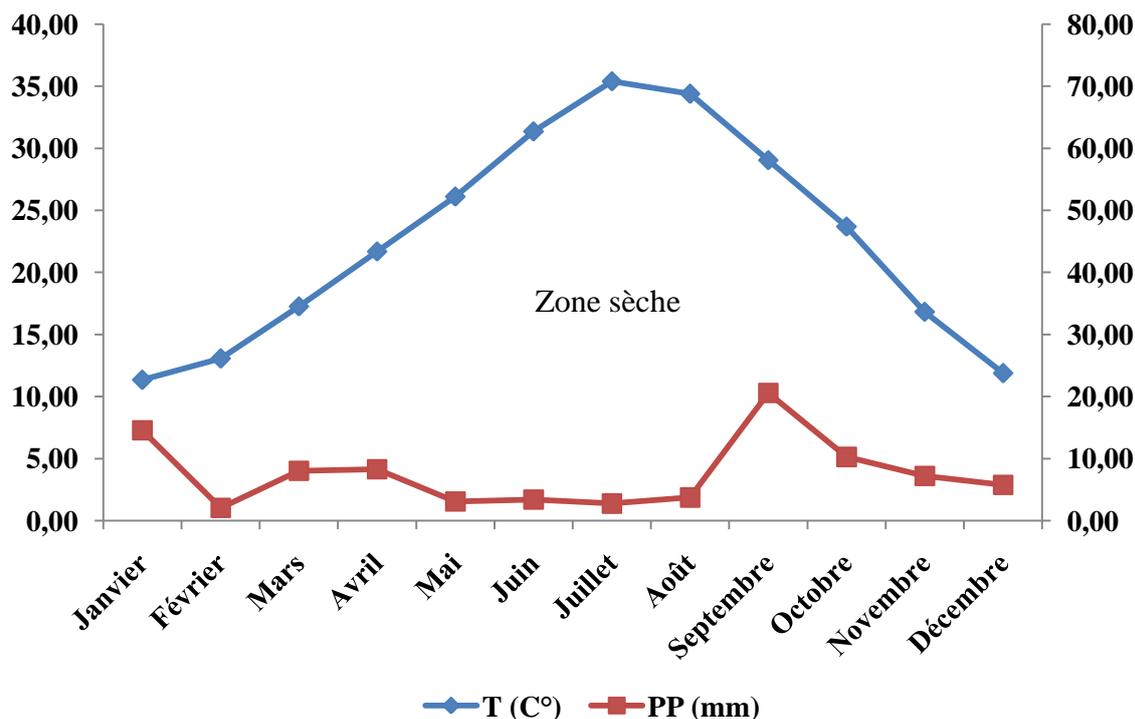


Figure 05. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN caractéristique de la région du Ghardaïa (2006-2015)

IV.5.2. Quotient pluviothermique d'Emberger (1955)

Le quotient pluviothermique d'Emberger (Q_2) permet d'identifier l'étage bioclimatique de la région d'étude. Sachant que :

$$Q_2 = 3,43 \cdot \frac{P}{M - m} \text{ (Quotient de Stewart)}$$

Q_2 : Quotient thermique d'EMBERGER

P : Pluviosité moyenne annuelle (77.647 mm).

M : Température maximale du mois le plus chaud (41.52°C., Juillet).

m : Température minimale du mois le plus froid (6.45°C., Janvier).

A travers les résultats illustrés dans la figure (3), on peut constater que la région de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et dont le quotient pluviométrique (Q_2) égale à 7.59.

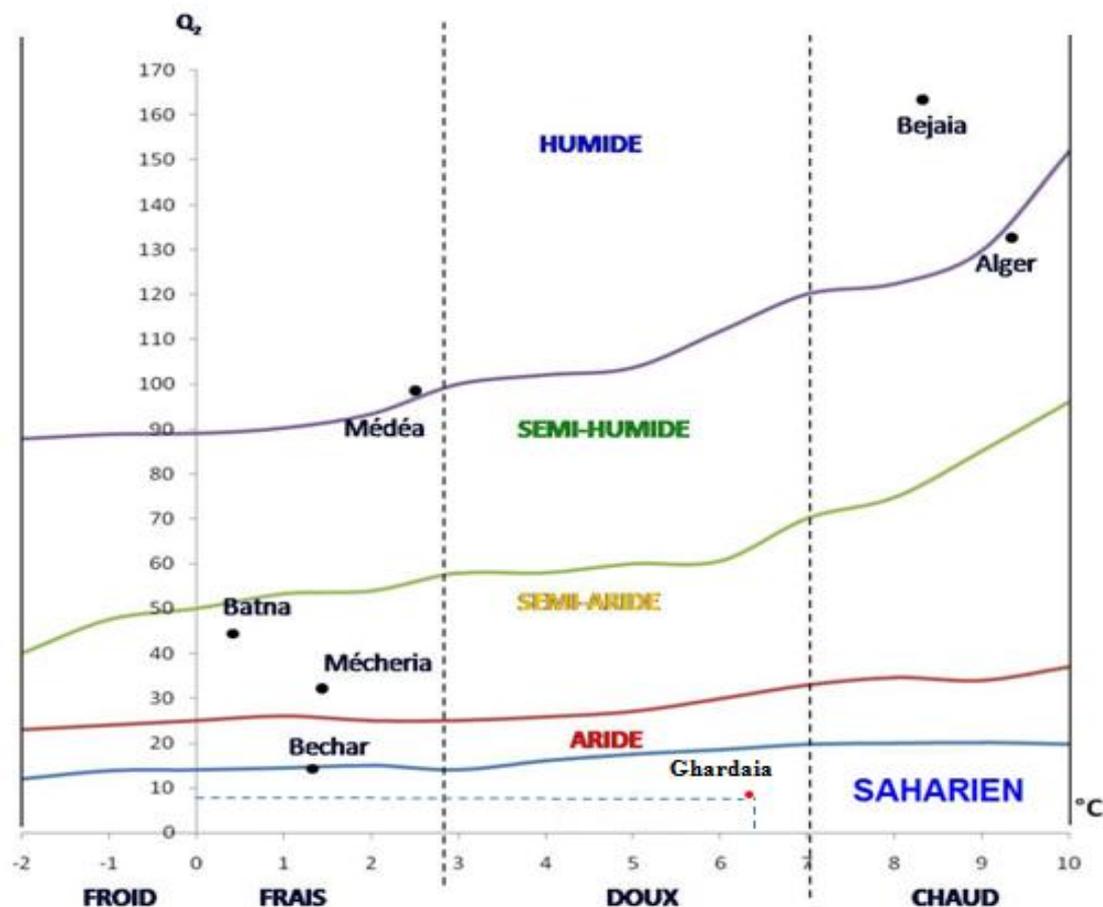


Figure 06. Climagramme d'EMBERGER montrant l'étage bioclimatique de la région de Ghardaïa

V. Milieu physique

L'ensemble géomorphologique dans lequel s'inscrit de Ghardaïa est un plateau rocheux,

V.1. Géomorphologie

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

-La Chabka du M'Zab.

-La région des dayas.

-La région des Ergs (BEN SEMAOUNE, 2007 ; MAHMA, 2012)

V.1.1. Chabka

La chabka 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 et leur pente dirigée vers l'Est. (D.P.A.T., 2012 in DAOUADI, 2013).

La hauteur des vallées du M'Zab est assez variable, et n'atteint pas les cent 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., 2012 in DAOUADI, 2013).

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, Mansoua et Hassi – Fhel) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau (BEN SEMAOUNE, 2007; MAHMA, 2012 ; DAOUADI, 2013).

V.1.2. 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 physionomiques 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.

Le 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 MAHMA., 1997).

La région des dayas par sa richesse floristique offre par excellence les meilleures zones de parcours (BEN SEMAOUNE, 2007 ; MAHMA, 2012).

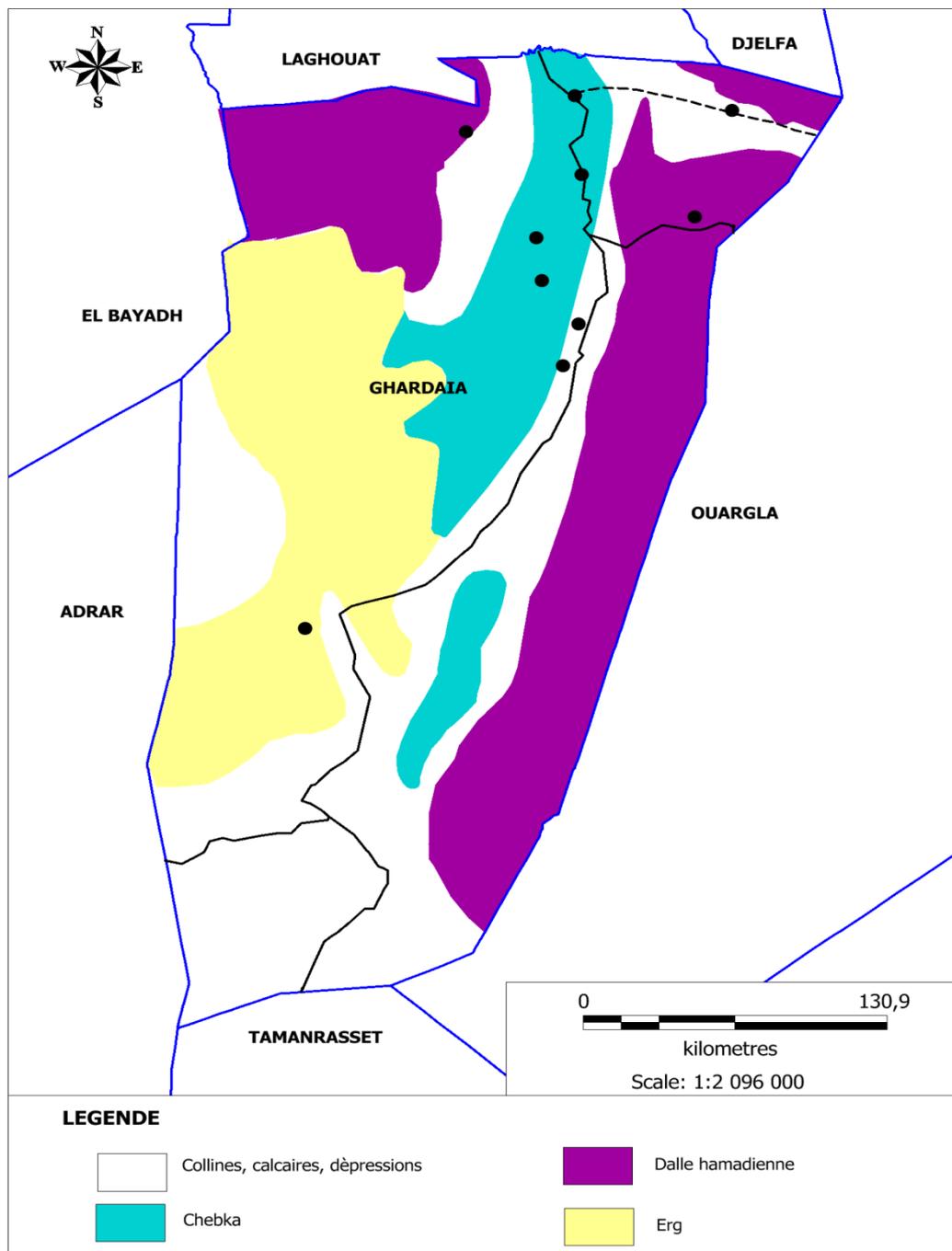
V.1.3. Région des Regs

Elle est 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, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf. (BEN SEMAOUNE, 2007 ; MAHMA, 2012 ; DAOUADI, 2013).

V.1.4. Hamada

Dont l'altitude varie entre 300 et 800 mètres. Le paysage est caractérisé par une vaste étendue pierreuse où affleure une roche nue de couleur brune et noirâtre. Ce plateau a été masqué par la forte

érosion fluviale du début du quaternaire qui a découpé dans sa partie Sud des buttes à sommet plats et a façonné des vallées (BOUHAMIDA, 2014).



Carte 02. Milieu physique de la wilaya de Ghardaïa (BEN MESSAOUD, 2016).

VI. Hydrologie

Dans le désert non seulement les précipitations sont rares et irrégulières mais l'évaporation est considérable et plus importantes que le niveau de précipitations. Actuellement on utilise, sans compter les

réserves d'eau fossile situées dans la couche géologique du continent intercalaire (nappe albienne 1/41/) (DPSBM, 2015).

Les forages vont chercher l'eau à de grandes profondeurs. On parle d'une fabuleuse réserve de 800000 m² située en dessous du grand Erg Oriental mais quelques soient les estimations, il n'y a qu'une certitude : ces réserves ne sont pas réalimentées et donc limitées dans le temps. Le développement de nouvelles techniques pour réalimenter les nappes, les dispositifs mis en place pour réduire l'évaporation peuvent certainement faire reculer l'échéance et l'on peut espérer que le génie de l'homme trouvera des solutions appropriées avant l'épuisement total des ressources aquifères. En attendant la vigilance doit être de rigueur et le gaspillage sévèrement contrôlé (DPSBM, 2015).

Les hommes du M'Zab ont inventé le système le plus performant et sans doute le plus sophistiqué pour le captage de l'eau et pour la distribution équitable entre les exploitations. Canaux, rigoles, tours de guet pour les crues, peignes, trémies, freins, plaine d'épandage et d'infiltration pour les surplus qui réalimentent la nappe phréatique, puits, tunnels maçonnés (timchet), puissants d'aération ; savantes combinaisons de trouvaillles qui font qu'aucune goutte de pluie ne puisse être perdue. Cette gestion sophistiquée de l'eau et sa distribution équitable participe d'une morale religieuse et sociale (DPSBM, 2015).

Même au cœur du Sahara on peut assister à des phénomènes inhabituels comme des inondations. Durant certaines années exceptionnelles, comme au début du siècle passé ou en 1991, en automne 1994, et en Octobre 2008 de violentes crues ont déferlé sur la vallée en causant de sérieux dégâts. (DPSBM, 2015).

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Fig.17), 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 (A.N.R.H., 2007).

L'exploitation de l'eau dans la vallée du M'Zab s'opérait le creusement progressif de certains puits traditionnels atteignant la nappe phréatique. Actuellement, l'alimentation en eau s'effectue par des forages de profondeur variable de 350 à 500 mètres puisant l'eau fossile de la nappe albienne (Continental intercalaire) dont les réserves sont estimées à 15000 milliards de mètres cubes.(DPSBM, 2015).

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).

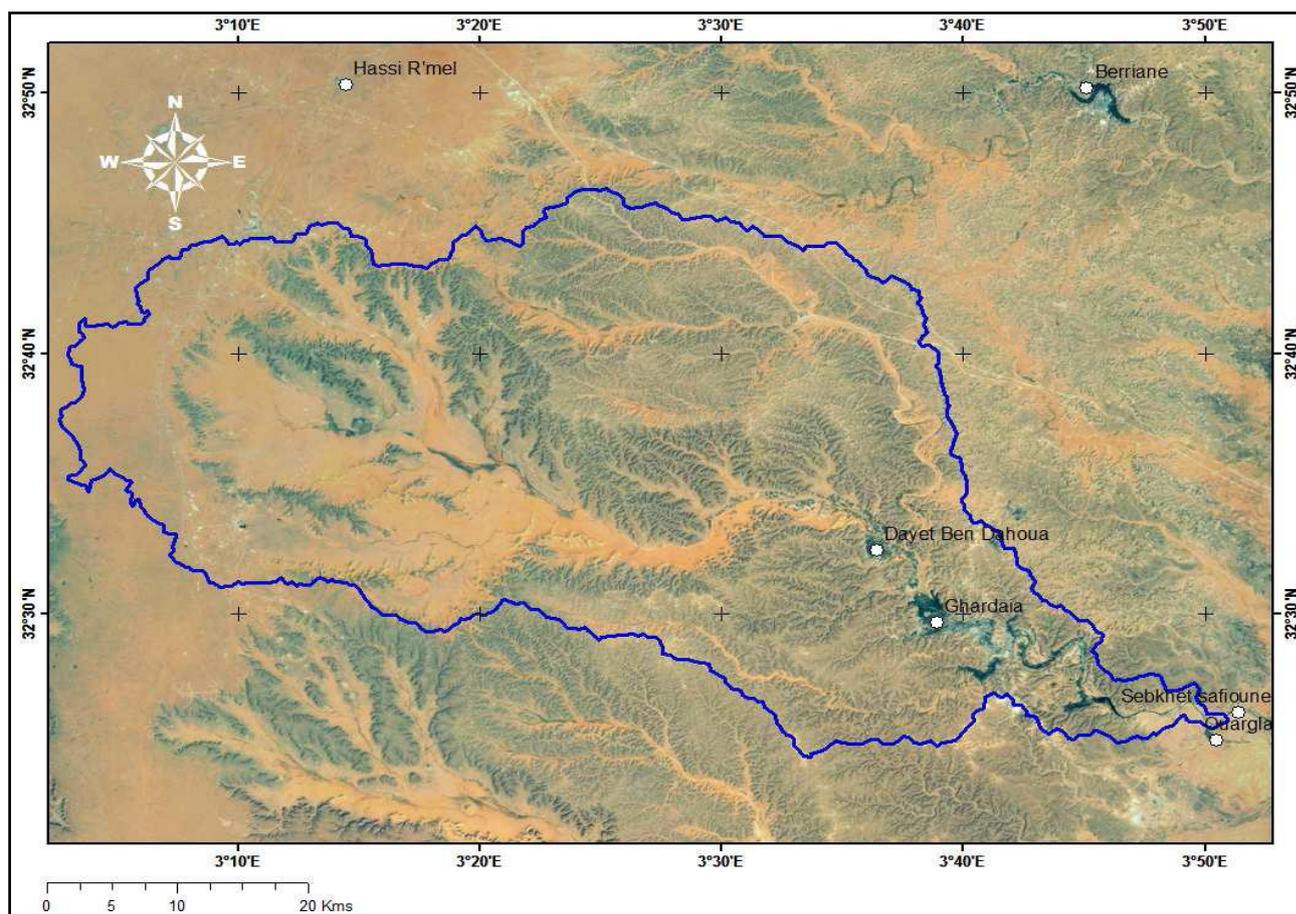


Figure 07 .Bassin versant de l'oued M'Zab (A.N.R.H., 2011)

VI.1. Ressources hydriques

Selon l'ABHS (2005), les ressources hydriques sont caractérisées par plusieurs types de nappes et se résument principalement à travers (A.N.R.H., 2011).

VI.1.1. Nappes aquifères

Les nappes aquifères comportent :

VI.1.1.1. Nappe du continental intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et grès-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m. 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 (A.N.R.H., 2011).

La nappe du CI, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au CI, 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 120m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia) (A.N.R.H., 2011).

VI.1.1.2. 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 (A.N.R.H., 2011).

La qualité chimique des eaux est comme suit :

- A l'amont, elle est bonne à la consommation.
- A l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines (A.N.R.H., 2011).

VI.1.1.3. Complexe terminal

Cette nappe n'a pas l'importance du Continental Intercalaire (CI) ; elle n'en est pas moins présente dans tout le bas-Sahara où elle procure des ressources hydriques non négligeables notamment dans les Oasis de Ouargla, Oued-Righ et Zibans. La région de Ghardaïa à cause de son altitude, ne bénéficie pas des eaux de cette nappe (A.N.R.H., 2011).

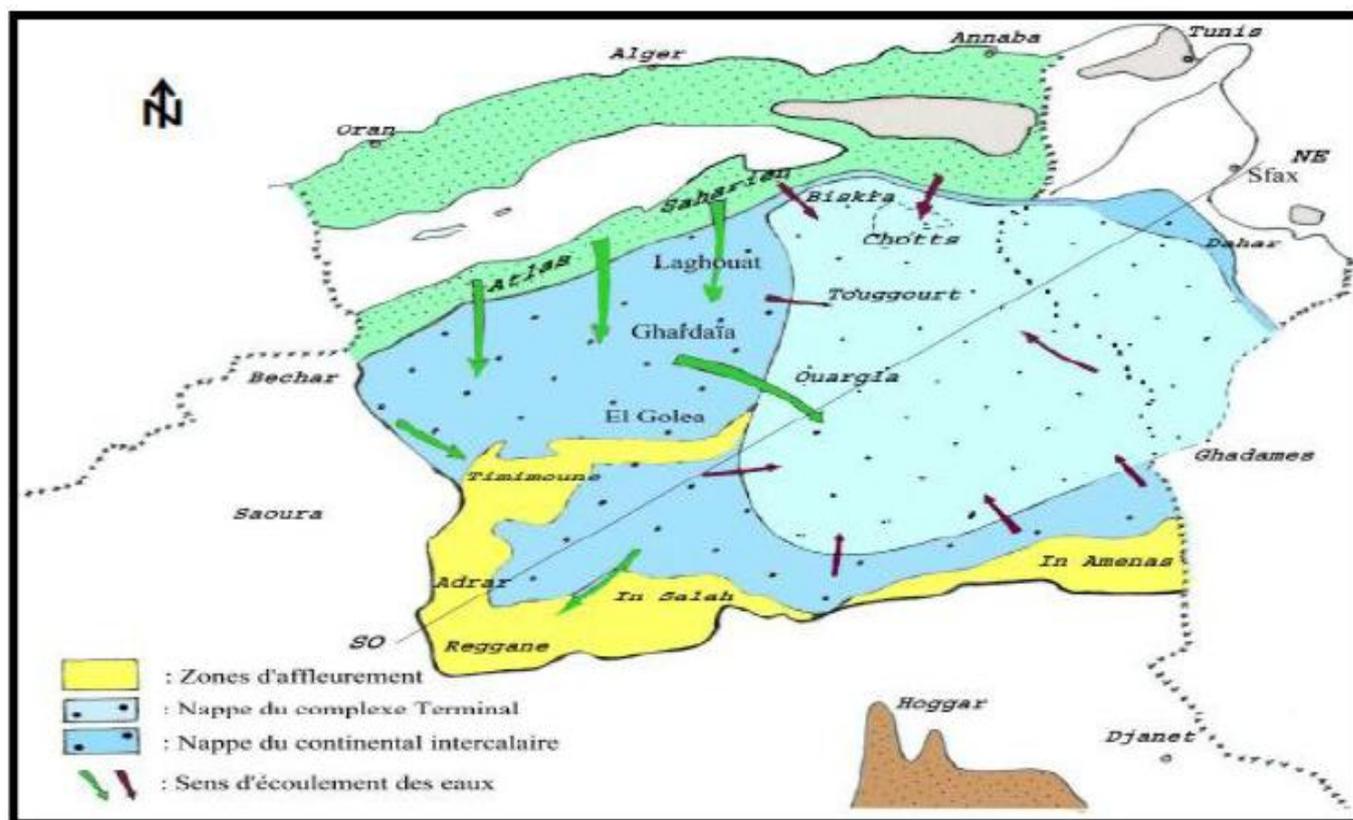
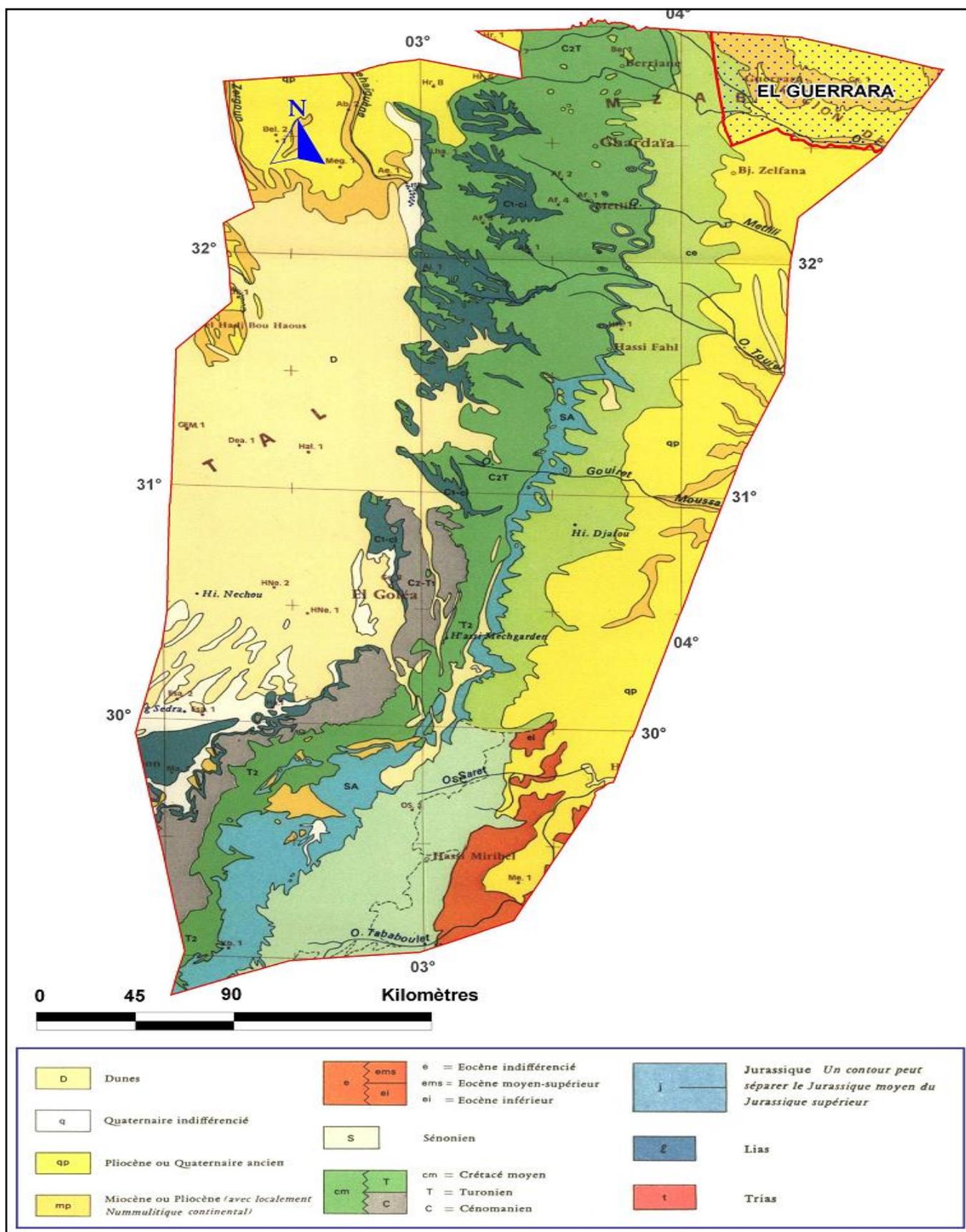


Figure 08. Les deux Systèmes Aquifères du Sahara : Le CT et le CI (ANRH, 2008).

VII. 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 (A.N.R.H., 2011). 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 (A.N.R.H., 2011).



Carte 03. Géologie de la willaya de Ghardaïa (ANRH, 2010 in MANSOURA, 2014).

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) (A.N.R.H., 2011).

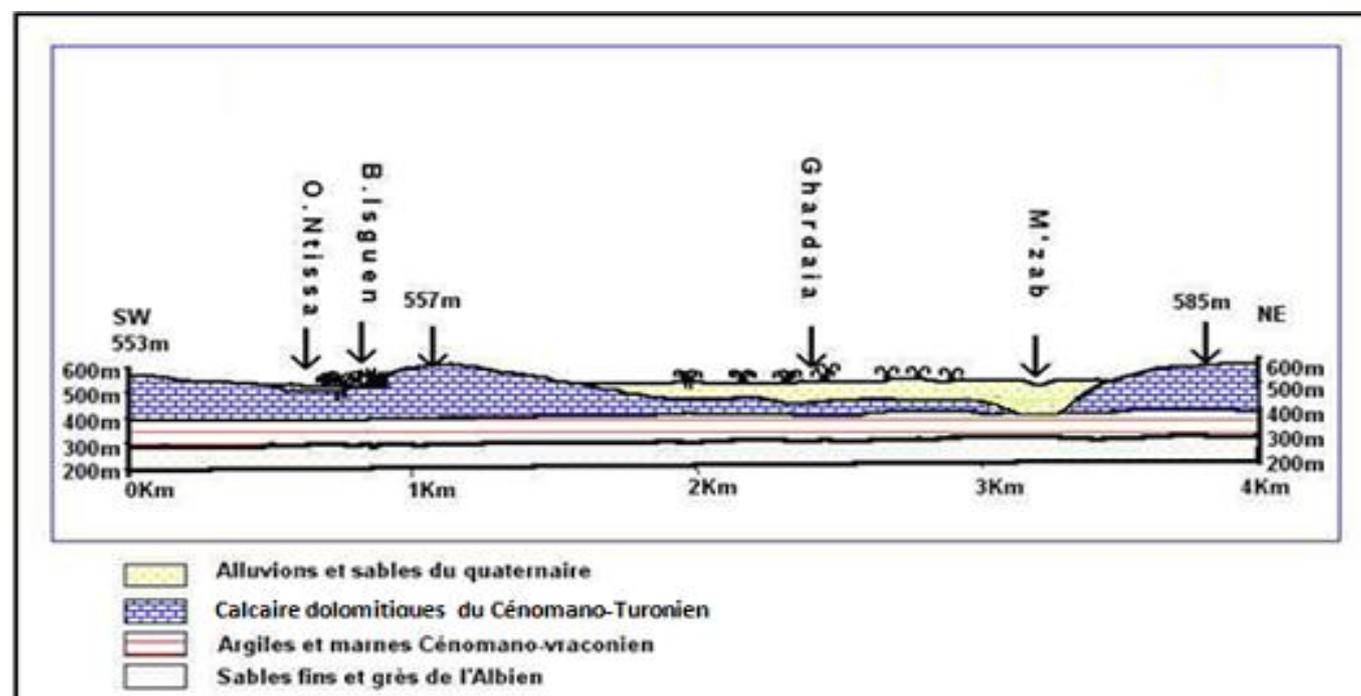


Figure 09. Coupe géologique schématique de la région du M'zab (A.N.R.H., 2011).

VIII. Pédologie

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 (BELERAGUEB, 1996 in, MIHOUB, 2008).

VIII.1. Composition des sols sahariennes

Le sable ne domine pas dans le Sahara, les sols désertiques sont surtout pierreux. Les sols argileux couvrent une grande partie des déserts. La surface d'un sol argileux se dessèche très rapidement après une pluie. Cependant la dessiccation pénétrant de plus en plus profondément, l'évaporation devient de plus en plus profonde et la zone d'évaporation de plus en plus basse (DPSBM, 2015).

En surface, sous l'ardeur du soleil, l'évaporation peut donc appeler l'eau souterraine salée à remonter imprégnant l'argile, et rendant sols salins (DPSBM, 2015).

Au Sahara, on dénombre de nombreuses dépressions salines (sebkhas). Certaines régions sont caractérisées par une forte présence de gypse de 20 à 40 cm de profondeur, qui cimente les particules des sols argileux ou sableux. Le gypse est une roche sédimentaire formée de sulfate de calcium hydraté cristallisé. On l'appelle encore « pierre à plâtre » car chauffée entre 150 °C et 200 °C, le gypse perd de l'eau et se transforme en plâtre. Rien ne semblait pouvoir favoriser la vieille cité de GHARDAIA là où elle est née, seul un concours de circonstances historiques a pu amener une population dans un tel milieu et s'y enraciner. L'ensemble géomorphologique dans lequel s'inscrit le M'Zab est un plateau rocheux, le HAMADA, dont l'altitude varie entre 300 et 800 mètres. (DPSBM, 2015).

Le paysage est caractérisé par une vaste étendue pierreuse où affleure une roche nue de couleur brune et noirâtre. Ce plateau a été masqué par la forte érosion fluviale du début du quaternaire qui a découpé dans sa partie Sud des buttes à sommets plats et a façonné des vallées. L'ensemble se nomme la CHEBKA « Filet » à cause de l'enchevêtrement de ses vallées. L'Oued M'Zab traverse ce filet de 38000 km² du Nord-Ouest vers le Sud-est (DPSBM, 2015).

La vallée du M'Zab atteint à hauteur de GHARDAIA, une altitude de 500 mètres. C'est dans le creux de l'Oued M'Zab, sur des pitons rocheux, que s'est érigée la pentapole. (DPSBM, 2015).

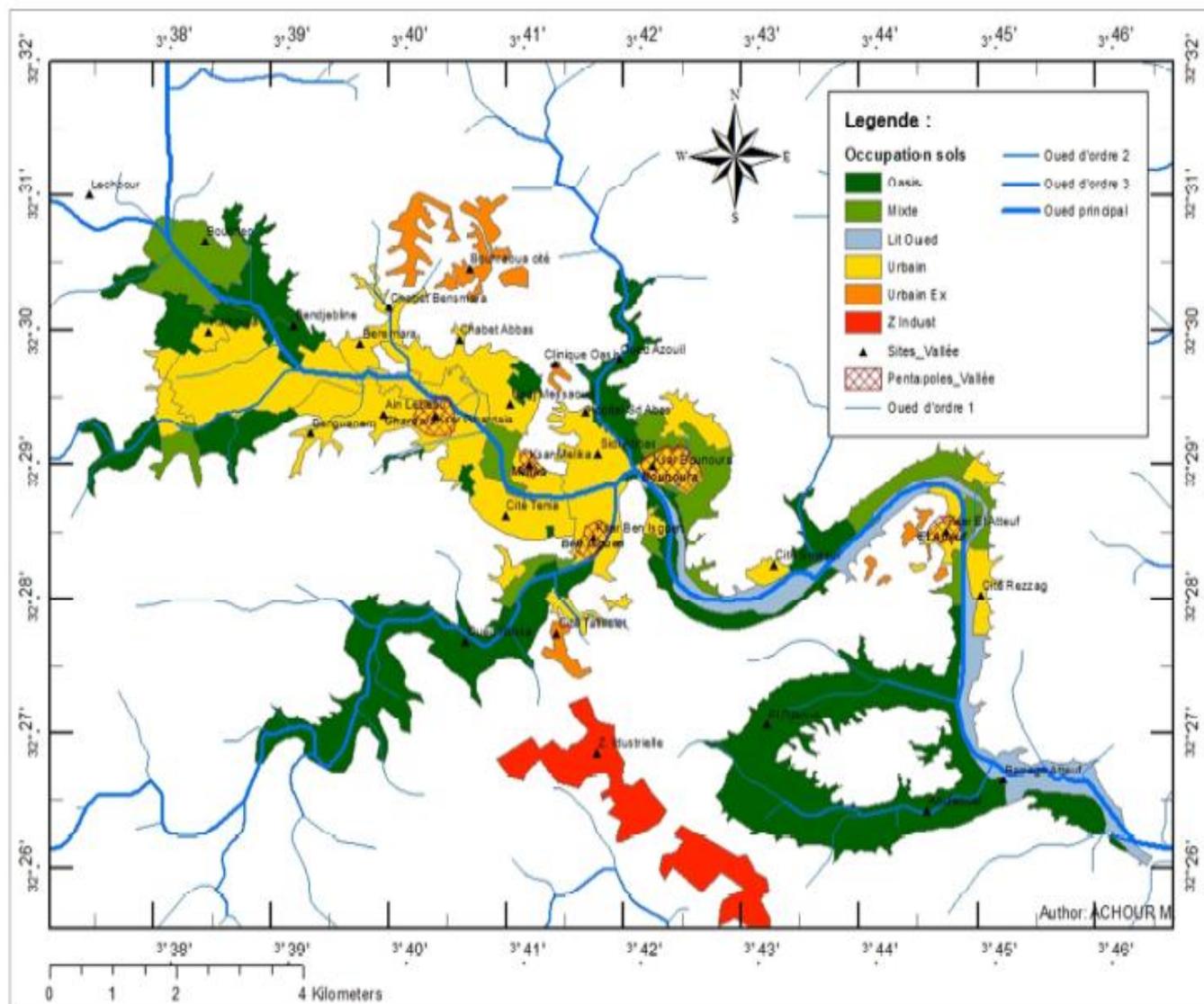
VIII.2. Occupation des sols

Dans la Wilaya de Ghardaïa, le secteur agricole est limité, il est à vocation phoénicicole. Sur les 8466012 ha couverts par la superficie de la Wilaya 1.370.911 hectares sont affectés à l'agriculture et la superficie agricole utile (SAU) est évaluée à 39350 hectares (MANSOUR, 2014)

La carte a été élaborée par digitalisation de l'image satellitaire IKONOS de l'an 2000 (multi spectrale à 4m de résolution) de la zone étudiée en utilisant les outils du logiciel Arc GIS 10 d'ESRI. La carte montre que sur une surface totale de la vallée digitalisée de 31,18 km² soit 3118,8 hectares ; 30% est occupée par l'urbanisme soit 10,63 hectares. Les oasis dans la vallée occupent une surface de 14,10 hectares, soit 40% de la surface totale (MANSOUR, 2014).

Les oasis sont localisées principalement en amont (Touzouz, Bouchen) et en aval de l'oued M'zab (Djaoua, Aouleouel), ainsi que le long des deux principaux affluents de la vallée du M'Zab ; oued N'tissa et oued Azouil. Les zones mixtes (urbanisme et oasis) représentent 11% de la surface totale soit 3,83 hectares (carte. 07). Les zones urbaines sont localisées principalement, autours des vieux ksars (pentapole) et s'étendent progressivement vers les oasis environnantes (MANSOUR, 2014)

En aval de la vallée une zone inoccupée de 2,66 hectares correspond à la zone d'épandage de l'oued M'Zab, elle représente 7% de la surface totale de la vallée (MANSOUR, 2014).



Carte 04 .Carte d'occupation de sol dans la vallée de M'Zab (MANSOUR A., 2014)

IX. La Flore

Les principaux facteurs qui influent de manière significative sur la végétation sont le climat (Précipitation, température, luminosité...), le sol et l'altitude. C'est surtout le complexe équilibre de ces facteurs qui joue un rôle primordial à la fois dans la répartition et dans le développement des plantes. (DPSBM, 2015).

Chaque milieu naturel dispose d'un cortège floristique adapté aux conditions climatiques et édaphiques qui y prévalent. Ainsi les plantes peuplant le Sahara sont adaptées à la sécheresse. Cette adaptation se retrouve dans la structure de toutes les plantes qui vivent en milieu aride. Pour vivre en

milieu sec, la plante doit, ou bien accroître au maximum l'absorption d'eau qu'elle est susceptible de rencontrer, ou bien réduire les pertes d'eau qu'elle subit du fait de la transpiration (DPSBM, 2015).

« Elle peut aussi se constituer des réserves d'eau, lorsque la possibilité lui est fournie, qu'elle utilisera ensuite. » Les deux premiers procédés sont employés par les plantes dites « Xérophytes sèches », le dernier se rencontre dans les « plantes grasses » (DPSBM, 2015).

Diverses plantes du désert possèdent de longues racines abondamment ramifiées grâce auxquelles elles peuvent puiser profondément dans le sol l'eau fossile ou d'infiltration qui y séjourne sur les couches géologiques non absorbantes (DPSBM, 2015).

Pour tout l'ensemble désertique, qui commence de la côte Atlantique jusqu'à la mer rouge en traversant tout le continent africain, totalisant un nombre d'espèces vasculaires ne dépassant pas les 1200 (OZENDA, 1991 : flore du Sahara septentrional et central). Un inventaire effectué par le MAIRE en 1933, dans le Hoggar dénombre 300 espèces sur une superficie de 150000 km² (DPSBM, 2015)

Selon (DPSBM, 2015) Pour les environs de Ghardaïa, DIELS indique également le chiffre de 300 espèces spontanées. En voici quelques-unes :

- Dans les Ergs : *Stipagrostis pungens*, *Retama retam*, *Calligonum comosum*, *Ephedra allata*, *Urginea noctiflora*, *Erodium glaucophyllum*.
- Dans les Regs : *Hamada scoparium*, *Astragalus gombo*, *Caparis spinosa*, ...
- Dans les lits d'Oueds et Dhayate : *Phoenix dactylifera*, *Pistachia atlantica*, *Zyziphus lotus*, *Retama retam*, *Tamarix articulata*, *populus euphratica*...

X. La Faune

La région de Ghardaïa présente une faune riche et compte tenu de l'étendu énorme de la wilaya le recensement des espèces faunistiques et floristique demeure difficile. Cela est dû à l'aspect physique du sol de la région (rocheux) et au manque des moyens. Les mammifères sont les plus répandus et sont au grand nombre, on peut citer l'hérisson de désert, la chauve souris trident et la petite gerbille du sable. Les oiseaux de la région d'étude sont aussi d'une importance considérable (Hirondelle de cheminée, dromaique de désert, traquet à tête blanche, bruant striolé, Moineau domestique, Moineau blanc, Tourterelle 9maillé, Pigeon biset, Grand corbeau. Les reptiles sont marqués par la vipère cornue, les lézards, les couleuvres Gecko des murailles.... Au Sahara, comme d'autres régions du monde, il n'y a guère de milieu que les insectes ne soient pas parvenus à coloniser. Toutefois les espèces sabulicoles forment l'élément le plus important du peuplement entomologique du désert (VIAL Y. et VIAL M.,

1974 in LEBATT-MAHMA, 1997 in BEN SEMAOUNE. Y, 2007) Les orthoptères représentent le groupe d'insectes le plus important par leur diversité et leur nombre. (BEN SEMAOUNE. Y, 2007)

XI. Agriculture

Selon DPSBM (2015), les terres utilisées par l'agriculture couvrent 1 370 911 Ha dont :

- ✓ Surface agricole utile (S.A.U) : 39 350 ha en irrigué en totalité ;
- ✓ Pacages et parcours : 1 331 389 ha ;
- ✓ Terres improductives des exploitations agricoles : 172 ha.

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par deux systèmes d'exploitation :

- ✓ Oasien de l'ancienne palmeraie ;
- ✓ La mise en valeur.

La végétation est basée essentiellement sur la phoéniculture, avec la céréaliculture, le maraichage, les cultures fourragères et industrielles en plus de l'arboriculture fruitière. Les superficies affectées à chaque culture, les quantités récoltées et les rendements sont détaillées dans les tableaux. Une lecture du tableau éclaire que les superficies réservées aux productions végétales sont dominées principalement par les fourrages, le maraichage et l'arboriculture. (DPSBM, 2015)

Tableau 05. Principales productions végétales dans la wilaya (DPSBM, 2015)

Cultures	Superficies réalisées en Ha	Superficies récoltées en Ha	Quantités récoltées en Qx	Rendement moyen En Qx/Ha
Céréales	1855	1855	92822	50
Cultures industrielles	400	400	6000	15
Fourrages	3000	3000	480570	160
Maraîchage	4850	4850	871288	179,6
Pomme de terre	145	145	39590	273
Arboriculture (Plants)	3891	3891	181072	46,5

XII. Présentation du site d'étude

Le terrain expérimental est situé au niveau de la Ferme de HOUTTIA, qui a été créé en 1995 à HASSI EL F'HEL (Fig.07) dans la commune de MANSOURA a une distance d'environ 120 Km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa, et à 155Km d'El Méria, 260 Km de Ouargla et 715 Km d'Alger. La commune s'étale sur une superficie de 6715 Km², entre une latitude de 30° et 34' N et une longitude de 2° et 52'E (COMMUNE MANSOURA, 2013).

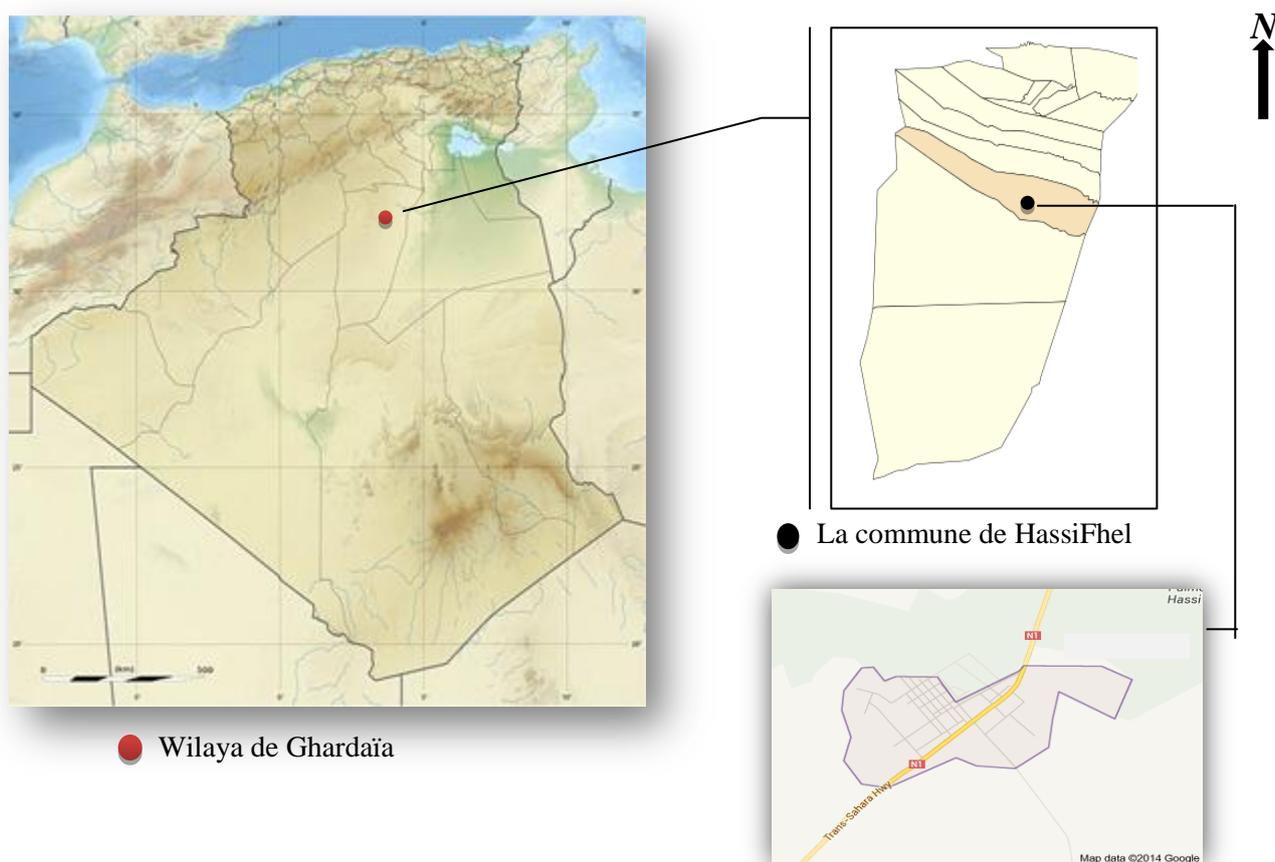


Figure 10. Localisation géographique de la zone d'étude.

La ferme du HOTTIA couvre une superficie totale de 703 ha, avec une superficie exploitée estimée à 450 ha, cette ferme spécialisée en céréaliculture compte 3 pivots dont les superficies est de 32 ha pour chaque pivot. En plus de la céréaliculture, la phoëniculture trouve sa place avec 1000 pieds couvrant une superficie de 10 ha, viticulture et la culture maréchale.

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent de la nappe du Continental Intercalaire (Albien) et capter par 02 forages, l'un est de 412 m l'autre est de 380 m.

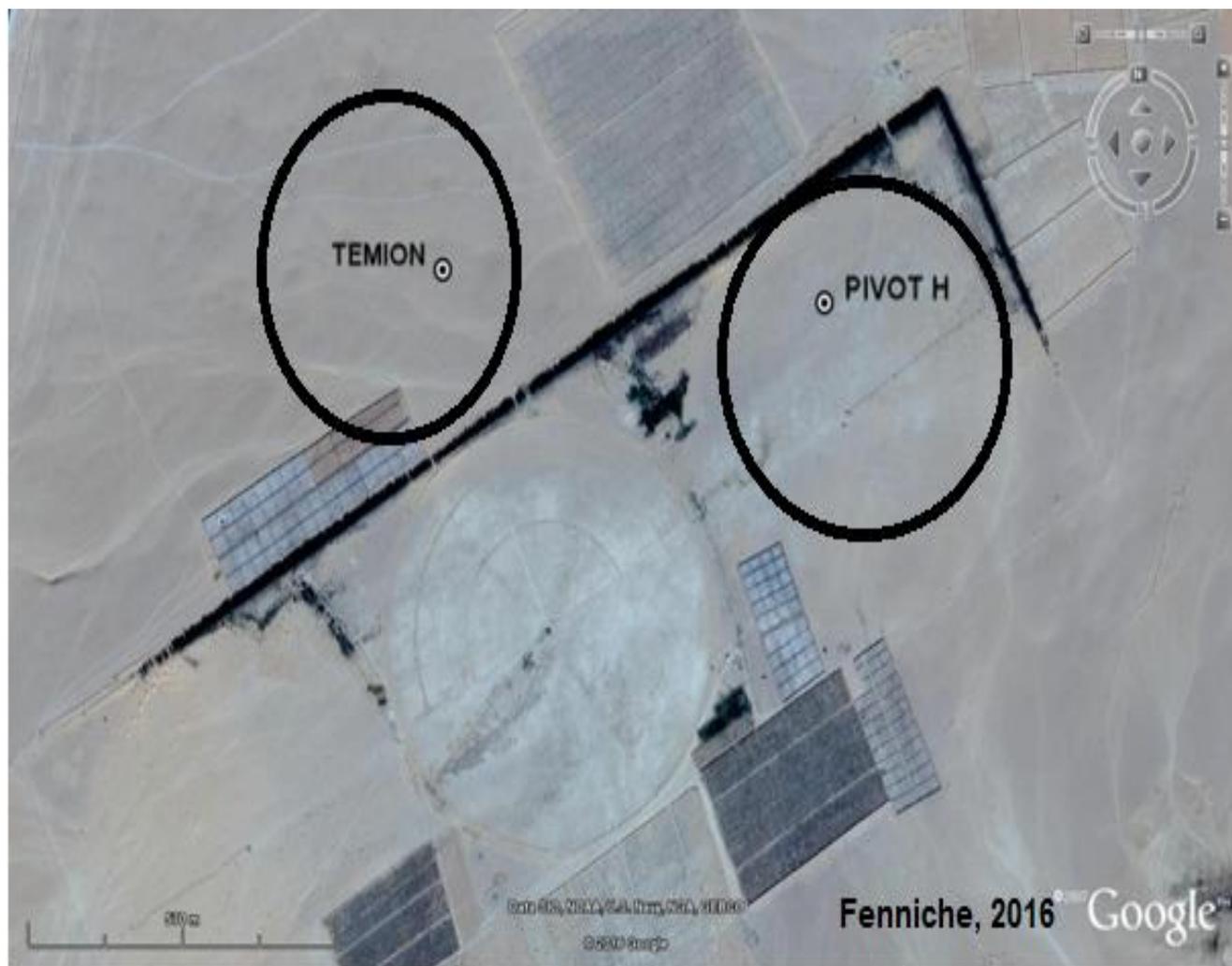


Figure 11 : Localisation des parcelles étudiées (Google Earth, 2016 modifié).

Chapitre III

Méthodologie de travail

Chapitre III. Méthodologie de travail

La salinité constitue la teneur de tous les sels solubles d'un sol ou d'une solution (BENZELLAT ; 2012). Elle 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 est indispensable afin de déterminer leurs aptitude à la mise en valeur et de prendre les précautions nécessaires en vue d'une bonne pratique d'irrigation et de drainage.

Plusieurs éléments visibles à l'œil nu ou après analyses permettent l'identification d'un sol atteint de salinité. La mesure de la salinité se fait :

- Par l'observation de la surface du terrain : la surface est blanche (couleur de cristaux), apparition de cercles de sel brisés au voisinage des plans d'eau, formation de points et de stries de couleur blanche sur le sol, même en l'absence de croûtes en surface, indiquent que la salinité est très élevée (BENZELLAT ; 2012).
- Par la présence de plantes indicatrices dites halophytes on obtient une idée de la quantité de sel du terrain. Ce dernier sur la base d'observations faites dans les sols salés des plaines sub-littorales d'Oriane, a déterminé une correspondance entre halophytes et plantes cultivées (BENZELLAT ; 2012).

Au laboratoire ou sur terrain, on peut estimer le degré de salinité par la détermination de la conductivité électrique d'un extrait du sol ou de l'eau d'irrigation. Cette méthode est plus rapide que la précédente sera adoptée pour l'analyse. En outre, d'autres critères permettent de faire l'évaluation de la salinité tels que : la sodicité (S. A. R), le taux de sodium échangeable (E. S. P) et le pH (BENZELLAT ; 2012).

I. 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 cultivée 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 (20 ans) et de comparé les valeurs mesurée des caractéristique 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.

Nous avons sélectionné le site dans la ferme de HOUTIA situé à HASSI EL F'HEL pour le déroulement de notre travail expérimental.

Le choix de la ferme de HOUTIA est fait pour les raisons suivantes :

- L'hétérogénéité dans le nombre d'année de culture, ce qui est recherché pour estimer l'évolution annuelle des paramètres a étudiés.
- La pratique de la culture céréalière intensive.
- L'irrigation des champs de la céréale par des centres pivots, ce qui signifie une quantité d'eau très importante.
- L'existence d'une parcelle non cultivée (témoin).
- Les facilités rencontrées par le propriétaire de la ferme

II. Choix de la parcelle d'étude

Nous avons sélectionné deux parcelles irriguées par pivot. Ces dernières couvrent une superficie de 32 ha et qui ont été un exploité pendant 20ans en céréaliculture sous pivot. Et une autre parcelle non cultivée (témoin).



Figure 12. Parcelle non cultivée.



Figure 13. Parcelle cultivée (sous pivot).

II.1. Travail du sol

Pour un meilleur rendement, la préparation du sol est nécessaire, à partir du labour par des instruments selon la texture du sol. En raison d'ameublir le sol en profondeur, faciliter le lessivage des sels et l'incorporation de la fumure de fond.

Le travail du sol dans la parcelle d'étude s'étale du 1^{er} au 20 Octobre, le passage des outils tel que la charrue à disque s'effectue pour l'enfouissement d'engrais. La profondeur de labour est de 10 cm. Il est suivi par des cultivateurs à socs et cultivateur à dents. La récolte s'effectue à l'aide d'une Moissonneuse-batteuse.

II.2. Semis

Pour le semis il faut prendre en considération les variétés utilisées, dont les semences à une faculté germinative doit être supérieur à 90 % pour blé et entre 95 % et 98 % pour l'orge, la dose et la densité est en fonction du poids, de la variété, de la teneur de sol et de l'eau en sels (DSA, 2013 in HAMEL, 2015).

Dans la parcelle d'étude le semis s'effectue en Octobre avec une dose qui varie selon les variétés utilisées et une profondeur de semis de l'ordre de 7 cm.

II.3. Fertilisation

Dans la parcelle d'étude, la fertilisation s'effectue par les engrais de fond (TSP 46 % à une dose de 2 qtx/ha), les complémentaires (potassium, NPK), les amendements azotée (urée 46% à une dose de 4 qtx/ha) et les oligo-éléments. L'amendement est réalisé juste avant le semis.

II.4. Irrigation

Une pré-irrigation est appliquée pendant une semaine à raison de 500 à 600 mm/ha, elle a pour but :

- ✓ Une levée rapide et homogène de la culture.
- ✓ Faire germer les repousses de la culture précédente et les mauvaises herbes.
- ✓ Faciliter les travaux du sol, le semis et la germination.
- ✓ Un lessivage éventuel de sels présents dans le profil au moment de la germination.

L'irrigation est appliquée en fonction du stade végétatif et la vitesse du pivot.

III. Expérimentation

III.1. Matériels d'étude

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

III.1.1. Au terrain

- Piquets
- Cordes
- Tarières pédologiques
- Appareil de niveau
- GPS
- Décamètres

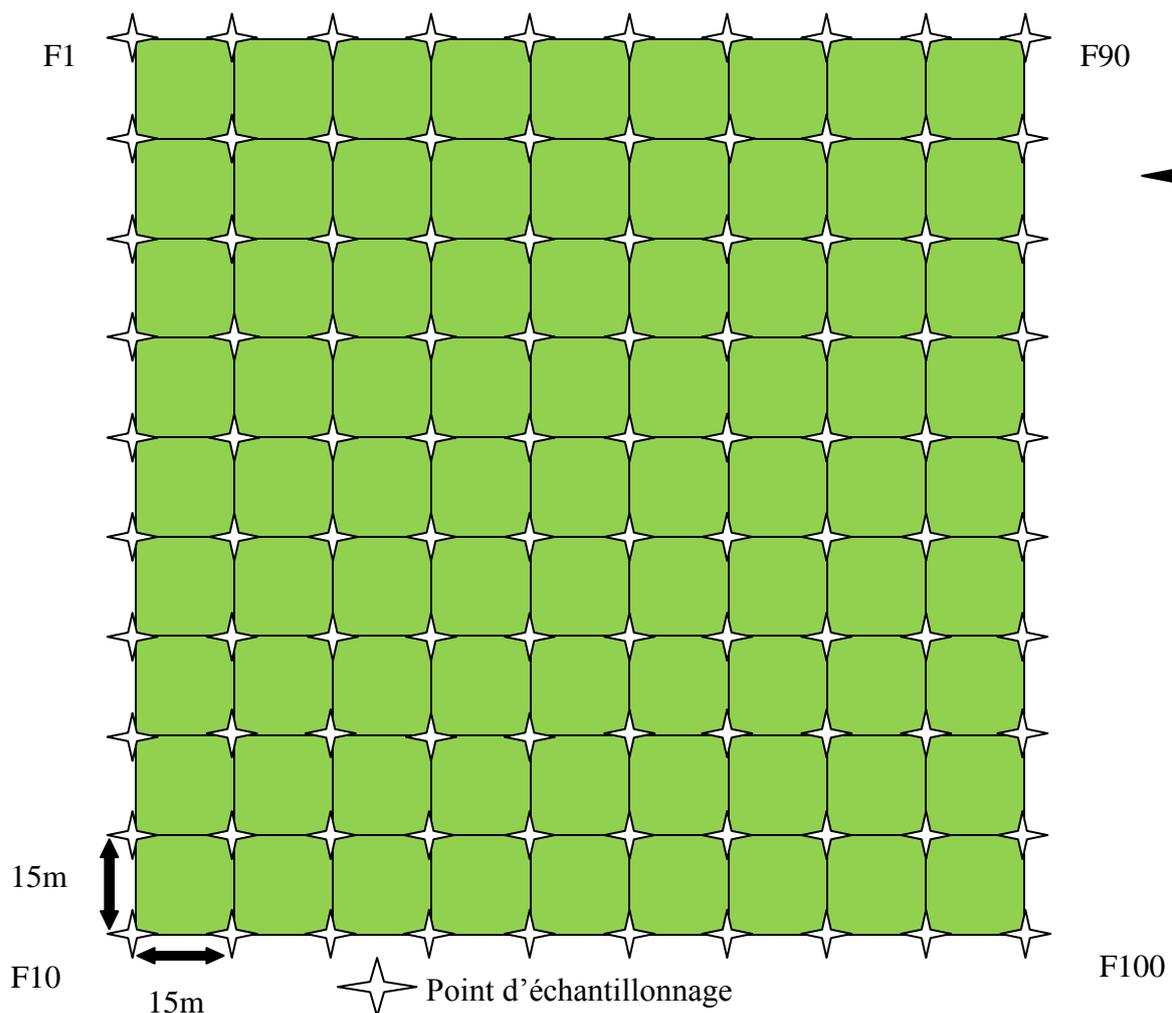
III.1.2. Au laboratoire

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

III.2. Sur terrain (Echantillonnage)

Pour déduire l'effet de l'irrigation et l'intensification agricole sur propriétés du sol (le taux de calcaire total) nous avons choisie dans notre étude l'approche méthodologique qui permet de caractériser les sols a partir des valeurs mesurées du certains paramètres.

Le sol de la parcelle irriguée par pivot est échantillonné à la pioche sous une profondeur entre 0-15 cm. Les échantillons sont prélevés selon un maillage systématique de 15m x 15 m (Fig.1). Le même plan d'échantillonnage est appliqué dans une parcelle non cultivée (témoin).



III.3. Analyse au laboratoire

Les échantillons prélevés sont séchés à l'air libre puis tamisés à 2 mm. Toutes les analyses ont été réalisées au laboratoire de géologie à l'Université de Ghardaïa.

IV. Analyse de sol

IV.1. Mesure de la conductivité électrique

IV.1.1. Principe

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

Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance inverse que les concentrations en cation et anions, porteurs de charges électriques, augmentent (MATHIEU *et al.*, 2009).

En science du sol, la conductivité électrique (CE) est exprimée en mmho.cm^{-1} ou dS.m^{-1} à une température de 25°C . Là CE est la conductance mesurée dans des conditions spécifiées entre les faces opposées d'un cube unité matérialisé par une cellule conductimétrique composée de deux électrodes de 1 cm^2 de surface à une distance de 1 cm (MATHIEU *et al.*, 2009).

IV.1.2. Mesure

- Peser 10g de terre dans un bécher.
- Ajouter 50ml de solution d'eau déminéralisée.
- Agiter durant quelques minutes.
- Plonger l'électrode dans le liquide et effectuer la mesure.
- Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.
- Noter les valeurs à la décimale près

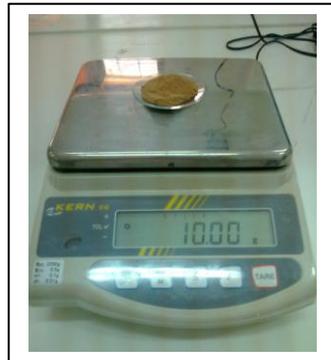
IV.2. Mesure du pH

IV.2.1. Principe

Le principe de la méthode consiste à rechercher la concentration en ions d'une solution inconnue en mesurant la différence électrique entre cette solution et une solution où la concentration en ions est connue (MATHIEU *et al.*, 2009).

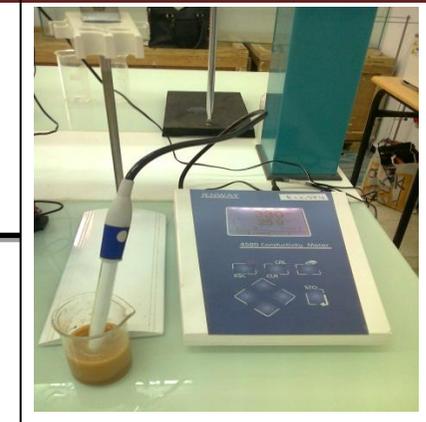
IV.2.2. Mesure

- Peser 10g de terre dans un bécher.
- Ajouter 50ml de solution d'eau déminéralisée.
- Agiter durant quelques minutes.
- Plonger l'électrode dans le liquide et effectuer la mesure.
- Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.
- Noter les valeurs à la décimale près.



Peser avec
précision 10g du
sol

↓
Ajouter 50ml d'eau
deminéralisée



Agiter durant 2 minutes

Plonger l'électrode et noter la valeur du pH.

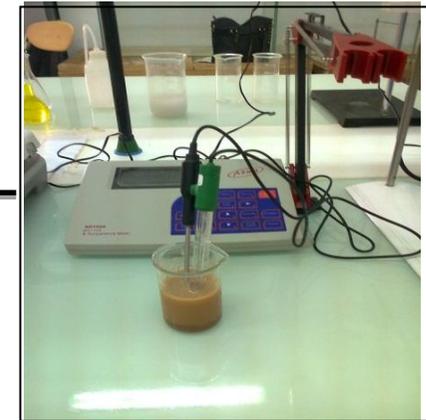


Peser avec
précision 10g du
sol

↓
Ajouter 50ml d'eau
deminéralisée



Agiter durant 2 minutes



Plonger l'électrode et noter la valeur de CE.

Figure 14. Analyses du pH et de la conductivité électrique

V. Analyses statistiques

V.1. Variation annuelle des paramètres étudiés

Le nombre d'années depuis la mise en culture intensive sous irrigation est variable, un indicateur normalisé de variation de la qualité des sols est utilisé. Il s'agit du taux de variation annuelle de chaque propriété du sol dont la forme générale est la suivante (BADRAOUI et al. 1998).

$$\text{TVA-qi} = (\text{qit2} - \text{qit1}) / (\text{t2-t1})$$

Avec :

- qit1 : la valeur moyenne de la propriété qi au début de l'irrigation
- qit2 : la valeur moyenne de la propriété qi après un certain nombre d'années ($t_2 - t_1$) d'irrigation

V.2. Statistiques descriptives

Cet outil d'analyse génère un rapport de statistique 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 (ODOUX, 1984 ; VOLTZ, 1986 in DAHMEN, 2014).

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

V.3. Coefficient de variation

Le coefficient de variation est obtenu par le rapport entre l'écart type (σ) et la moyenne (m), a été utilisée pour comparer la variabilité des descripteurs (BECKETT et WEBSTER, 1971).

Le coefficient de variation représente le rapport de l'écart type à la moyenne, et il est une statistique utile pour comparer le degré de variation par rapport à une série de données à l'autre, même si les moyennes sont considérablement différentes l'une de l'autre (BECKETT et WEBSTER, 1971 in DAREM ; 2013)

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

Cinq (5) 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.03).

Tableau 06 : 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

VI. Modélisation géostatistique

Le mot géostatistique est un néologisme forgé à l'école de Mines. La géostatistique est née des problèmes rencontrés dans le secteur de la mine : contrôle des teneurs, optimisation de maille, cartographie des ressources, prévision des réserves récupérables, étude de scénarios d'exploitation...etc. (GASCULEL et *al.*, 1991).

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).

VI.1. Variogramme expérimental

Le variogramme est un outil permettant de connaître la structure spatiale d'une variable donnée (AZZOUG, 1993 in DAREM, 2013).

Le problème consiste à rechercher une fonction caractéristique de la structure de la variable étudiée à partir de l'analyse du variogramme. Si l'hypothèse de stationnarité ne peut être posée,

L'utilisation du variogramme est recommandée, car elle suppose seulement que les accroissements ($Z(x) - Z(x + h)$) sont stationnaires.

- Z : est une constante quelle que soit la proposition x (AZZOUG, 1993 in DAREM, 2013).

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 in GABANI, 2013).

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, 1997).

VI.2. Réalisation des cartes thématiques

Les cartes thématiques de différents paramètres étudiés sont tracées par le logiciel SURFER 9 afin de mettre en évidence la répartition spatiale des paramètres étudiés.

Le SURFER est un programme servant à la réalisation des présentations graphiques en deux et trois dimensions. Il peut convertir toutes informations numériques où data en représentation graphique « out standing contour », image, surface,... dont tous les aspects virtuels peuvent être personnalisées pour produire exactement la représentation qu'on veut réaliser (DAREM, 2013).

VI.3. Krigeage

Le terme de Krigeage désigne un ensemble de méthodes d'interpolation linéaire basées sur l'expression de la dépendance spatiale par le semi-variogramme. Les deux types de Krigeage les plus communs sont le Krigeage ponctuel et le Krigeage par blocs (BURGESS et WEBSTER, 1980).

Le Krigeage est la méthode optimale, au sens statistique du terme d'estimation. Le Krigeage porte le nom de son précurseur, l'ingénieur minier sud-africain KRIGE. Dans les années 60, KRIGE a développé une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. Dix ans plus tard, Gorges MATHERON développa un outil pour analyser la continuité spatiale des teneurs appelé le «variogramme» et une méthode d'estimation

basée sur le variogramme appelé «Krigeage». Aujourd'hui, la géostatistique s'exprime dans des champs d'applications comme l'océanographie, la météorologie, le génie civil, l'environnement, la géologie, la qualité de l'air et des sols, la santé, etc.(BURGESS et WEBSTER, 1980).

Le Krigeage ponctuel correspond à l'estimation de la valeur d'une variable en un point non échantillonné, le Krigeage par blocs estimant la valeur moyenne de cette variable sur une surface déterminée. Dans les deux cas, on procède à l'interpolation linéaire de la variable étudiée Z en un point où aucune mesure n'a été réalisée. Un certain nombre de points échantillonnés sont utilisés dans le calcul de la valeur estimée et le poids alloué à chaque point est une fonction de la distance le séparant du site où l'estimation est faite. Cette fonction est reliée à la structure spatiale par l'intermédiaire du semi-variogramme (WEBSTER, 1985 ; WEBSTER et OLIVER, 1990).

Le Krigeage utilise le variogramme pour assigner les poids aux points d'observation pendant le processus d'interpolation (MARCOTTE, 2003 in OUELD BELKHEIR, 2013 in DAREM, 2013).

La variabilité spatiale des sols reste pourtant généralement mal connue : une grande partie des sols du monde n'a encore fait l'objet d'aucune cartographie détaillée.

Plus généralement, l'utilisation agricole des sols et son impact sur l'environnement dépendent de la variabilité spatiale de la couverture pédologique et des moyens dès l'en adapter ou d'en tenir compte (GIRAD et MATHIEU, 2011, in DAHMAN).

Troisième partie

Résultats et discussion

Chapitre IV

Résultats et discussion

Chapitre V. Résultats et discussion

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, 1970).

I. Caractéristiques de l'eau d'irrigation dans la parcelle d'étude

Les analyses de l'eau d'irrigation dans le site d'étude qui appartient d'une nappe albienne ont montrés que leur conductivité électrique (CE) est de valeur 1.39 dS/m à 31.4°C et le pH à une valeur de 8.52.

Ce qui signifié que la nature des eaux selon la classification de Riverside modifier par DURAND (1958), est moyennement saline (Classe2 ; CE à 25 °C, comprise entre 0,25dS et 0,75 dS: eau à salinité moyenne, utilisables avec un léger lessivage).

II. Qualité du sol dans la parcelle d'étude

Pour évaluer la qualité du 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.

III. Etude de la variabilité spatiale de la salinité du sol

III.1. Résultats analytiques de la salinité du sol

L'analyse statistique consiste essentiellement à la détermination de la loi de distribution des variables non uniforme et homogènes et de leurs principaux paramètres statistiques, à savoir la moyenne, l'écart type et le coefficient de variation (ODOUX, 1984 et VOLTZ, 1986 in HAMOUNI, 2006).

Tableau 07. Statistiques descriptives de la salinité dans le site étudié

	CE à 25°C (dS/m)	
	Témoin	Pivot
Moyenne	0,10	0,13
Minimum	0,04	0,06
Maximum	0,42	0,46
Ecart-type	0,07	0,08
CV %	75,18	61,69

Les résultats d'analyses des 200 échantillons prélevés de l'horizon de surface sur une profondeur de 0 à 30 cm, selon un maillage systématique de 15mx15m dans deux parcelles l'une cultivée et l'autre non cultivée prise comme témoin, ont montrés que la moyenne de la salinité est de $0,10 \pm 0,08$ dS/m dans la parcelle non cultivée et de $0,13 \pm 0,07$ dS/m dans la parcelle cultivée, ce qui indique que le sol est non salé dans les deux parcelles.

III.2. Evolution de la salinité du sol

L'analyse en boîtes à moustaches (Fig19.) montre une augmentation de la salinité du sol dans la parcelle cultivée par rapport au témoin, le TVA étant de l'ordre de 0.001 ± 0.006 %dS/m/an. L'analyse de Test Student a révélé que cette augmentation est significative ($P= 0,017$; S.). (Voire annexe)

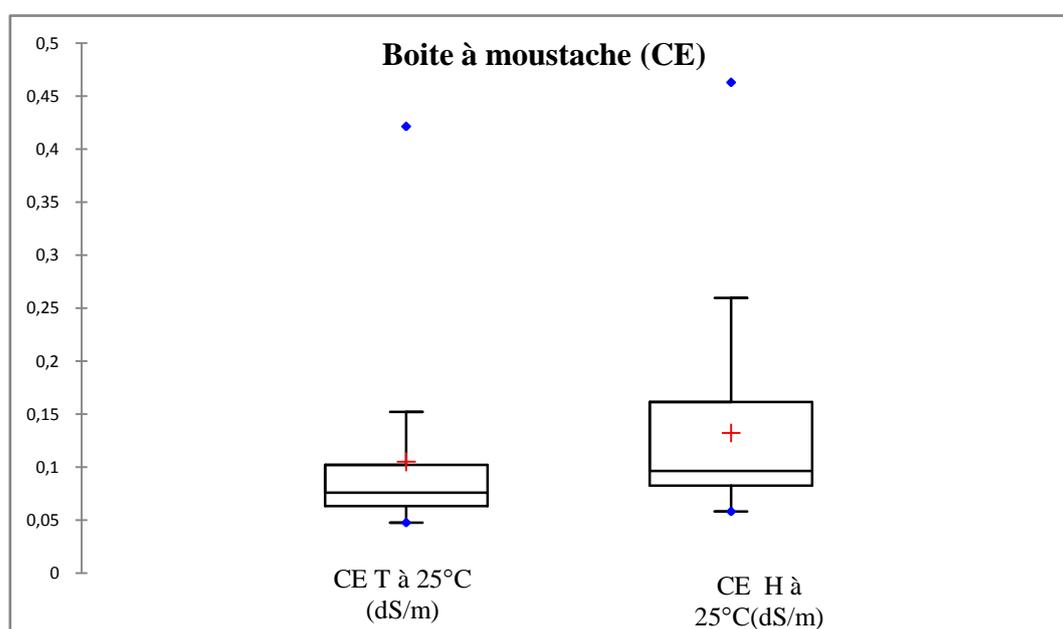


Figure 15. Boîte à moustaches de la variation salinité dans le site d'étude

III.3. Analyse variographique

III.3.1. Dans Parcelle non cultivée (témoin)

D'après la figure (20), 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 pépétique de 0.005 et caractérisé par une pente égale à 0,00003.

Ce variogramme prend huit points essentiels à des valeurs successivement 15m, 22m, 30m, 43m, 45m, 48m, 60m et 63m. La variation spatiale de la CE dépend de la distance entre les échantillons dans un intervalle de 15-63m. Au-delà de 63m, la variation de la salinité du sol dans la parcelle témoin est indépendante de la distance entre les échantillons. (MARYSE PROVENCHER, 2003)

La modélisation géostatistique a montré, à partir des variogrammes expérimentaux la validité et la fiabilité du pas d'échantillonnage choisi pour l'étude de la salinité dans la parcelle non cultivée.

On peut estimer l'équation de cette interpolation comme suit :

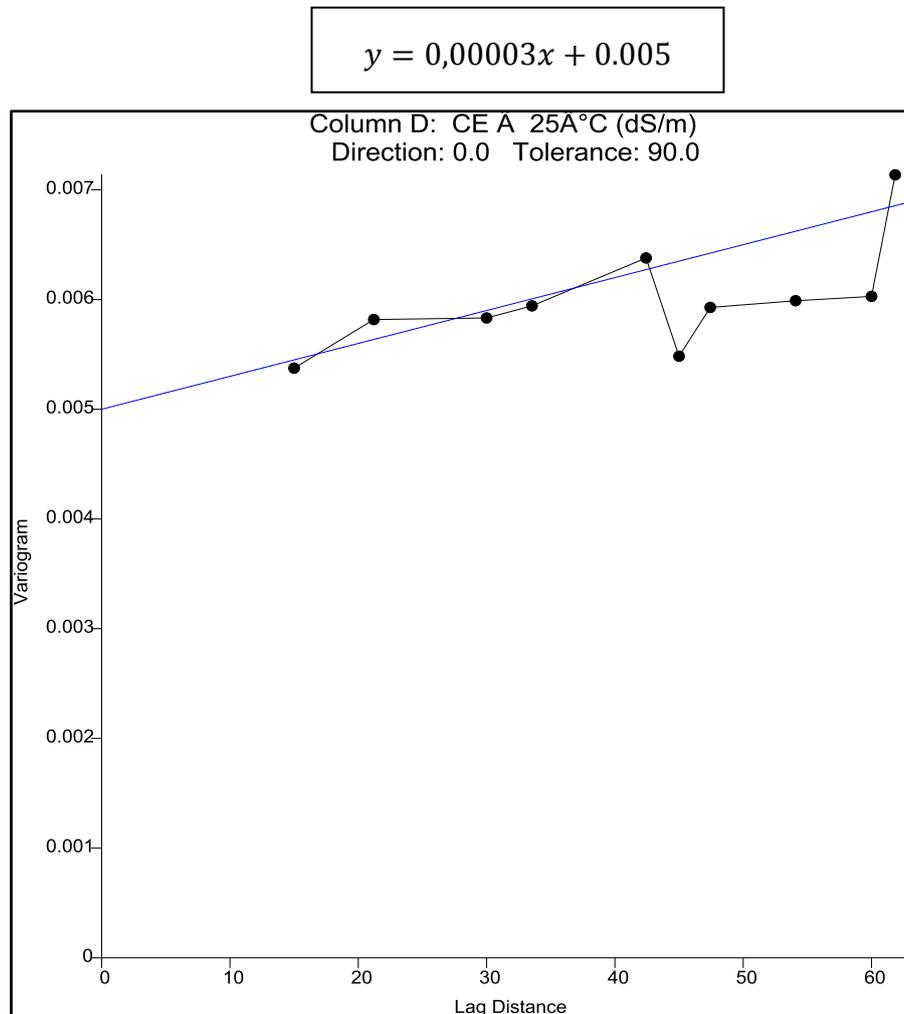


Figure 16. Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle non cultivée (témoin).

III.3.2. Dans Parcelle cultivée

La figure (21) laisse apparaître que le variogramme expérimental s'ajuste au modèle linéaire qui explique les variations spatiales de la salinité du sol dans la parcelle cultivée avec un effet de pépétique 0.004 et caractérisé par une pente égale à 0,00005.

Nous observons que la variation spatiale de la CE progresse avec la distance entre les points 15 m jusqu'à 22 m, ensuite elle s'abaisse jusqu'à 30m, puis remonte jusqu'à 34m puis il diminue jusqu'à 45 m

ensuit encore va augmenter à une distance de 54 m et rabaisse à une distance de 60 m et enfin augmente jusqu'à 63m. Au-delà des 63 m la distance n'a pas d'impact sur la variation spatiale de la salinité

La modélisation géostatistique a montré, à partir du variogramme expérimental la validité et la fiabilité du pas d'échantillonnage choisi pour l'étude de la salinité dans la parcelle cultivée.

On peut estimer l'équation de cette interpolation comme suit :

$$y = 0,00005x + 0.004$$

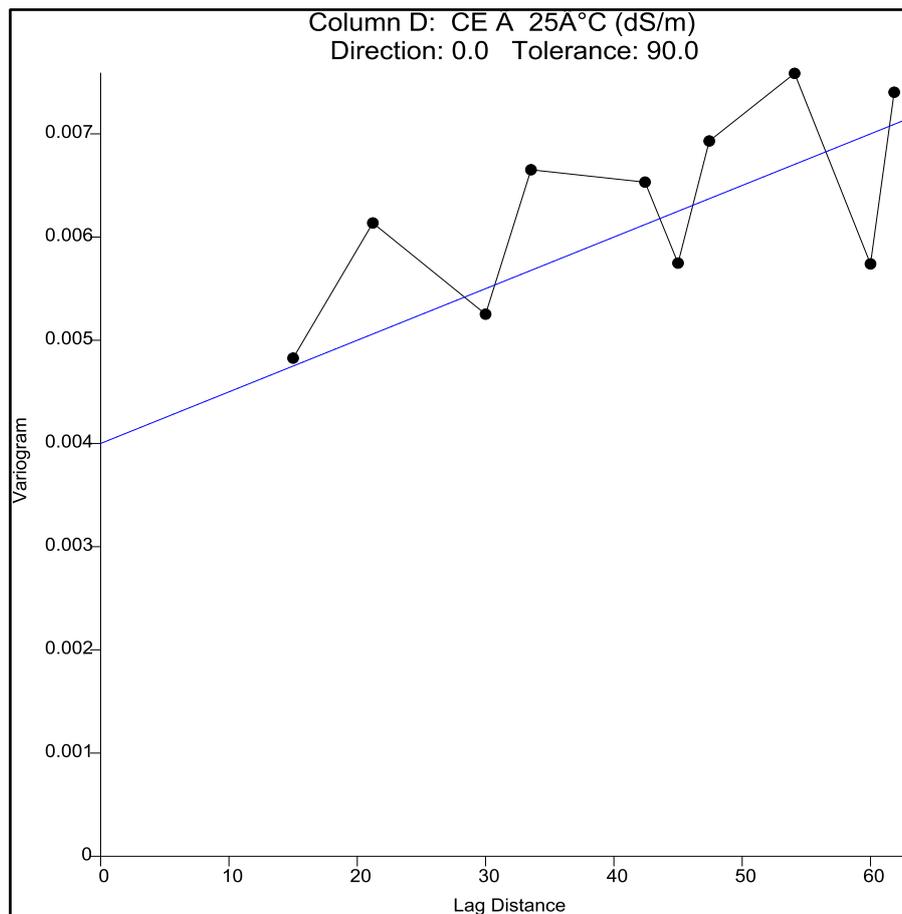


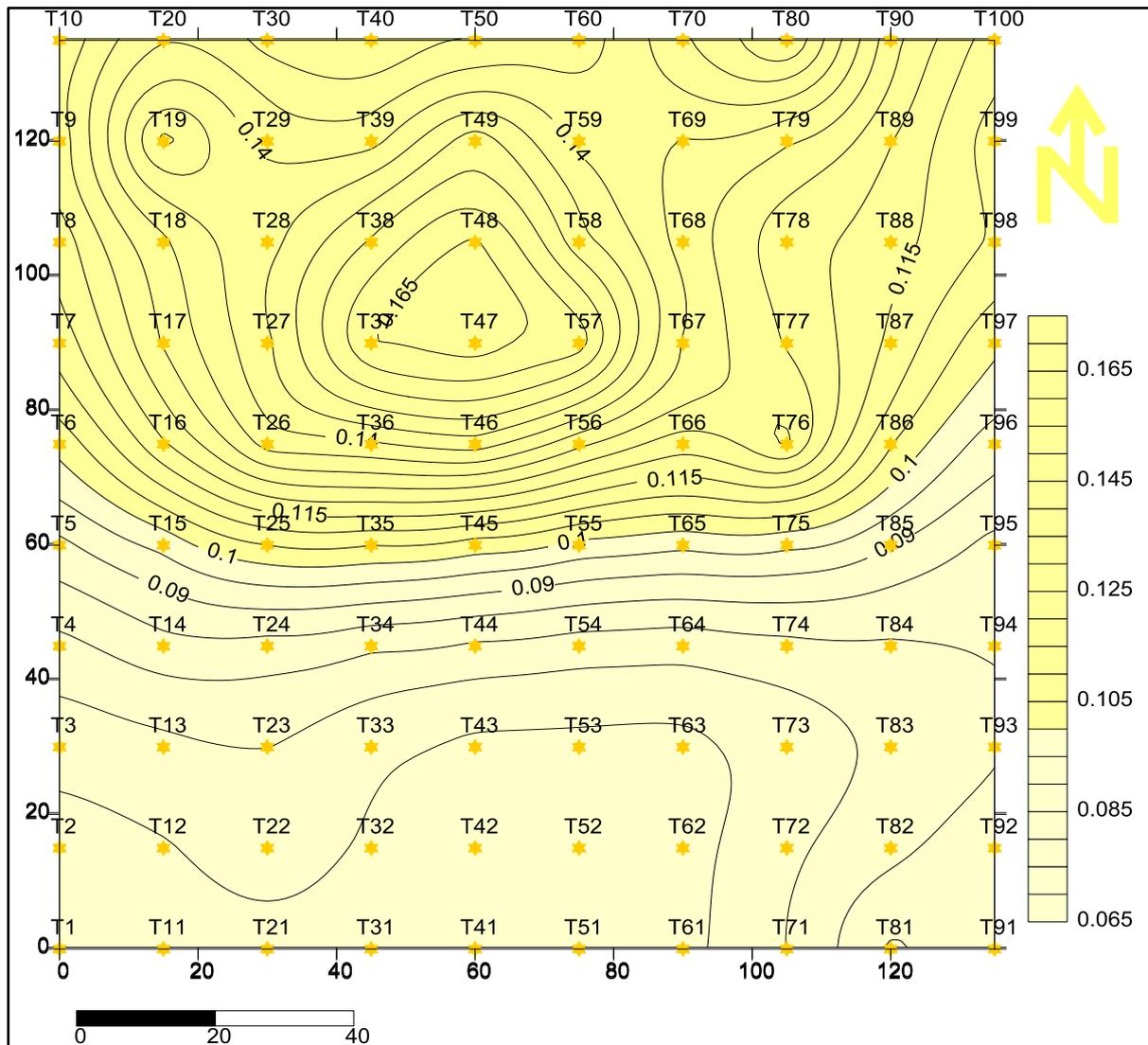
Figure 17. Variogramme de la salinité du sol dans la parcelle cultivée

III.4. Réalisation des cartes thématiques

III.4.1. Dans la parcelle non cultivée (témoin)

La carte (01) montre que la variation spatiale de la salinité dans la parcelle non cultivée, avec un coefficient de variation très élevée (75,18%), on observe que la variation de la salinité dans cette parcelle s'étale sur deux classes. la classe la plus concentrée est représentée à partir du centre

jusqu'au nord. Les valeurs sont comprises entre 0.065dS/m à 25°C et 0.165dS/m à 25°C avec une valeur maximale au point T80 égale à 0.42 dS/m à 25°C.

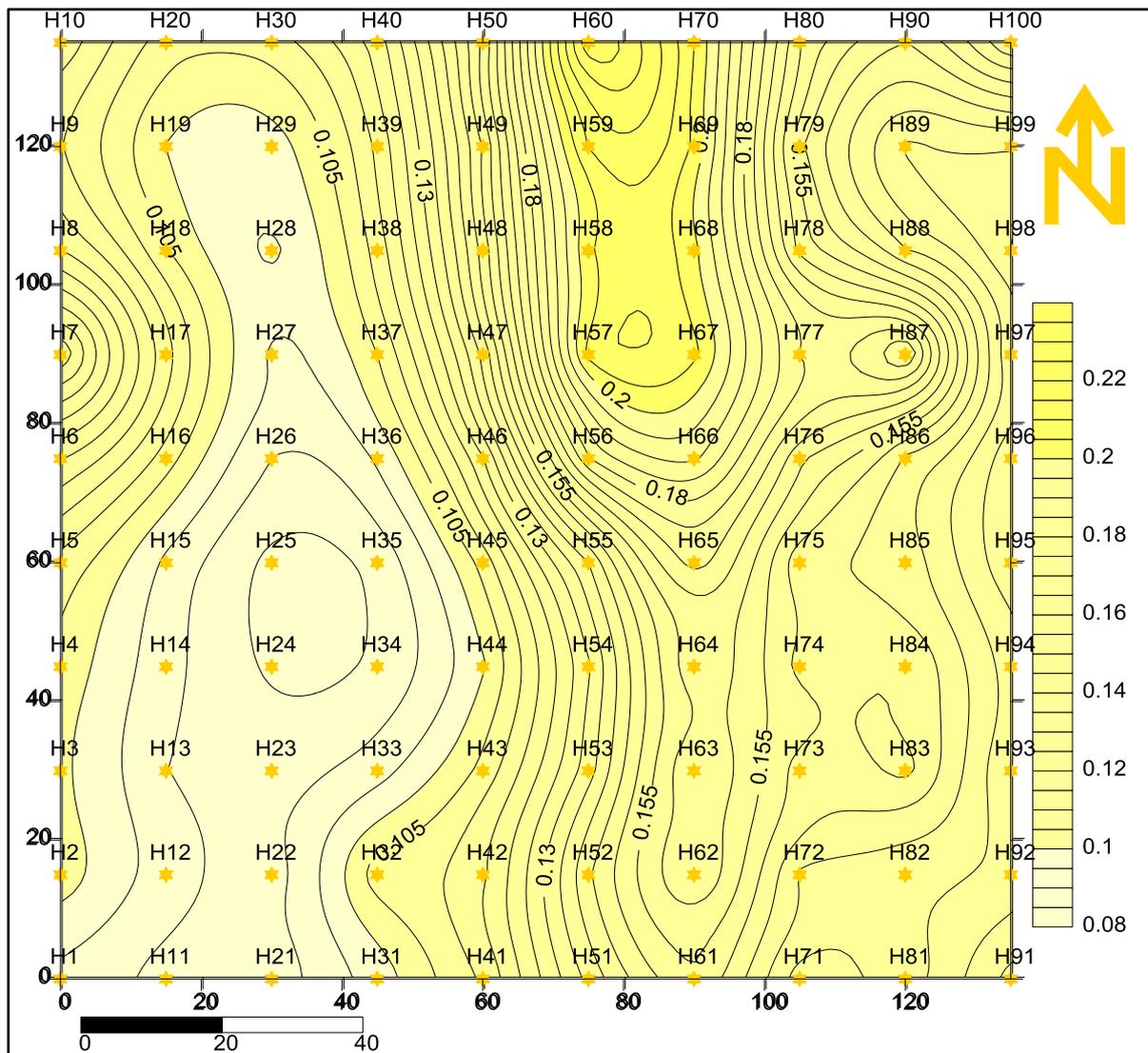


Carte 05 : Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle témoin

III.4.2. Dans la parcelle cultivée

A partir de la carte thématique, On note que la teneur de la salinité du sol de la parcelle non cultivée est représentée par trois intervalles; le premier oscille entre 0.08 et 0.1, et le deuxième entre 0.1- 0.2 tandis que le Troisième de 0.2 jusqu'à 0.22.

La variation spatiale de CE est très élevée dans cette parcelle avec un coefficient de variation de 61,69%.



Carte 06 : Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle cultivée

III.5. Discussions

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

L'étude de la variation spatiale de la salinité du sol exprimée par la conductivité électrique dans la région de Hassi El F'hela a révélé que la moyenne de la salinité du sol est égale $0,10 \pm 0,08$ dS/m dans la parcelle non cultivée et $0,13 \pm 0,08$ dS/m dans la parcelle cultivée, qui indique que le sol est non salé. Cela est dû à l'action de l'irrigation qui provoque la lixiviation des sels (AUBERT, 1975 ; SERVANT, 1998 ; DAOUD et HALITIM, 1994).

L'analyse combinée du taux de variation annuelle et des boîtes à moustaches a montré une augmentation de la salinité du sol dans la parcelle cultivée par rapport au témoin de l'ordre de

0.001±0.006 dS/m/an. Test student a prouvé que cette augmentation est significative (P= 0,017 ; S.).Cela est due principalement à l'action de l'irrigation continue par une eau à salinité moyenne appartenant à la classe C2 (C.E. de l'eau d'irrigation de 1.39 dS/m), cette eau est utilisable pour l'irrigation avec un léger lessivage (DURAND, 1958). Cela a provoqué l'augmentation du stock en sels solubles dans le sol (SIMONNEAU et AUBERT, 1963 ; AUBERT, 1975 ; HULLIN, 1983 ; BOIVIN et al, 1989; DAOUD et HALITIM, 1994 ; CHERVERRY et ROBERT, 1998 ; CONDOM, 2000, BENBRAHIM, 2001 ; BENBRAHIM, 2006), sachant que l'effet des engrais (utilisé dans l'exploitation) sur la salinité du sol est négligeable à celui de l'eau d'irrigation surtout avec l'utilisation du TSP 46% et l'urée 46 % qui d'après MOUGHLI (2000) ont un effet négligeable sur la salinité du sol.

La formation d'un sol salin résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (CHURCHMAN et AL. 1993, NAIDU et RENGASAMY 1993, SUMNER 1993, KEREN 2000, LEVY 2000, BENBRAHIM, 2001, BRADY et WEIL 2002, ESSINGTON 2004, BENBRAHIM, 2006).

FRANÇOIS (2008), a actualisé la définition de la salinisation comme étant un phénomène par lequel un sol devient sur-salé. La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride, excèdent beaucoup l'infiltration et donc le lessivage.

La pratique actuelle de l'irrigation est totalement empirique ; elle engendre une salinisation secondaire intense des terres (BENBRAHIM, 2006 ; FARROKHI, 2008).

L'analyse variographique par l'ajustement des variogrammes expérimentaux, à montré que l'efficacité du « pas » d'échantillonnage choisi, sachant que la variabilité spatiale de la salinité est dépendante de la distance parcourue jusqu'à 63m; au-delà de cette distance, les valeurs des paramètres étudiés sont indépendantes.

L'analyse de la répartition spatiale de la salinité montre une variation très élevée dans les deux parcelles avec un coefficient de variation de 75,18% dans la parcelle non cultivée et de 61,69% dans la parcelle cultivée. Cela peut être lié à une mauvaise répartition de l'eau d'irrigation à la surface du sol, suite à l'impact des vents, sachant que la protection des champs cultivée est faible et se limitait à une protection naturelle par des Garas d'un seul côté. En ce qui concerne l'étude précédente dans la même région dans une autre ferme agricole (CHENINI.2013), on a observé une diminution du coefficient de variation de la salinité. Cela est due d'une part à la diminution de la salinité et d'autre part à la redistribution de la salinité, Selon NOLIN et al. (1991) et WALTER et al. (2002), ont signalés qu'il y a une réduction de coefficient de variation, ce qui est due dans ce site à la bonne protection des parcelles

contre le vent et à la présence de la semelle de labour dans la parcelle cultivée qui a pour effet d'assurer une bonne distribution de l'eau d'irrigation à la surface du sol et par conséquent réduire la variabilité de la salinité.

Nous avons enregistré une augmentation hautement significative de la salinité après 20 compagnes d'irrigation, ce qui est due à l'impact de l'irrigation avec une eau saline sur le sol. Cela à été montré par plusieurs travaux dans le Sahara Algérien et surtout sous irrigation par pivot (DURAND, 1983 ; DAOUD et HALITIM, 1994 ; BADRAOUI et al, 1998 ; DJILI et al, 2003, BENBRAHIM, 2006).

L'étude de CHENINI (2013), a révélé un résultat tout à fait contradictoire, sachant qu'elle à enregistré une diminution de la salinité après 04 compagnes d'irrigation. Ce qui à été justifier par la pratique du labour, qui favorise une bonne lixiviation des sels en profondeur, et par conséquent, la diminution de la salinité après irrigation.

Malgré l'augmentation hautement significative de la salinité du sol après mise en culture, le sol demeure non salé, ce qui n'affecte pas le rendement de la plupart des cultures (MAAS et HOFFMAN, 1977)

IV. Etude de la variabilité spatiale de la Réaction du sol

IV.1. Résultats analytiques de la réaction 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, 2006).

Tableau08. Statistiques descriptives de pH du sol dans le site étudié

	pH	
	Témoin	Pivot
Moyenne	8,81	8,19
Minimum	8,26	7,51
Maximum	9,20	9,18
Ecart-type	0,18	0,28
CV %	2,13	3,53

Les résultats obtenus montre que le sol analysé est modérément alcalin, avec une moyenne de $8,20 \pm 0,29$ dans la parcelle non cultivée et de $8,81 \pm 0,19$ dans la parcelle cultivée.

IV.2. Evolution de pH du sol

L'analyse en boîtes à moustaches (Fig22.), a révélé une diminution du pH dans la parcelle cultivée par rapport au témoin, le TVA étant de l'ordre de 0.031 ± 0.016 . L'analyse de Test student montre que cette diminution est très hautement significative ($P < 0,0001$, T.H.S.). (Voire annexe)

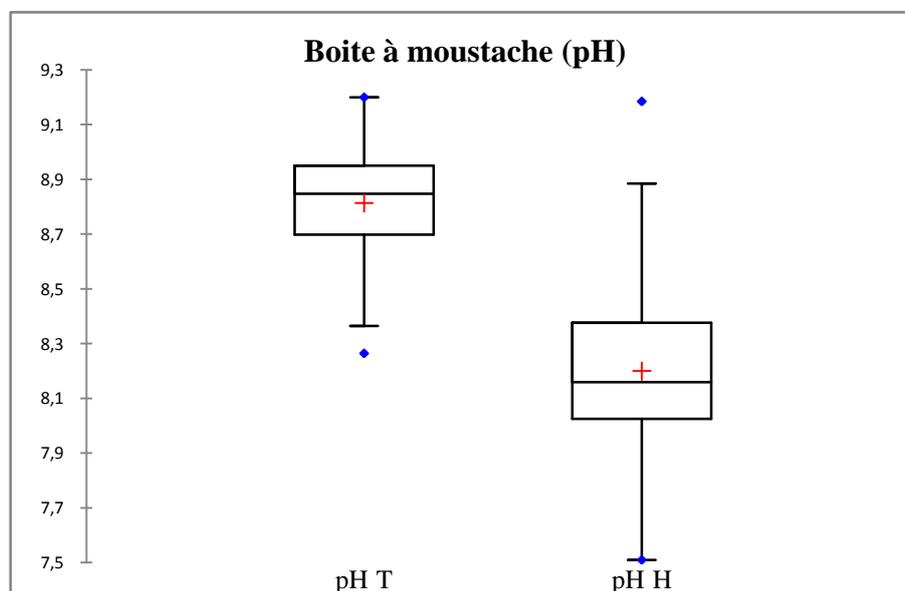


Figure 18. Boîte à moustaches de la variation de pH dans le site d'étude

IV.3. Analyse variographique

IV.3.1. Dans la parcelle non cultivé

Le variogramme expérimental du pH dans la parcelle témoin est ajusté à un modèle linéaire, avec un effet de pépite de 0.02 et caractérisé par une pente égale à 0,0003.

Dans notre cas, ce variogramme prend sept points essentiels à des valeurs successivement 15m, 22m, 34 m, 43m, 58m et 62m. La variation spatiale du pH dépend de la distance entre les échantillons dans un intervalle de 15-62m.

La modélisation géostatistique a montré, à partir des variogrammes expérimentaux la validité et la fiabilité du pas d'échantillonnage choisi pour l'étude du pH dans la parcelle non cultivée.

On peut estimer l'équation de cette interpolation comme suit :

$$y = 0.0003x + 0.02$$

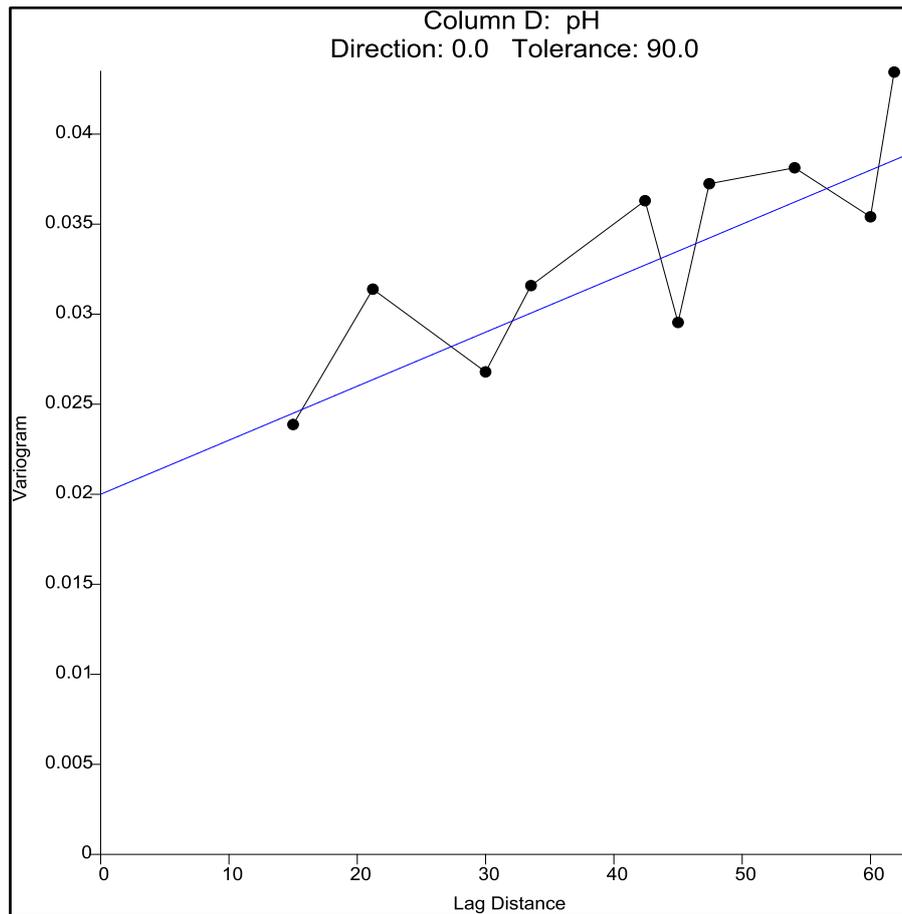


Figure 19: Variogramme de pH dans la parcelle non cultivée.

IV.3.2. Dans la parcelle cultivée

Le variogramme expérimental du pH de la parcelle cultivée suit un modèle linéaire, sa pente est de 0,005, et caractérisé par un effet de pépite 0.05. Les valeurs représentant une fluctuation entre huit points dont la valeur minimale est 15m et la valeur maximale atteint 62 m.

La modélisation géostatistique a montré, à partir des variogrammes expérimentaux la validité et la fiabilité du pas d'échantillonnage choisi pour l'étude du pH dans la parcelle cultivée.

On peut estimer l'équation de cette interpolation comme suit :

$$y = 0.005x + 0.05$$

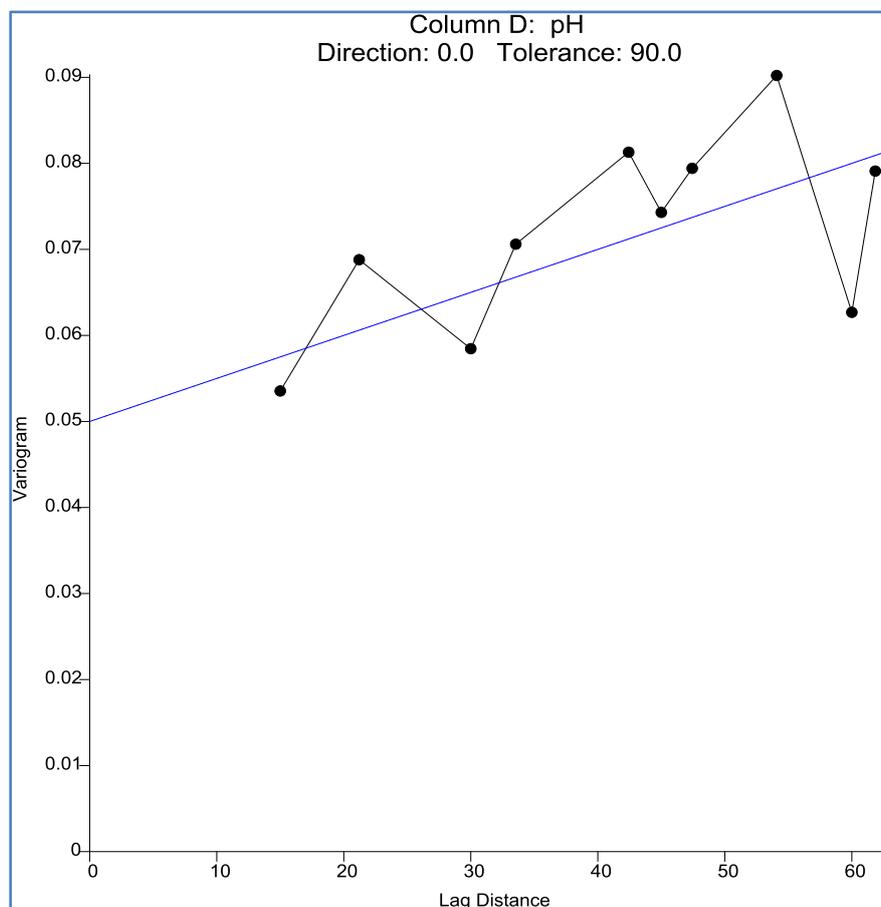


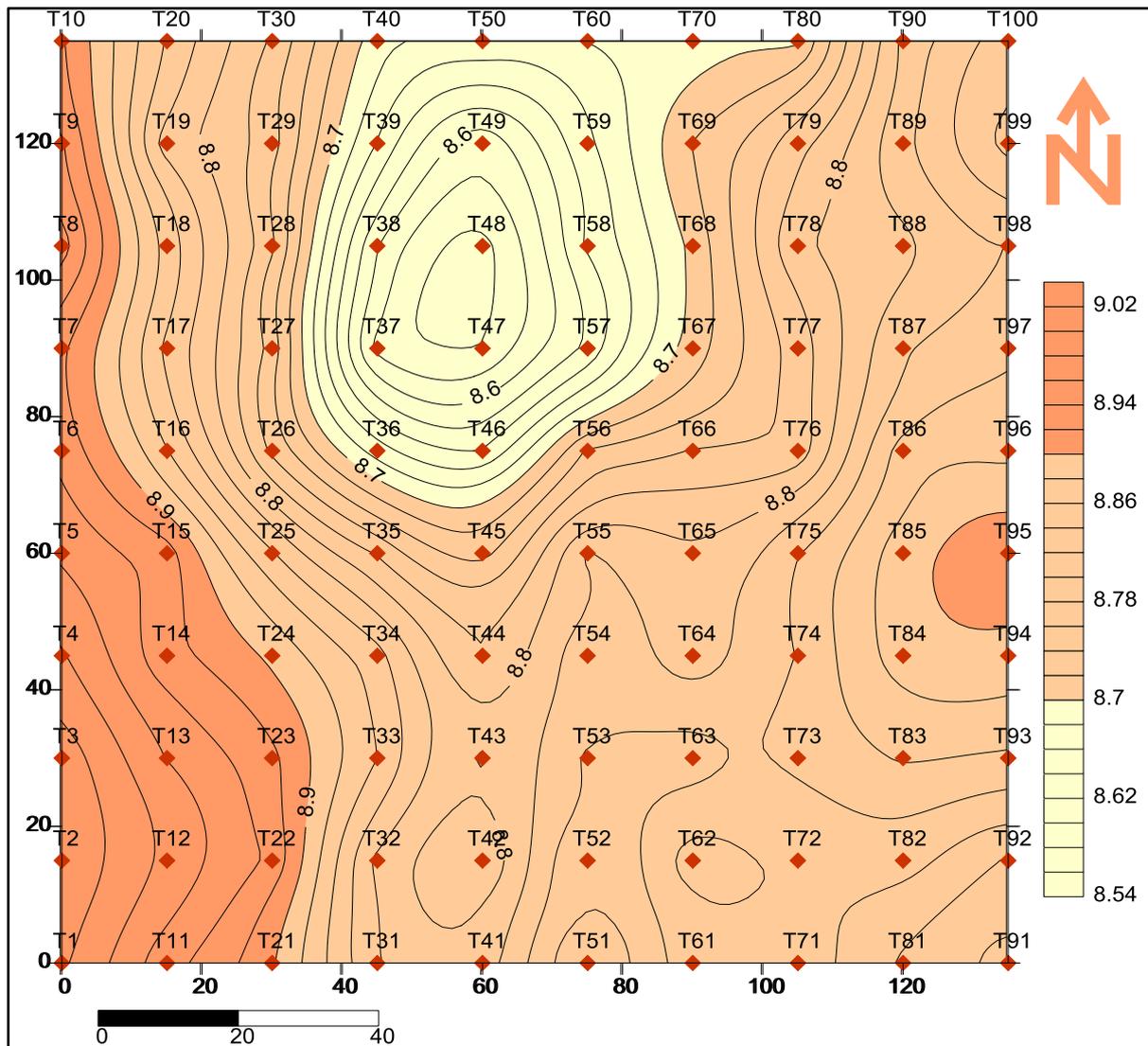
Figure 20: Variogramme de pH dans la parcelle cultivée.

IV.4. Réalisation des cartes thématiques

IV.4.1. Dans la parcelle non cultivé

La carte (03), illustre la distribution spatiale de pH du sol dans le la parcelle non cultivée. On observe que les valeurs les plus faibles de pH sont enregistrées dans le nord de la parcelle et concentre essentiellement au Sud-ouest de la Parcelle qui varie entre 8.54 et 9.02 le sol demeure alcalin.

La variation spatiale de PH dans la parcelle est faible avec un CV de 2,13%, le pH varie de modérément à fortement alcalin.

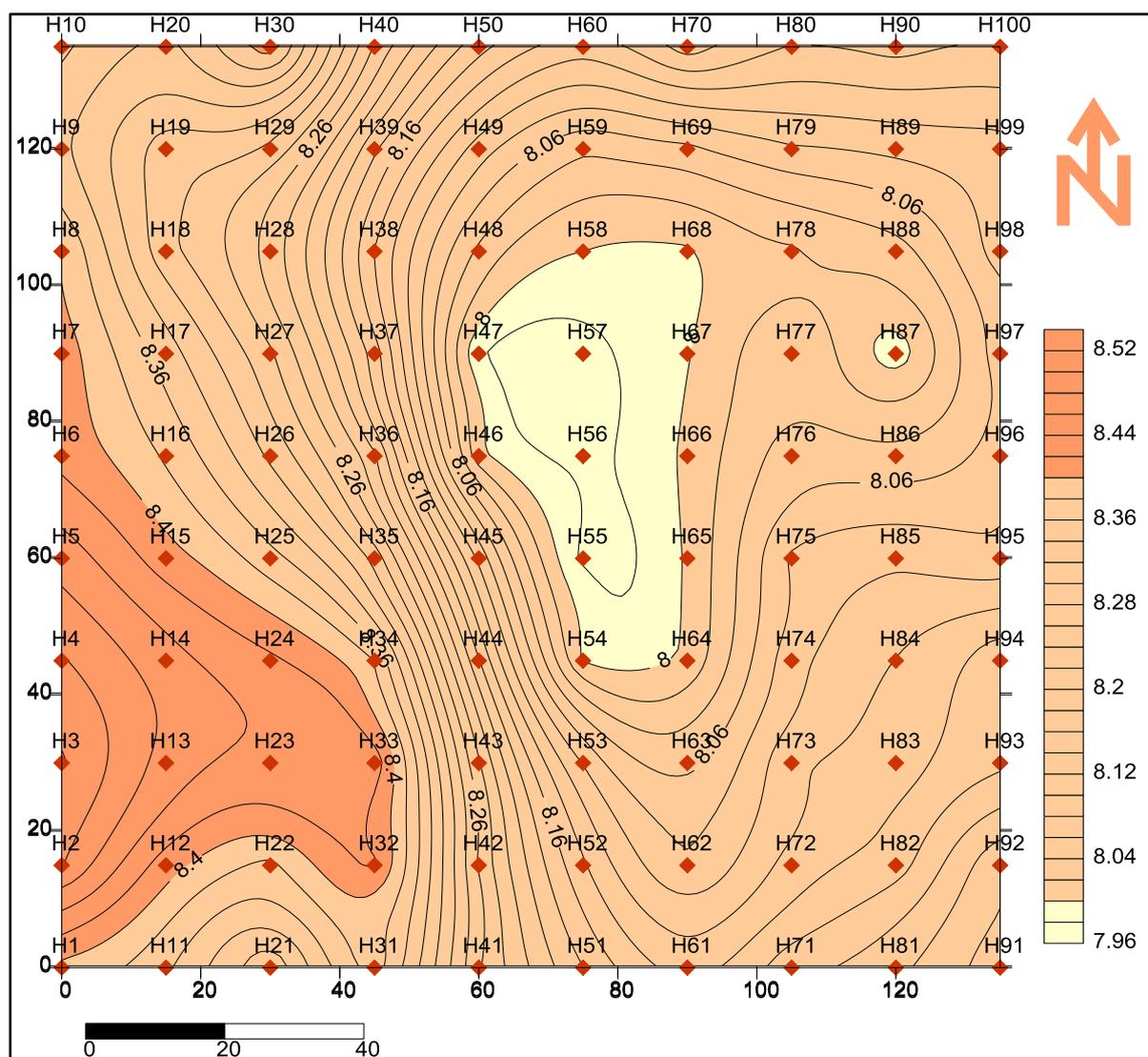


Carte 07 : Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée

IV.4.2. Dans la parcelle cultivée

Par ailleurs, on ne constate que les valeurs dans le centre de la parcelle cultivée qui varie entre 7.96 et 8.04. Les valeurs très alcalines sont situées au Sud-ouest de la parcelle.

A partir de la carte (04), On note que le taux de pH de la parcelle cultivée est représenté par trois intervalles ; le premier oscille entre 8.54 et 8.7 (alcalin), et le deuxième est de 8.7 jusqu'à 8.94 (alcalin), le troisième intervalle entre 8.94 – 9.2 (Modérément alcalin). La variation spatiale est faible dans cette parcelle avec un coefficient de variation de 3,53%.



Carte 08 : Répartition spatiale de pH dans la parcelle cultivée.

IV.5. Discussions

Les sols présentent une gamme très large de pH. Ce dernier, donne une indication sur l'activité des protons dans un système sol- eau ou sol-solution saline (KCl par exemple), compte tenu de toutes les réserves que peut comporter une telle détermination, réalisée généralement sur une suspension de sol et non sur une solution vraie. (DROUET, 2010)

La moyenne de pH est égale $8,20 \pm 0,29$ dans la parcelle cultivée et $8,81 \pm 0,19$ dans la parcelle non cultivée. Il a été révélé que le sol dans les deux parcelles est modérément alcalin. Ce qui confirme les résultats trouvés en zones 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 BACI, 1982).

D'après l'étude de CHIKHI (2015), le taux du calcaire total dans le sol varie de 5 à 9 %, FLOATE ET ENRIGH (1991 in MADANI, 2008) ont trouvé une relation hautement significative entre l'apport du calcaire et l'augmentation du pH. VOROBYOVA, 1991 (in MADANI, 2008) pensent que les variations des valeurs du pH sont conditionnées par l'équilibre calcium- carbonates des sols.

L'alcalinité du sol est causée par l'addition d'engrais d'azote (par exemple, nitrates, ammonium et urée), mais pourrait aussi refléter des matériaux parentaux de base comme le calcaire et la dolomie, le pH augmente lorsque la concentration en calcium de la solution diminue (BRADY et NYLE, 1990 in DAREM, 2013).

Le pH est l'une des propriétés les plus instructives du sol et exerce une profonde influence sur la croissance des plantes, notamment sur la solubilité des éléments nutritifs essentiels et leur disponibilité pour les plantes (DAREM, 2013). Nous avons enregistré une diminution du pH dans la parcelle cultivée par rapport au témoin de l'ordre de 0.031 ± 0.016 /an. Test student a montré que cette diminution est très hautement significative ($P > 0,00001$, T.H.S.). Cette diminution est peut être due à l'entraînement des sels alcalinisant vers la profondeur, ainsi que la répartition verticale et horizontale du calcaire dans le profil suite à l'irrigation et les pratiques culturelles.

L'utilisation des engrais et produits phytosanitaire acidifiants dans l'exploitation en vue de réduire les valeurs du pH afin d'assurer une bonne nutrition minérale des plantes, favorise la diminution du pH après mise en culture.

La dissolution des engrais minéraux dans le sol à plusieurs effets sur la propriété du sol parmi lesquels la salinité et le pH du sol. Ces effets varient avec les engrais. Les engrais apporté au sol ont des effets sur le pH du sol, les engrais acidifiant sont à effet sur les sols basiques par amélioration de la disponibilité de certains éléments nutritifs tel que le phosphore, et fer, le manganèse, le zinc, et le cuivre.

Dans le sol, les racines prélèvent les éléments minéraux à l'état d'ions. Lorsque la racine prélève des cations, par exemple le potassium K^+ , le calcium Ca^{2+} ou l'ammonium NH_4^+ , elle libère dans le milieu des ions (H^+) qui compensent les charges prélevées. Cette libération de protons se traduit par une acidification locale du milieu. Inversement lorsque la racine prélève des anions, comme les nitrate NO_3^- elle libère des OH^- et induit une alcalinisation du milieu (CALLOT et al, 1978 ; MOUREAUX, 1973, in DAREM, 2013).

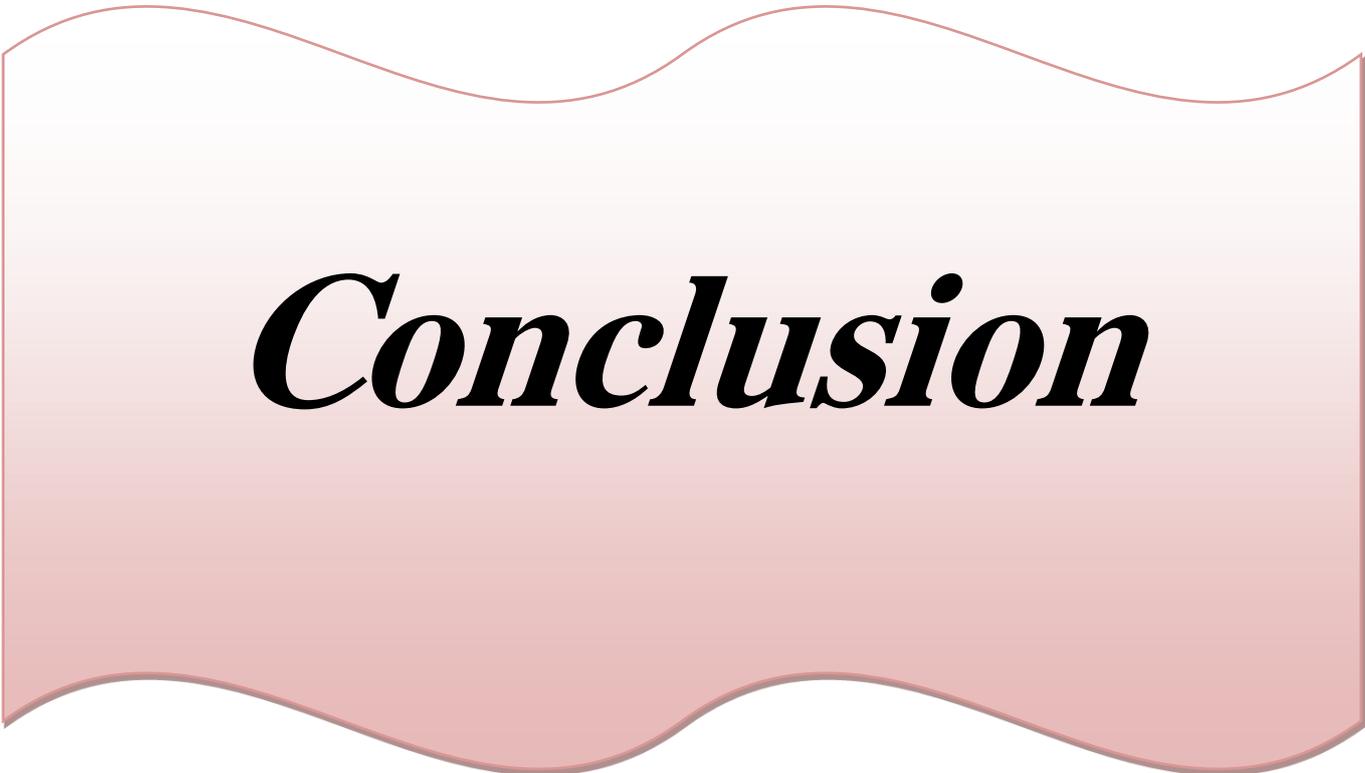
La capacité d'échange cationique (CEC) désigne la capacité du sol de maintenir des réserves d'éléments nutritifs à charge positive. L'échange cationique se produit lorsque des particules colloïdales sont le théâtre d'un échange d'ions positifs entre les colloïdes du sol et la solution. Les cinq cations échangeables les plus abondants dans le sol sont le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le potassium

(K⁺), le sodium (Na²⁺) et l'aluminium (Al³⁺). La CEC est une propriété de la texture du sol. Cela signifie qu'elle est liée à la matière argileuse et organique contenue dans le sol (DUCHAUFOR, 1990 in DAREM.2013)). Une fois adsorbés, les éléments minéraux sont entreposés de façon sécuritaire sur des particules colloïdales pour prévenir toute perte. Ainsi, des réserves d'éléments nutritifs sont disponibles pour que les racines des plantes puissent les absorber. La CEC devrait diminuer quand les taux de calcaire augmentent, ainsi que le pH augmente (DJILI, 2000), donc les cations ne sont pas retenus ni adsorbés vers des colloïdes, la plupart d'entre eux flottent mollement dans la solution du sol. Ils peuvent être perdus pour les racines des plantes à cause de la lixiviation par l'effet de percolation de l'eau. Les sols des régions arides sont caractérisés par des CEC faibles, ce qui favorise la lixiviation des éléments suite à l'irrigation.

DJILI (2000), a montré que le pH est l'une de ces principales caractéristiques du sol qui est fortement influencée par la teneur en carbonate de calcium mais certains sol ont un pH élevé avec un taux faible en calcaire, ce qui signifie que d'autres carbonates tel que les carbonates de magnésium (MgCO₃), Carbonates de sodium (Na₂CO₃), Carbonates de potassium (K₂CO₃) sont responsables de l'alcalinisation du sol (FAO-UNESCO, 1967 in BENBRAHIM, 2001).

La modélisation géostatistiques montre l'efficacité du « pas » de l'échantillonnage choisi, ainsi, la variation est en fonction de la distance parcourue dans l'intervalle de 15m à 62m, au-delà, la variation est indépendante de la distance.

L'analyse de la variation spatiale de pH dans la zone étudiée montre une faible variation avec un coefficient de variation de 3,53% dans la parcelle cultivée et de 2,13% dans la parcelle non cultivée. Cela signifie que la variation spatiale du pH présente une certaine homogénéité dans les deux parcelles. La variabilité spatiale dans la parcelle non cultivée reflète l'état de l'écosystème naturel. Dans la parcelle cultivée la variabilité faible est expliquée par l'impact de l'irrigation et l'action de la végétation sur la distribution des sels alcalinisants avec un coefficient de variation légèrement supérieur à celui de la parcelle non cultivée, ce qui est probablement due à l'accumulation des sels alcalinisants suite à l'irrigation, sachant que le pH de l'eau d'irrigation est de 8.52 (DURAND, 1958).



Conclusion

Conclusion

L'étude de la variabilité spatiale de la salinité et du pH du sol dans un périmètre céréalier dans la région de HASSI EL-F'HEL (Ghardaïa) permet d'étudier l'évolution de ces deux paramètres dans deux parcelles l'une cultivée et l'autre non cultivée prise comme témoin.

Les résultats obtenus des analyses ont montré que le sol est non salé pour les deux parcelles avec des valeurs de conductivité électrique variant de 0,05 dS/m à 25°C et 0,46 dS/m à 25°C. Le sol est alcalin dans les deux parcelles avec des valeurs variant de 7,51 et 9,20.

Les résultats analytiques du taux de variation annuelle montre une augmentation hautement significative de la salinité avec un TVA-CE de 0.001 ± 0.006 dS/m/an ; Cela est due principalement à l'action de l'irrigation continue par une eau à salinité moyenne appartenant à la classe C2. et une diminution très hautement significative pour le Ph avec un TVA- pH de 0.031 ± 0.016 /an ; Cette diminution est peut être due à l'entraînement des sels alcalinisant vers la profondeur, ainsi que la répartition verticale et horizontale du calcaire dans le profil.

L'étude de la variation spatiale des paramètres étudiés illustre l'existence d'une variabilité très élevée pour la salinité du sol dans les deux parcelles (CV=75,18%) dans la parcelle non cultivée et (CV=61,69%) dans la parcelle cultivée, tandis que celle du pH est faible dans toutes les parcelles étudiées avec un CV de 3,53 pour la parcelle cultivée et de 2,13 pour la parcelle non cultivée.

La modélisation géostatistique par l'étude des variogrammes expérimentaux a montré l'efficacité du pas d'échantillonnage choisi.

La pratique de la céréaliculture intensive sous pivot a influencé significativement l'évolution des paramètres étudiés pendant vingt (20) ans, et a révélé une augmentation hautement significative de la salinité, pourra influencer la chute des rendements et dans les cas extrêmes la stérilisation du sol vis-à-vis de la céréaliculture sous pivot. Quand au pH une diminution très hautement significative a été enregistrée.

Enfin, ce travail sur de l'étude de l'impact de la céréaliculture sous pivot sur l'évolution des paramètres étudiés reste insuffisant et mérite d'être poursuivi en tenant compte de :

- La caractérisation morpho- analytique du sol afin de mieux interpréter les résultats d'analyses.
- L'analyse complète de l'eau d'irrigation afin de déterminer le faciès dominant.
- Le suivi de la variation saisonnière de la salinité et du pH du sol afin de bien cerner son évolution.
- L'étude de l'impact de la céréaliculture sur d'autres paramètres du sol.



Annexe

Annexe

Annexe 01: 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

Annexe 02 : L'évolution de céréaliculture dans la wilaya de Ghardaïa (DSA, 2016).

Année	Superficie (h)	Production (Q)
2000/2001	948	11040
2001/2002	494	15700
2002/2003	640	18295
2003/2004	620	4103,2
2004/2005	630	20710
2005/2006	812	30135
2006/2007	830	31900
2007/2008	936	34198
2008/2009	1150	47384
2009/2010	1724	56710
2010/2011	2100	86161,5
2011/2012	2183	86003,4
2012/2013	2105,5	76737
2013/2014	1855	92822
2014/2015	2137	82666,49

Annexe 03: Production agricole de la campagne 2013/2014 dans la wilaya de Ghardaïa

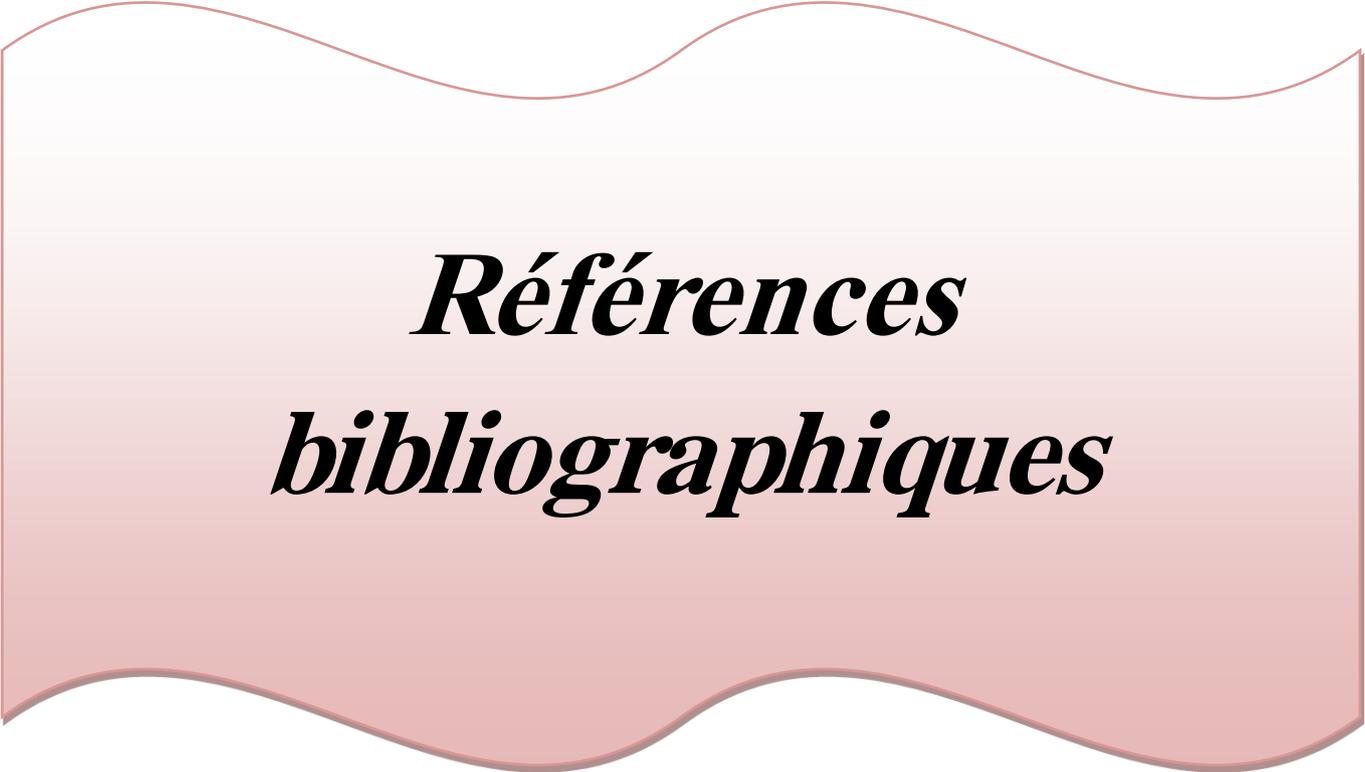
Commune	Production en Quintaux					
	Céréales	Fourrages	Agrumes	Cultures maraîchères	Phoeniciculture	Cultures industrielles
Ghardaïa	-	36043	6828	85884	83158	-
El-Menia	64.582	60077	2814	134593	81991	75
Daya	-	21625	4101	149363	26830	-
Berriane	-	24028	4911	69358	27581	-
Metlili	-	24028	3281	71155	77513	300
Guerrara	-	72085	1363	38170	94363	-
El-Atteuf	-	12014	3547	39830	20008	-
Zelfana	-	19222	1640	41697	50948	-
Sebseb	-	19222	4911	90120	17883	3.825
Bounoura	-	12014	5326	68458	11587	-
Hassi El-F'Hel	12.340	76891	20487	24894	17015	450
Hassi El-Gara	15.900	84099	3113	40660	39668	-
Mansoura	-	19222	2322	17106	16455	1.350
Total	92.822	480570	64644	871288	565000	6.000

Annexe 04 : Test student : salinité dans la parcelle cultivée et non cultivée.

Différence	-0,0272
t (Valeur observée)	-2,3989
t (Valeur critique)	1,9720
DDL	198
p-value (bilatérale)	0,0174
alpha	0,05

Annexe 05 : Test student : pH dans la parcelle cultivée et non cultivée.

Différence	0,6144
t (Valeur observée)	17,8030
t (Valeur critique)	1,9720
DDL	198
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05



***Références
bibliographiques***

Références bibliographiques

- A.N.R.H., 2011** - Inventaire Des Forages D'eau Et Enquete Sur Les Debits Extraits De La Wilaya De Ghardaia ; Agen. Nati. Alg. Ress. Hydr ; 15P.
- A.N.R.H., 2007**- Rapport de l'Agence National Des Ressources Hydriques, Ghardaïa.
- A.N.R.H., 2008**- Rapport de l'Agence National Des Ressources Hydriques, Ghardaïa.
- AUBERT G., 1970**-Transformations des sols de la zone aride sous l'influence des irrigations O.R.S.T.O.M.n° 14266, Paris, pp 75-82.
- 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.
- BABA SIDI-KACI., 2010** - Effet du stress salin sur quelques paramètres phoenologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique. Mém. Magister, Univ, Ouargla, 75 P.
- BACI L., 1982** – Contribution à l'étude de la salinisation des sols du Hodna (Wilaya de M'Sila). Thèse Ing. I.N.A., Alger, 100 p.
- BADRAOUI M. ; SOUIDI B. ; FAHAT 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, étude et gestion des sols 5(4), 1988, 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 d'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. Magister, Univ, Ouargla, 61 p.
- BEN BRAHIM. F, 2001**- Etude de l'effet saisonnier de la nappe phréatique sur la dynamique des sels solubles dans un sol cultivé et non cultivé dans la cuvette de Ouargla Cas de l'exploitation de l'I.A.S.) Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en agronomie saharienne Ouargla, centre universitaire de Ouargla institut d'agronomie saharienne, 2001,119 P.
- BECKETT. P. H. T., WEBSTER. R. 1971**- Soil variability: a review. Soil Fertil. 34: 1-15p.

- BEN SEMAOUNE. 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) ; Mémoire *MAGISTER* ; UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA ;96 P
- BENBRAHIM F., 2006** - Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla (Cas de Hassi Ben Abdellah). Mém. Magister, Ouargla, 111 p.
- BEN MESSAOUD Z., 2016** – Apport des SIG et de la Télédétection dans la cartographie des milieux (cas de la région de Ghardaïa). Mém. Master. Univ, Ghardaïa, 72 p
- BENZELLAT ; 2012**, Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés ; Mémoire Magister ; Université de Tlemcen ; 140P.
- BENZAHI Y., 1994** - Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué sous palmeraie. Thèse Ing. I.N.F.S.A.S., Ouargla, 111 p
- BIDAI Y., 2001**- Le métabolisme de la praline chez l'*Atriplex halimus* L. stressée à la salinité. Mémoire de magister en physiologie végétale, Université Es-Senia, Oran : 69
- BOIVIN P., HACHICHA M., JOB J.O., LOY ER 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
- BOUHAMIDA M.2014** - Conduite de l'élevage bovin laitier dan la région de Ghardaïa - Cas de la ferme d'El-Atteuf, Mém. Fin D'étude. Univ, Ouargla. 47 P.
- 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.
- BOUZID H., 1993** – Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité dans un sol sableux sous irrigation par pivot (Gassi-touil). Thèse Ing., I.N.F.S.A.S., Ouargla, 46 p
- BURGESS T.M., WEBSTER R., 1980** -Optimal interpolation and isarithmic mapping soil of properties. The semi-variogram and punctual kriging. *Soil Sci.* 31, 331p.
- CHELOUFI H., BOUAMMAR B., 2010** - La céréaliculture sous centre-pivot dans les régions sahariennes : cas de la région de Ouargla. Workshop sur l'Agriculture Saharienne : Enjeux et Perspectives Univ, Kasdi Merbah, Ouargla, pp 25.

- CHENINI M., 2013** - 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). Mém. Master. Univ, Ghardaïa, 72 p.
- 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.
- CHIKHI F., 2015** - Impact de la céréaliculture sous pivot sur la variation de quelques caractéristiques morpho-analytiques du sol dans la région de Ghardaïa (cas de Hassi EL F'Hel). Mém. MASTER. Univ. Ghardaïa. 73 P.
- CHOUEIRI E., 2003** - La céréaliculture. Projet "Assistance au Recensement Agricole", FAO, Liban, 69 p.
- COLIN A., LAMBERT P., 2012**- Analyse de la ressource forestière actuelle en Lorraine Résultats statistiques et Représentations cartographiques. Institut national de l'information géographique et forestière. 129p.
- 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.
- DAOUADI. A, 2013** - Etude phytoécologique des adventices de la région de Ghardaïa (Cas de l'Oasis de Metlili) ; **Mémoire** MASTER ; Université de Ghardaïa ; P 91.
- 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.
- DAREM. S, 2013** - Impact de l'intensification agricole (phoeniciculture) sur la variation du pH et du taux de calcaire total dans la région de Ghardaia (cas de Zelfana) ; **Mémoire** MASTER ; Université de Ghardaïa ; 76 P.
- DJAOUTI M., 2010** - renforcement des capacités des acteurs de la filière céréale en Algerie 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. Revue Nature et Technologie. N° 01, Univ, Chlef, pp. 45-53.
- DJILI K., 2000**- Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse doctorat. INA, Alger, 243 p.
- 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.
- DPSBM, 2015** - Monographie DE LA WILAYA DE GHARDAIA-2014, Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires, édition 2015.178p.
- DURAND J.H., 1958**- Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190p.
- DURAND J.H., 1983**- Les sols Irrigables. Etude pédologique. Presses fonctionnement physiologique et microbiologique en conditions salines. Thèse d'Etat, Ed. Imprimerie Boudin, Paris.
- DSA., 2015** - Direction des services agricoles, rapport des cultures en wilaya, 113 p.
- DSA., 2016** - Direction des services agricoles, rapport des cultures en wilaya, 70 p
- FAO., 2012** - Perspectives de récolte et situation alimentaire .N° 2.
- GABANI N., 2013** - Impact de l'intensification agricole (céréaliculture sous pivot) sur la variation du pH et du taux de calcaire total du sol dans la région de Ghardaïa (cas de HASSI EL F'HEL). Mém. Master, Ghardaïa, 83 p.
- GASCUL- ODOUX Ch., GRIMALDI M., VEILLON L., 1991**- Apport de la géostatistique à l'analyse morphologique du sol : cas d'un transect représentatif de la plaine côtière guynaise. Science du sol. Vol. 29, 3, 189-209 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.
- HALITIM A., 1973** - Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. Rennes, 176 p.
- HALITIM A., 1985**- Contribution à l'étude des sols des zones arides
- HALITIM A., 1988** - Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger, 384 p.

- HAMDY A., 1995** -les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. C.R.Acad.Agric.fr., 81 n° 2, pp 47-60.
- HAMEL I., 2015** - Impact de la céréaliculture sous pivot sur la variation spatiale de la matière organique dans la région de Ghardaïa (cas de Hassi El F'Hel). Mém. MASTER. Univ. Ghardaïa. 68 P.
- HAMOUNI M., 2006** - Contribution à la détermination des unités homogènes du sol par différentes approches de cartographie numérique .Mém Magister. Université Hassiba BENBOUALI .EL Harrach .Alger.132p.
- 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.
- HULLIN, 1983** -Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. Cours polycopié, Vol. 3, I.N.A., Alger, 139 p.
- ITDAS., 2006** – l'agriculture en zones sahariennes. Bilan de vingt années d'arquis 1986-2006, 116 p.
- KELLIL., 2010** - Contribution à l'étude du complexe entomologique des céréales dans la région des hautes plaines de l'Est algérien. Mém. Magister, Univ. Batna, 188 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.
- LEBATT A. et MAHMA A., 1997** - Contribution à l'étude d'un système agricole oasien cas de la région du M'Zab INFS/AS, 92 P
- M. Lahlou, M. Badraoui et B. Soudi. 2000** - Modélisation de l'évolution de la salinité et de l'alcalinité dans les sols irrigués, Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, 2-3 Novembre 2000. -137 P
- M.A.D.R., 2012** – bulletin des grandes cultures. Bonnes prévisions de la récolte 2011-2012 N° 03, ministère de l'agriculture et du développement rural, Alger, 5 p.
- Maas, E.V. & Hoffman, G.J. 1977.** Crop salt tolerance - current assessment. *J. Irrig. and Drainage Div., ASCE* 103 (IR2): 115-134.
- MADANI D, 2008** – RELATION ENTRE LE COUVERT VEGETAL ET LES CONDITIONS EDAPHIQUES EN ZONE à deficit hydrique . Mém. Mag. Univ Batna ,119 p.

MAHMA. S, 2012 - Effet de quelques bio-agresseurs du dattier et impact des méthodes de lutte sur la qualité du produit datte. (Cas de la région de Ghardaïa) ; Mémoire *MAGISTER* ; UNIVERSITE KASDI MERBAH –OUARGLA- ; 123 P

MANSOUR A, 2014- VULNÉRABILITÉ ET PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES EN ZONE ARIDE : CAS DE LA VALLÉE DU M'ZAB (GHARDAIA – ALGÉRIE) Mém. Mag. Univ, Oran, 49-50 p.

MARYSE P, 2003 -Évaluation spatiale de l'efficacité agronomique du Lior dans la pomme de terre. Thèse. Université Laval- QUÉBEC, 76p

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 doctorat, Institut national de la recherche scientifique Eau, Terre et Environnement, Québec, 234 p.

MERMOUDE A., 2006 cours physique du sol, Maitrise de la salinité des sols. Pp 1-14

MESKINE M. 1992 - Contribution à l'étude hydrique, paramètres hydrodynamique d'un sol salé et drainé (Un cas à Ouargla). Thèse Ing., I.N.F.S.A.S., Ouargla, 57 p.

MIHOUB A., 2008. Effet de la fertilisation phosphatée sur la nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (triticum dureim l.varcarioca) dans la région d'El Goléa Ghardaïa. Mém. Ingénieure. Univ. Kasdi Merbah Ouargla. Algerie. p 123.

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 vétérinaire Hassan II, Maroc, 4 p.

MOULE C, 1971- PHYTOTECHEMIE SPÉCIALE, tome II- CÉRÉALE. LA MAISON RUSTIQUE. PARIS, 1971. 94 p.

NOOMENE, 2011- Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de Kalàcat Landelous en Tunisie : cas d'une parcelle de courge, memoireonline.

ONM., 2016. Données météorologiques de la wilaya de Ghardaïa, 2 p.

OUSTANI M., 2006 - Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions Sahariennes (Cas de Ouargla). Mém. Magister, Univ. Ouargla, 187 p.

- OMEIRI N., 1994** - Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette d'Ouargla. Thèse Ing, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 72 p.
- OZENDA P., 1991** - Flor du Sahara .édit centre national de la recherche scientifique (C.N.R.S). Paris .625p.
- 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.
- TRAORE D, 1995** - Suivi de l'irrigation d'une culture de blé dur sous pivot et étude de l'évolution de la salinité. Thèse Ing. I.N.F.A.S., Ouargla, 44 P
- U. S. S .L ,1954 in DELLAL A., 1994** - Réactivité physico-chimique.
- U. S. Salinity Laboratory, 1954** - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.
- U.S.D.A, Handbook N° 60, Washington, 160 p.**
- WEBSTER R., 1985**- Quantitative spatial analysis of soil in the field. Adv. SoilSci. 3:2-70p.
- WEBSTER R., OLIVER M.A., 1990**- Statistical methods in soil and land resource survey, Oxford University Press.