

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 : DAHMANE Bouchra

Thème

**Impact de l'intensification agricole (céréaliculture sous pivot) sur
la variation de quelques propriétés du sol dans la région de
Ghardaïa (cas de Hassi El F'Hel)**

Soutenu publiquement le : 23 / 06 / 2014

Devant le jury :

M. KHELLAF Khoudir	Maitre-Assistant A	Univ. Ghardaïa	Président
M. BENBRAHIM Fouzi	Maitre-Assistant A.	Univ. Ghardaïa	Encadreur
M. ALI TATAR Braham	Maitre-Assistant B.	Univ. Ghardaïa	Examineur
Mlle. MEBAREK OUDINA Asmahane	Maitre-Assistant A.	Univ. Ghardaïa	Examineur
Mlle. DAREM Sabrina	Chercheur	Univ. Annaba	Invitée

Année universitaire 2013/2014

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes chers parents Kelthoume et Abdelkader ;

A mes frères et mes sœurs Chamesdine, Djalila, Youcef, Khadîdja et

Mohamed Sedike, qui

Ils ont dépensés pour moi sans compter ;

*Mes reconnaissances de tous ses sacrifices consentis et
chacun qui me permette d'atteindre cette étape de ma vie
avec toute ma tendresse.*

A ma grand-mère Rabia

*que j'ai encore la chance d'avoir elle a près de moi ; longue
vie que je souhaite à elle.*

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

A ma chère sœur Abir Meilleurs vœux pour avoir son BAC.

*A mes aimables amies Sabrina, Houda, Thouraya, Fatima, Malika,
Meriem, Hanane et leurs familles.*

A toute la famille DAHMANE et YAHIA.

DAHMANE Bouchra

Remerciement

On remercie en première lieu dieu ; le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

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 tous 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 remercie M.KHELAF K Maître Assistant A à l'Université de Ghardaïa pour avoir accepté de présider le jury, et a M.ALI TATAR B Maître Assistant B à l'Université de Ghardaïa et Mlle MEBAREK OUDINA A Maître Assistant A à l'Université de Ghardaïa qui ils ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

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

Mes vifs remerciements s'adressent également à tous mes enseignements qu'ils m'ont m'enseignés durant tous les 5 ans à l'Université, M. KEMASSI A, M. HADJSEYED A., M. BENSEMMOUNE Y., Melle. TELI A. ...ect.

Mes profonds remerciements vont également à toutes les personnes qu'ils nous ont aidés et soutenues de près ou de loin ; principalement à tous l'effectif du laboratoire de géologie de l'Université de Ghardaïa.

Je tiens à exprimer mes reconnaissances envers Mr. MSAITEFA N., Merci pour sa gentillesse, disponibilité, ses conseils, son aide et ses orientations.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à tous mes proches et amis (es) sans exception, qu'ils m'ont toujours me soutenue et m'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. Amen !

Impact de l'intensification agricole (céréaliculture sous pivot) sur la variation de quelques propriétés du sol dans la région de Ghardaïa (cas de Hassi El F'Hel)

Résumé

L'évaluation de l'impact des systèmes de production agricole dans le milieu aride passe par l'étude quantitative de l'évolution spatio-temporelle des composantes de ce milieu. Notre travail réalisé dans la région de HASSI EL F'HEL (Ghardaïa) porte sur l'étude de l'impact de la céréaliculture sur l'évolution du calcaire total et calcaire actif, du pH et de la salinité du sol. En réalisant un échantillonnage systématique sur une maille régulière et en comparant les données des propriétés du sol d'une parcelle cultivée, pendant quatre (4 ans) à une autre non cultivée.

Les résultats obtenus ont révélé que le sol analysé est non à modérément calcaire, faiblement à assez faiblement pourvu en calcaire actif, modérément à fortement alcalin et non à faiblement salé.

L'analyse du taux de variation annuelle a révélé une augmentation hautement significative du calcaire total et significative de la salinité du sol.

L'analyse thématique a montré une variabilité spatiale élevée pour le calcaire total et le calcaire actif, modérée à extrêmement élevée pour la salinité et faible pour la réaction du sol.

La modélisation géostatistique a montré, qu'à partir des variogrammes expérimentaux, l'efficacité de l'échantillonnage choisi.

Mots clés : Céréaliculture, propriétés du sol, variation spatiale, modélisation géostatistique, HASSI EL F'HEL.

*Impact of agricultural intensification (cereals under pivot) on the variation of some properties
the soil in the region of Ghardaia (case of Hassi EL F'HEL)*

Abstract

The impact assessment of agricultural production systems on dry areas undergoes a quantum study of the spatio-temporal evolution of the components of this medium. Our work which is done in the area of Hassi EL F'HEL (Ghardaia) focuses on the study of the impact of cereal culture on the evolution of total and active limestone, pH and soil salinity by providing a systematic sampling on a regular grid and comparing the data of soil properties in a cultivated plot for 4 years to an uncultivated plot.

The results showed that the soil is not to moderately calcareous, less to relatively weakly provided by active limestone, moderately to strongly alkaline and salty not weak.

The analysis of the rate of annual change showed a highly significant increase in the total limestone and significant soil salinity

Thematic analysis showed a high spatial variability in the total limestone and active limestone, moderate to extremely high salinity and low to the ground reaction.

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

Keywords: cereal, soil properties, spatial variation, geostatistical modeling, Hassi EL F'HEL.

تأثير التكتيف الزراعي (زراعة الحبوب تحت الري المحوري) على التباين لبعض الخصائص التربة في منطقة غرادية (دراسة حالة حاسي لفحل).

الملخص

ان تقييم تأثير نظام الإنتاج الزراعي في المناطق القاحلة يتطلب دراسة كمية للتطور المكاني والزمني لمكونات هذا الوسط. لقد قمنا بإنجاز هذا العمل حول تربة منطقة حاسي الفحل (ولاية غرادية) و تتركز دراستنا على مدى تأثير زراعة الحبوب على تطور نسبة الحجر الكلسي الكلي والنشط وكذا على درجة الحموضة والملوحة لهذه التربة. ومن خلال أخذ العينات بطريقة الشبكة العادية ومقارنتنا لبيانات خصائص التربة المزروعة لقطعة أرض مستغلة لمدة 4 سنوات بقطعة أخرى غير مزروعة.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن نسبة الكلس الكلي في التربة كان ضعيفا نسبيا بالنسبة للكلس النشط، مع درجة حموضة قاعدية معتدلة إلى عالية جدا و كذا مع نسبة ملوحة ضعيفة.

كما أظهر تحليل معدل التغير السنوي زيادة كبيرة جدا في الحجر الكلس الكلي و كذا درجة ملوحة للتربة.

كما أظهر التحليل الموضعي أن المتغيرات المكانية عالية جدا بالنسبة للكلس الكلي و كذا النشط، وملوحة معتدلة الى عالية جدا كما ان درجة حموضة التربة كانت منخفضة.

وأظهرت النموذج الجيوإحصائي من خلال مقياس التباين التجريبي فعالية نظام أخذ العينات المختارة.

الكلمات الدالة : الحبوب، خصائص التربة، التباين المكاني، نموذج الجيوإحصائي ، حاسي الفحل.

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Représentation de la superficie de la wilaya de Ghardaïa (ANRH, 2007).	03
02	Données météorologiques de la wilaya de Ghardaïa (1996-2012) (O.N.M., 2013)	07
03	Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et <i>al.</i> , 1997 in MATHIEU, 2009).	30
04	Statistiques descriptives du CaCO ₃ total dans le site d'étude (en %).	33
05	ANOVA à un facteur : calcaire total dans la parcelle cultivée et non cultivée.	34
06	Statistiques descriptives du CaCO ₃ actif dans le site d'étude (en %).	37
07	ANOVA à un facteur : calcaire actif dans la parcelle cultivée et non cultivée.	38
08	Statistiques descriptives du pH dans le site d'étude.	42
09	ANOVA à un facteur : pH dans la parcelle cultivée et non cultivée.	42
10	Statistiques descriptives de la salinité dans le site d'étude.	46
11	ANOVA à un facteur : conductivité électrique dans la parcelle cultivée et non cultivée.	47

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Milieu physique de la wilaya de Ghardaïa (ATLAS, 2004).	05
02	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa (1996 - 2012).	08
03	Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (1996 – 2012)	09
04	Esquisse hydrogéologique du M'Zab (A.N.R.H., 2009).	10
05	Bassin versant de la région du M'Zab (A.N.R.H., 2013).	11
06	Localisation géographique de la zone d'étude.	13
07	Localisation des parcelles étudiés (Google Earth, 2013).	14
08	Parcelle cultivée (GABANI, 2013).	16
09	Parcelle non cultivée (témoin) (GABANI, 2013).	16
10	Schéma récapitulatif du plan d'échantillonnage.	18
11	Les échantillons prélevés.	18
12	Dosage du calcaire actif.	22
13	Etalonnage du calcimètre.	26
14	Dosage du calcaire total.	27
15	Analyse de pH et Conductivité électrique.	28
16	Boite à moustaches de la variation du calcaire total du sol.	33
17	Variogramme du calcaire total dans la parcelle non cultivée.	34
18	Variogramme du calcaire total dans la parcelle non cultivée.	35
19	Boite à moustaches de la variation de CaCO ₃ actif du sol.	38
20	Variogramme du calcaire actif dans la parcelle non cultivée.	39
21	Variogramme du calcaire actif dans la parcelle non cultivée.	40
22	Boite à moustaches de la variation du pH du sol.	42
23	Variogramme de pH dans la parcelle non cultivée.	43
24	Variogramme de pH dans la parcelle cultivée.	44
25	Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol.	46
26	Variogramme de la conductivité électrique dans la parcelle non cultivée.	47
27	Variogramme de la conductivité électrique dans la parcelle cultivée.	48

Liste des cartes

N°	Titre	Page
01	Répartition spatiale du CaCO ₃ dans la parcelle non cultivée.	36
02	Répartition spatiale du CaCO ₃ dans la parcelle cultivée.	37
03	Répartition spatiale du CaCO ₃ actif dans la parcelle non cultivée.	41
04	Répartition spatiale du CaCO ₃ actif dans la parcelle cultivée	41
05	Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée.	45
06	Répartition spatiale du pH dans la parcelle cultivée.	45
07	Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle non cultivée.	49
08	Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle cultivée.	50

Liste des abréviations

CEC	: Capacité d'échange cationique
ANRH	: Agence National Des Ressources Hydriques
ANOVA	: Analysis of variation
CaCO₃	: Carbonate de Calcium
CaCO₃ A	: Carbonate de Calcium Actif
CaCO₃ T	: Carbonate du Calcium Total
CCA	: Carbonate du Calcium Amorphe
CCM	: Carbonate du Calcium Monohydrate
CEI	: Communauté des Etats Indépendants
CV	: Coefficient de Variation
D.P.A.T	: Département de Planification et de l'Aménagement du Territoire
D.S.A	: Direction des Services Agricoles
dS	: Decisiemens
ETP	: Evapotranspiration potentielle
F.A.O	: Food and Agricultural Organisation
Fig.	: Figure
GPS	: Global Position Système
HCl	: Hydro chlorure (acide chlorhydrique)
I.N.R.A	: Institut Nationale de Recherche Agronomique
MADR	: Ministère d'Agriculture et de Développement Rural
Méq	: milliéquivalent
NPK	: Azote, Phosphore, Potassium
ONM	: Office National de Météorologie
pH	: Potentiel Hydrique
Qx	: Quintaux
S.A.U	: Surface Agricole Utile
SAT	: Surface Agricole Totale
Tab	: Tableau
TSP	: Triple Super Phosphate
TVA	: Taux de variation annuelle
UE	: Union Européenne
°C	: Degré Celsius

Table de matières

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des cartes	
Liste des abréviations	
Introduction	
Chapitre I : Présentation de la région d'étude.....	03
1. Situation géographique.....	03
2. Climat.....	05
2.1. Température.....	06
2.2. Précipitations.....	06
2.3. Humidité relative.....	06
2.4. Evaporation.....	06
2.5. Insolation.....	06
2.6. Vent.....	06
2.7. Synthèse climatique.....	07
2.7.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN.....	07
2.7.2. Climagramme d'EMBERGER.....	08
3. Géomorphologie.....	09
4. Géologie.....	10
5. Hydrologie.....	10
6. Pédologie.....	11
7. Agriculture.....	12
8. Présentation du site d'étude.....	13
Chapitre II : Méthodologie du travail.....	15
1. Approche méthodologique.....	15
1.1. Parcelles d'étude.....	15
1.2. Travail du sol.....	16
1.3. Semis.....	16
1.4. Fertilisation.....	17

1.5. Irrigation.....	17
2. Expérimentation.....	17
2.1. Sur terrain (Echantillonnage).....	17
2.2. Au laboratoire.....	18
2.3. Méthodes d'analyse.....	19
2.3.1. Dosage du calcaire actif.....	19
2.3.1.1. Principe.....	19
2.3.1.2. Matériel.....	20
2.3.1.3. Réactifs.....	20
2.3.1.4. Mode opératoire.....	20
2.3.1.5. Calculs.....	21
2.3.1.6 Normes.....	21
2.3.2. Dosage du calcaire total.....	23
2.3.2.1. Méthode de calcimètre de Bernard.....	23
2.3.2.1.1. Principe.....	23
2.3.2.2. Etalonnage de l'appareil.....	23
2.3.2.3. Dosage du calcaire total.....	24
2.3.2.4. Mesures.....	24
2.4. Mesure du pH.....	25
2.4.1. Principe.....	25
2.4.2. Mesure.....	25
2.5. Mesure du conductivité électrique.....	25
2.5.1. Principe.....	25
2.5.2. Mesures.....	25
3. Analyses statistiques.....	29
3.1. Variation annuelle des paramètres étudiés.....	29
3.2. Statistiques descriptives.....	29
3.3. Analyses de la variance à un facteur.....	29
3.4. Coefficient de variation.....	30
4. Modélisation géostatistique.....	30
4.1. Variogramme expérimental.....	31
4.2. Réalisation de cartes thématiques.....	31
4.3. Krigage.....	32
Chapitre III : Résultats et discussions.....	33
1. Etude de la variation spatiale des paramètres étudiés.....	33

1.1. Variation spatiale du calcaire total.....	33
1.1.1. Analyses statistiques.....	33
1.1.2. Analyses variographique.....	34
1.1.3. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage.....	36
1.2. Variation spatiale du calcaire actif	37
1.2.1. Analyses statistiques.....	37
1.2.2. Analyses variographique.....	38
1.2.3. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage.....	40
1.3. pH.....	42
1.3.1. Analyses statistiques.....	42
1.3.2. Analyses variographiques.....	43
1.3.3. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage.....	44
1.4. Salinité.....	46
1.4.1. Analyses statistiques.....	46
1.4.2. Analyses variographiques.....	47
1.4.3. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage.....	48
2. Discussions.....	50
Conclusion.....	54
Références bibliographiques.....	56
Annexe.....	60

Introduction

Le sol constitue une ressource naturelle précieuse et importante à gérer, c'est un milieu à la fois support, récepteur et épurateur (AMAMOU, 2012).

Les sols varient d'un point de l'espace géographique à l'autre que ce soit sur le plan de leurs caractéristiques morphologiques, physiques, chimiques ou biologiques. L'impact de l'agriculture sur les ressources en sol et en eau s'entrouvrent modifiée, le développement de système de production agricole durables doit ainsi tenir compte de cette diversité des sols (WALTER, 2002 ; GIRARD *et al* ,2011).

Parmi tous les facteurs de la dégradation des sols susceptibles d'être évoqués, il en est un qui domine largement sur tous les autres du fait de la fonction assignée aux sols dans nos sociétés modernes : il s'agit de l'intensification forestière ou agricole (FERROUKHI, 2008).

La céréaliculture sous pivot, introduit quelque chose de radicalement nouveau, tant dans le paysage, la technique, que la finalité (OULD EL HADJ, 2011). Elle rencontre des contraintes relatives à la faible maîtrise de l'itinéraire technique (FERROUKHI, 2008).

Dans les régions arides, les sols cultivés, d'une manière générale, posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (BENBRAHIM, 2001 ; BENBRAHIM, 2006 ; MADANI, 2008 ; FERROUKHI, 2008).

En Algérie, les sols calcaires se distribuent sur l'ensemble du Nord de l'Algérie, particulièrement dans les étages bioclimatiques arides et semi- arides. Ils peuvent se trouver sous trois formes principales : diffuses, en concentrations ou discontinues (MADANI, 2008).

La présence du calcaire confère au sol des caractéristiques spécifiques en termes de comportement physique et chimique et influe sur son activité biologique. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive, plus ou moins rapide suivant le contexte pédoclimatique (MIHOUB, 2008).

L'objectif de ce travail est de faire ressortir l'impact de l'intensification agricole sur la variation de quelques propriétés du sol à savoir le calcaire total, le calcaire actif, le pH et la salinité du sol dans la région de Hassi El F'Hel (GHARDAIA).

Ce document s'articule sur deux parties :

- La première partie, consacrée à la présentation de la région d'étude et le matériel et méthodes.
- La deuxième partie, consacrée aux résultats obtenus et leurs interprétations à travers l'analyse des données.
- Enfin nous concluons par une synthèse sur les impacts de l'intensification agricole sur les propriétés du sol étudiées.

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

1. Situation géographique

La wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle wilaya dépendait de l'ancienne wilaya de Laghouat. Il est composé des anciennes Daïrates de Ghardaïa, Metlili et El-Menia. La wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la wilaya de Ouargla (200 Km) ;
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset (1.470 Km) ;
- Au Sud- Ouest par la wilaya d'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la wilaya d'El-Bayadh (350 Km).

Elle couvre une superficie de 86.560 km² se répartissant comme suit :

Tableau 01: Représentation de la superficie de la wilaya de Ghardaïa (ANRH, 2007).

Communes	Superficies (Km ²)
Ghardaïa	306,47
El-Ménéa	23.920,68
Daya	2.234,94
Berriane	2.609,80
Metlili	6.910,00
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	86.560

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

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).

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 ...).

Le couvert végétal est pauvre. La structure et la nature du sol ne sont pas favorables à l'existence d'une flore naturelle riche, cependant la région n'est pas dépourvue de végétation naturelle ; elle est rencontrée surtout dans les lits d'oueds.

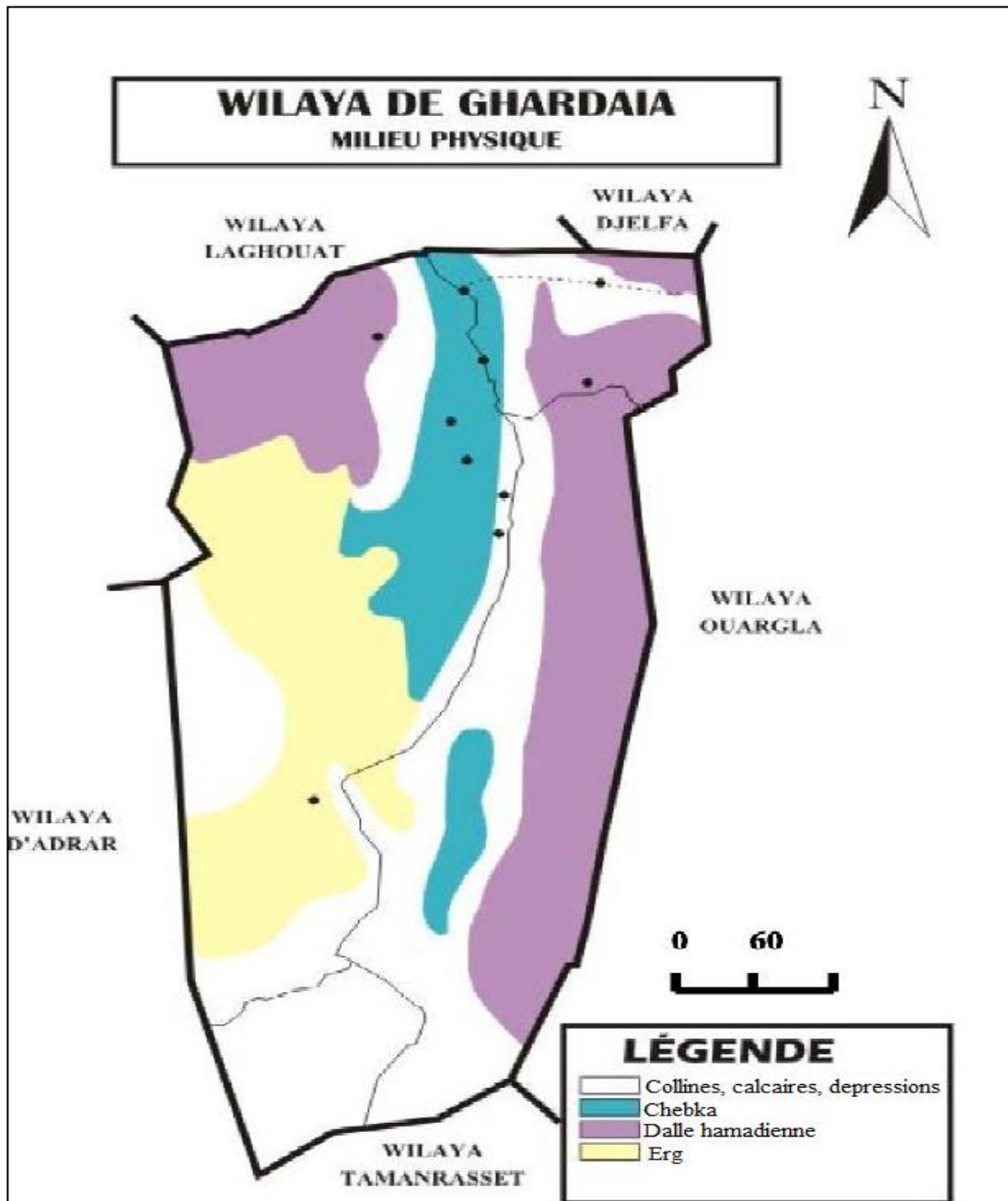


Figure 01 : Milieu physique de la wilaya de Ghardaïa (ATLAS, 2004).

2. Climat

Les données climatiques sont fournis par la station météorologique de Ghardaïa. Nous avons pris en considération les moyennes mensuelles concernant une période s'étalant sur 17 ans (1996 à 2012) ,afin de mieux distinguer les variations climatiques de la région d'étude. Pour les données climatiques sont non seulement des éléments décisifs du milieu physique mais ont aussi des répercussions profondes sur les êtres vivants , animaux et végétaux.

Le climat de la région d'étude est typiquement saharien, se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'Avril à Septembre) et une autre tempérée (d'Octobre à Mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver (A.N.R.H., 2012).

2.1. Température

La température moyenne annuelle est de 22,58 °C, avec 33,41 °C en Juillet pour le mois le plus chaud et 12,34 °C en Janvier pour le mois le plus froid.

2.2. Précipitations

Les précipitations sont très rares et irrégulières (irrégularité mensuelle et annuelle), leur répartition est marquée par une sécheresse presque absolue de mois de Mai jusqu'à au mois de Juillet, et par un maximum de 15,85 mm en Septembre. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 77,01 mm.

2.3. Humidité relative

L'humidité relative de l'air est très faible. Elle est de l'ordre de 21,98 % en Juillet, atteignant un maximum de 53,81 % en mois de Janvier et une moyenne annuelle de 37,77 %.

2.4. Evaporation

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de 527,62 mm/an, avec un maximum mensuel de 76,97 mm au mois de Juillet et un minimum de 17,62 mm en mois de Janvier.

2.5. Insolation

L'ensoleillement est considérable à Ghardaïa, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année. La durée moyenne de l'insolation est de 373 heures/mois avec un maximum de 292 heures au mois d'Avril ; et un minimum de 240 heures au mois de Février. La durée moyenne annuelle est de l'ordre 3375 heures/an.

2.6. Vents

Ils sont de deux types :

- Les vents de sables en Automne, en Printemps et en Hiver de direction Nord –Ouest.
- Les vents chauds (Sirocco) dominant en Eté, de direction Sud Nord ; sont très sec et entraînent une forte évapotranspiration. (BEN SEMAOUNE, 2008). D'après les données de

l'O.N.M. (2013) pour la période de 1996-2012, les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 6,63 m/s.

Tableau 02 : Données météorologiques de la wilaya de Ghardaïa (1996-2012)
(O.N.M., 2013)

Mois	T. (°C)	P. (mm)	H. %	I. (heure)	E. (mm)	V.V. (m/s)
Janvier	12,34	5,05	53,81	248	17.62	5,91
Février	14,38	3,06	44,21	240	25.97	7,69
Mars	16,66	8,23	38,38	275	33.58	6,9
Avril	21,3	11,23	38,63	292	43.18	7,75
Mai	26,11	2,62	28,34	314	50.18	7,09
Juin	30,99	2,12	24,87	334	75.04	7,08
Juillet	33,41	1,17	21,98	337	76.97	6,11
Aout	33,63	9,96	25,61	322	71.15	5,63
Septembre	29,16	15,85	35,30	271	51.47	6,17
Octobre	23,88	8,2	42,74	256	33.07	7,82
Novembre	16,6	3,46	46,94	251	24.57	5,29
Décembre	12,51	6,06	52,47	235	24.82	6,16
moyenne	22,58	77,01*	37,77	3375*	527.62*	6,63

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

2.7. Synthèse climatique

2.7.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

A partir du tableau (2) qui se base sur l'enregistrement des données de précipitations et des données de températures mensuelles sur une période de 17 ans, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer la période sèche.

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

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

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

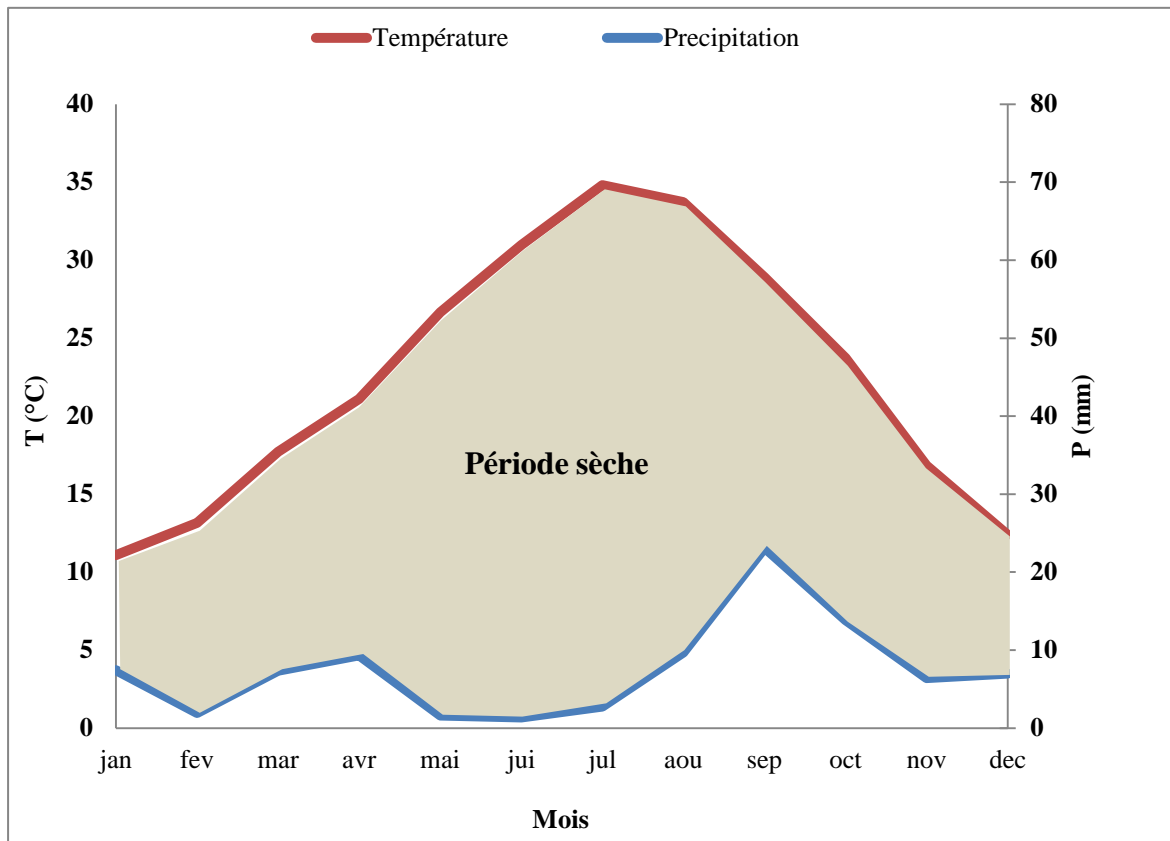


Figure 02 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa (1996 - 2012).

2.7.2. Climagramme d'EMBERGER

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

- La moyenne des minima du mois le plus froid est sur l'axe des abscisses.
- Le quotient pluviométrique (φ_2) d'EMBERGER sur l'axe des ordonnées.

On a utilisé la formule de STEWART adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$\varphi_2 = 3,43 \cdot \frac{P}{M - m}$$

φ_2 : Quotient thermique d'EMBERGER

P : Précipitations moyennes annuelle en mm

M : La température maximale du mois le plus chaud en °C

m : La température minimale du mois le plus froid en °C

D'après la figure (3), la Wilaya de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient thermique (φ_2) est de 7,57.

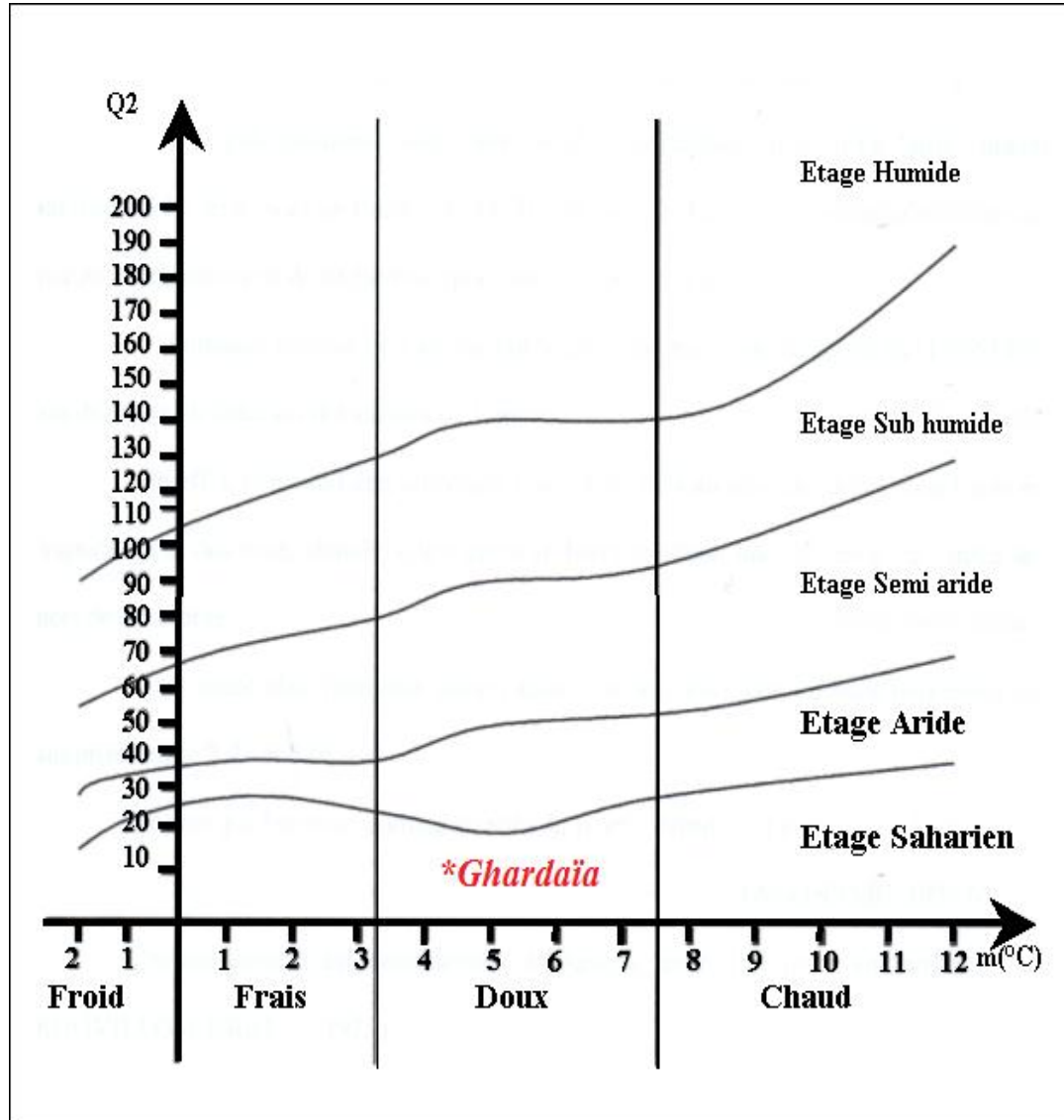


Figure 03: Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (1996 – 2012)

3. 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.

4. Géologie

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

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

Les alluvions Quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques) (Fig.4) (A.N.R.H., 2009).

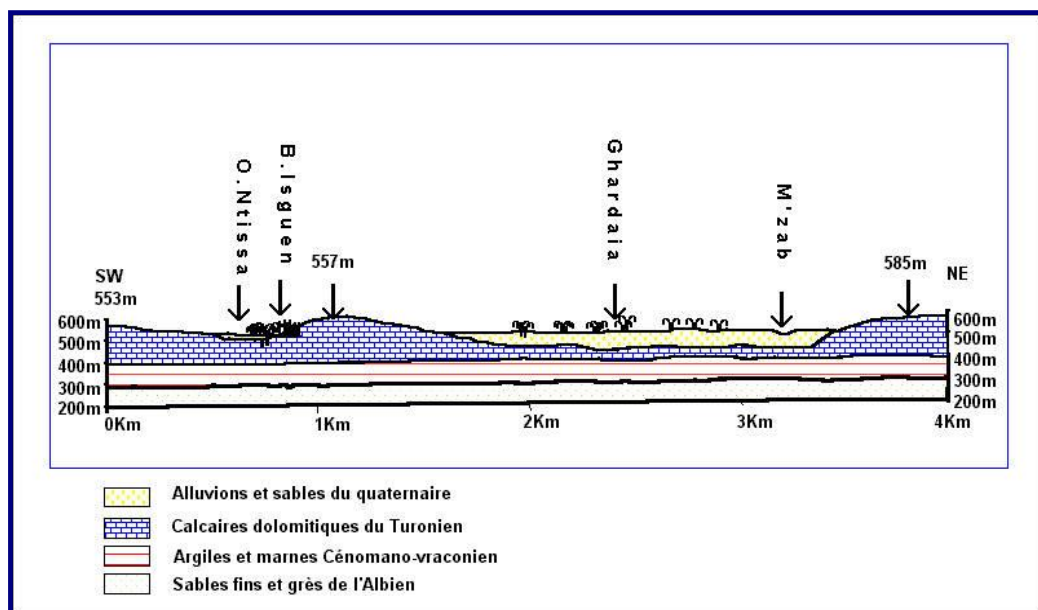


Figure 04 : coupe géologique et schématique du Oued M'Zab (A.N.R.H., 2009).

5. Hydrologie

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

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Fig.5), 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.

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

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

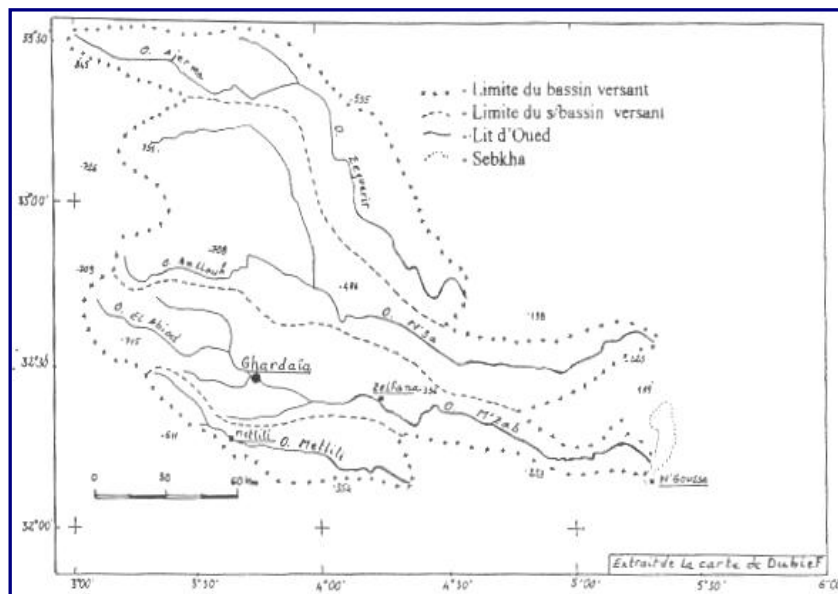


Figure 05 : Bassin versant de la région du M'Zab (A.N.R.H., 2013).

6. Pédologie

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, la zone de départ de l'évaporation devient de plus en plus profonde et la zone d'évaporation de plus en plus basse (D.P.A.T, 2004).

D'après D.P.A.T (2004), en surface, sous l'ardeur du soleil, l'évaporation peut donc appeler l'eau souterraine salée dont les sels imprégneront l'argile. Sols salins et sols argileux vont donc

souvent de pair. Selon (BELERAGUEB, 1996 ; MIHOUB, 2009). Les sols peuvent être classés grossièrement en trois groupes :

- Les sols désertiques (regs) : sols sablonneux et graveleux.
- Les sols limono-argileux : terrasses des vallées.
- Les sols salés (halomorphe), Sebkha.

Généralement les sols sahariens ont une texture sablo limoneuse avec une faible teneur en phosphore, azote et oligo-éléments. Les sols sont aussi caractérisée par un pH élevé qui réduit la disponibilité des oligo-éléments et un taux de calcaire total élevé ayant un effet négatif sur l'assimilation du phosphore, potassium et l'azote par la plante au niveau du sol. On note aussi une faible teneur en matière organique d'où une faible capacité d'échange cationique (< 5 méq/100g du sol) (BELERAGUEB, 1996 ; MIHOUB, 2009).

Selon (BELERAGUEB, 1996 ; MIHOUB, 2009) en dehors de la palmeraie, sur les plateaux, l'érosion éolienne a décapé les éléments fins, ne laissant en surface que les éléments grossiers (Reg). Au niveau de la plaine alluviale (palmeraie), les apports sont assez homogènes et caractérisés par une granulométrie assez grossière ; sable fins, sable fins légèrement limoneux. En profondeur la variabilité est plus grande, on observe des niveaux granulométrique caillouteux et des niveaux argileux.

7. Agriculture

Les terres utilisées par l'agriculture couvrent 1.370.911 ha dont :

- Surface Agricole Utile (S.A.U) : 32745 ha en irrigué en totalité
- Pacages et parcours : 1.337.994 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.

- Cultures maraîchères :	722.400 Qx
- Cultures céréalières :	76.737 Qx
- Cultures fourragères :	446.400 Qx

- Cultures industrielles :	7.790 Qx
- Phoéniculture :	540.000 Qx
- Arboriculture fruitière :	166.474 Qx

8. Présentation du site d'étude

Le terrain expérimental est situé au niveau de la Ferme de BEN HAMOUDA, qui a été créé en 1995 à HASSI EL F'HEL (Fig.06) 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 Ménia, 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).

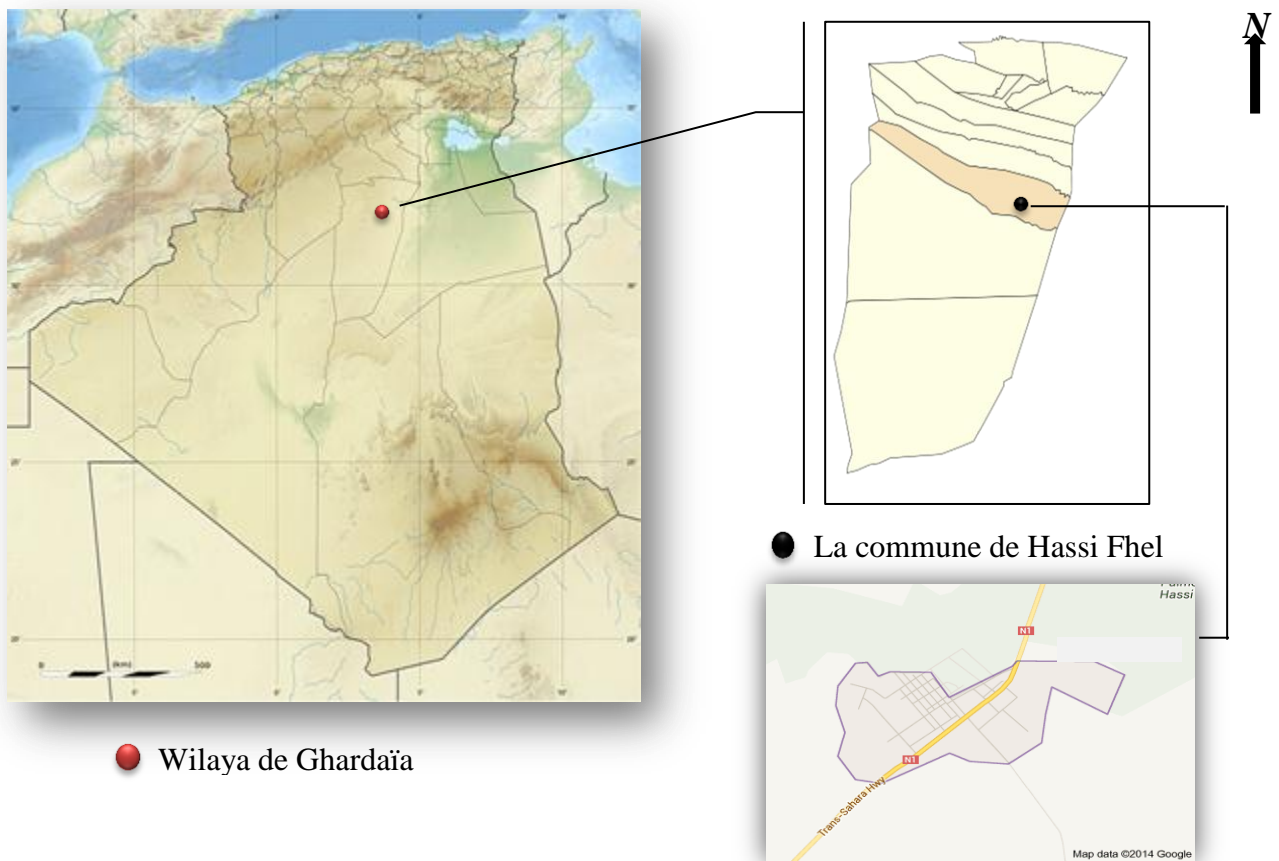


Figure 06 : Localisation géographique de la zone d'étude.

La Ferme du BEN HAMOUDA couvre une superficie totale de 1000 ha, avec une superficie exploitée estimée à 600 ha, cette ferme spécialisée en céréaliculture compte 400 ha de surface céréalière irriguée par 8 pivots dont les superficies varient entre 35, 40 et 50 ha. En plus de la céréaliculture, la phoéniculture trouve sa place avec 5000 pieds couvrant une superficie de 50 ha.

La figure (07), montre l'emplacement des parcelles échantillonnées.

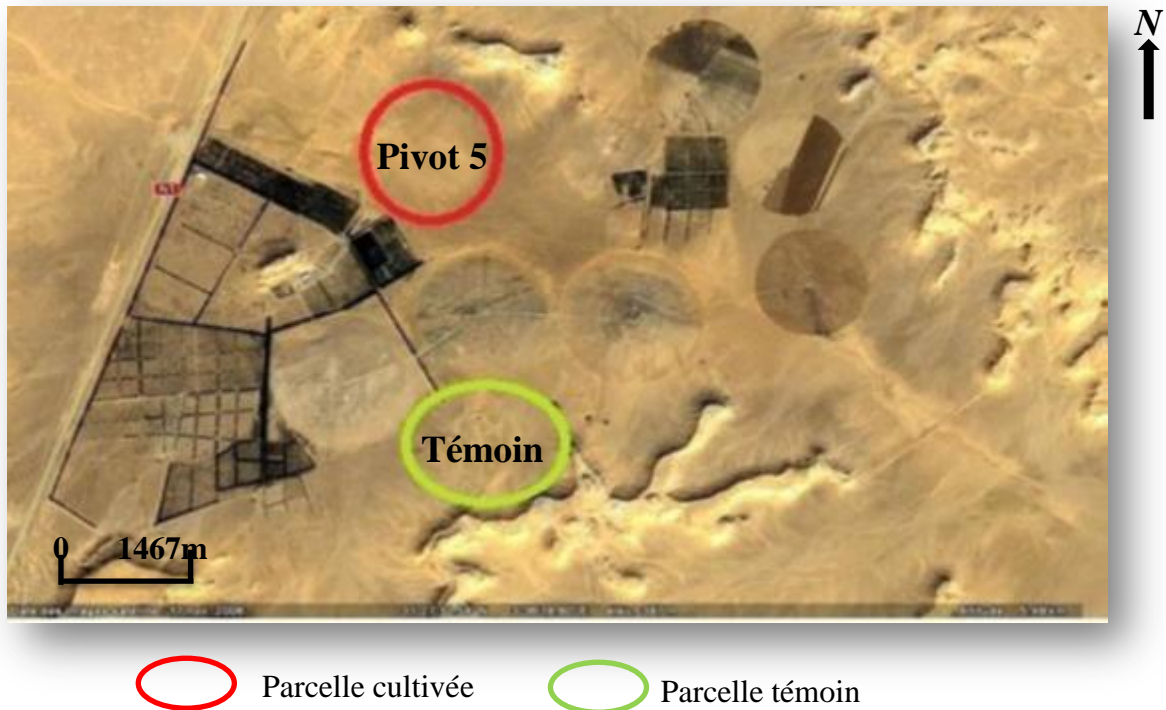


Figure 07 : Localisation des Parcelles étudiées (Google Earth, 2013 modifié).

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent de la nappe du Continental Intercalaire (Albien) et capter par 05 forages.

Chapitre II : Méthodologie du travail

1. Approche méthodologique

L'approche méthodologique choisie dans notre étude permet de caractériser les sols à partir des valeurs mesurées de quelques propriétés du sol et de comparer ces valeurs à un état de référence (témoin), pour déduire l'effet de l'intensification agricole sur ces propriétés du sol à savoir le calcaire actif, le calcaire total, le pH et la salinité.

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

- Le nombre important de pivots (8 pivot) dans le site et l'hétérogénéité dans le nombre d'année de culture.
- 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 les gestionnaires de la ferme.

1.1. Parcelles d'étude

Dans le site d'étude, nous avons choisi la parcelle n°5 qui a été cultivée en céréales pendant quatre (04) campagnes et qui couvre une superficie de 45 ha, et une autre parcelle non cultivée (témoin).



Figure 08 : Parcelle cultivée (GABANI, 2013).



Figure 09 : Parcelle non cultivée (témoin)
(GABANI, 2013).

Les principales initiatives de la conduite de la céréaliculture dans le site d'étude sont synthétisées comme suit :

1.2. 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 du fumure de fond (DSA, 2013).

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.

1.3. 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).

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.

1.4. 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.

1.5. Irrigation

Une pré-irrigation est appliquée pendant une semaine à raison de 500 à 600 mm/ha pour, 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.

2. Expérimentation

2.1. Sur terrain (Echantillonnage)

Le sol de la parcelle irriguée par pivot est échantillonné à la tarière sous une profondeur entre 0-30 cm (la couche arable). Les échantillons sont prélevés selon un maillage systématique de 30 m x 30 m (Fig.10). Le même plan d'échantillonnage est appliqué dans une parcelle non cultivée (témoin).

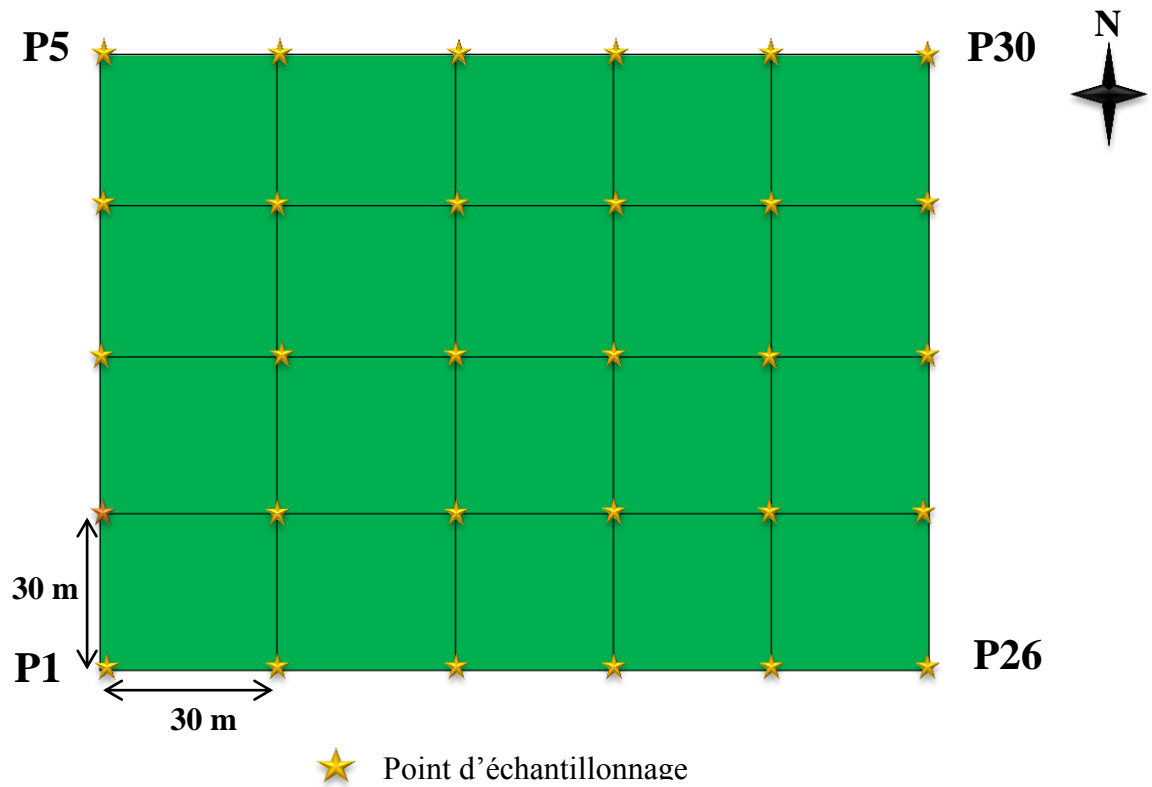


Figure 10 : Schéma récapitulatif du plan d'échantillonnage.

2.2. 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.



Figure 11 : Echantillons prélevés.

2.3. Méthodes d'analyse

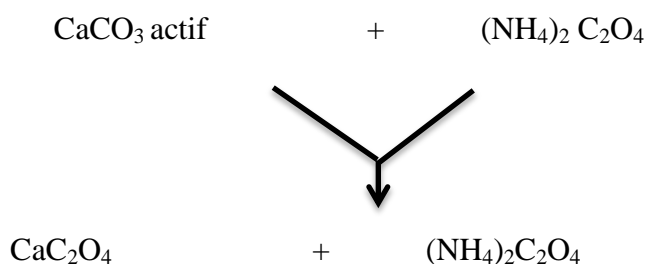
Les analyses concernent, le calcaire actif et le calcaire total, le pH et la conductivité électrique.

2.3.1. Dosage du calcaire actif

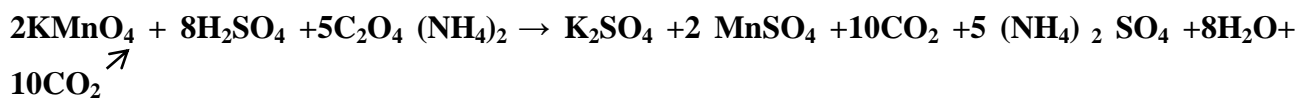
2.3.1.1. Principe

Alors que pour la détermination du calcaire total, on utilise une réaction violente et totale, on pratique ici une réaction modérée qui n'intéresse que les particules calcaire les plus fines ou la surface des particules plus grossières, d'où l'importance du respect des conditions conventionnelles d'agitation (MATHIEU *et al.*, 2009).

Pour le dosage du calcaire actif on utilise la propriété du calcium de se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble (DROUINEAU, 1942 in MATHIEU *et al.*, 2009).



L'excès de solution d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.



Actuellement, dans la plupart des laboratoires spécialisés, on opère la réaction du calcaire actif selon deux méthodes :

- La méthode (A) dite Drouineau 1942 : Couvrant une plage allant de 0 % à 13 % du calcaire actif.
- La méthode (B) dite Drouineau-Galet 1956 : Couvrant une plage allant de 0 % à 35 % du calcaire actif (MATHIEU *et al.*, 2009).

2.3.1.2. Matériel

- Flacon de 500 mL, pour agitation ;
- Flacon ou béchers de 250 mL pour recueillir le filtrat, 1 par échantillon ;
- Eprouvettes de 20, 100, 200 et 250 mL ;
- Pipettes à 1 trait de 1, 2, 5, 10, 20 et 50 mL ;
- Pipettes graduées de 1 et 5 mL ;
- Fioles jaugées de 500 et 1000 mL ;
- Burette graduée de 25 mL au 1/20 avec zéro automatique pour dosage, avec support ;
- Burette automatique ;
- Flacon pour acide sulfurique avec verseur automatique de 25 mL ;
- Entonnoirs en verre ou en plastique 80 mm ;
- Balance de précision à 0,1 mg ;
- Balance d'analyse à 0,1g ;
- Agitateur culbuteur pouvant être réglé à la vitesse de 35 à 40 tr / min ;
- Rampe de filtration ;
- Agitateur magnétique et à plaque chauffante, barreaux aimantés ;
- Plaque chauffante ;
- pH-mètre ;
- Centrifugeuse à vitesse ≥ 3000 tr/min avec tubes de 50 mL ;
- Papier filtre plissé ordinaire.

2.3.1.3. Réactifs

- Eau déminéralisée ayant une conductivité inférieure à $0,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.
- Solution d'oxalate d'ammonium $((\text{NH}_4)_2 \text{C}_2\text{O}_4, \text{H}_2\text{O})$.
- Solution de permanganate de potassium (KMnO_4) $0,02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Solution d'acide sulfurique 1/5 (H_2SO_4) .

2.3.1.4. Mode opératoire

- Peser avec précision 2 g de sol passé au tamis de 2 mm et les introduire dans un flacon de 500 mL.
- Ajouter 50 mL de la solution d'oxalate d'ammonium.
- Agiter 2 heures à l'agitateur culbuteur.

- Filtrer immédiatement sur bécber en rejetant les premiers mL du filtrat.
- Prélever 10 mL du filtrat à la pipette et verser dans une fiole conique de 400 mL
- Ajouter 100 mL d'eau déminéralisée et 5 mL de solution d'acide sulfurique.
- Chauffer vers 60- 70 °C sur plaque chauffante.
- Puis doser immédiatement par la solution de permanganate de potassium jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante soit n mL de permanganate de potassium.
- Doser dans la même condition 10 mL de la solution d'oxalate d'ammonium soit N mL de permanganate de potassium.

2.3.1.5. Calculs

- La différence N-n entre les 2 dosages correspond à la quantité de carbonate de calcium précipité, c'est-à-dire à la quantité d'oxalate d'ammonium qui a réagi avec le calcaire.
- 1mL de solution de permanganate de potassium correspond à 0,005 g de carbonate de calcium.
- La quantité de calcaire actif dans les 10mL du filtrat est égale à :
- $(N - n) \times 0,005 \text{ g}$
- Dans la prise d'essai, elle est égale à :
- $(N - n) \times 0,005 \text{ g} \times \frac{V}{A} \text{ g}$

Où :

- V : volume initial,
- A : aliquote.

Dans 100 g de terre, la quantité de calcaire actif est alors égale à :

- $(N - n) \times 0,005 \text{ g} \times \frac{V}{A} \times \frac{100}{S} \text{ g}$
- $(N - n) \times 0,005 \text{ g} \times \frac{V}{A} \times \frac{100}{2} = 1,25 (N - n) \text{ en } \% \text{ de calcaire actif.}$

2.3.1.6 Normes

Une échelle de résistance de porte greffe est corrélée à cet indice.

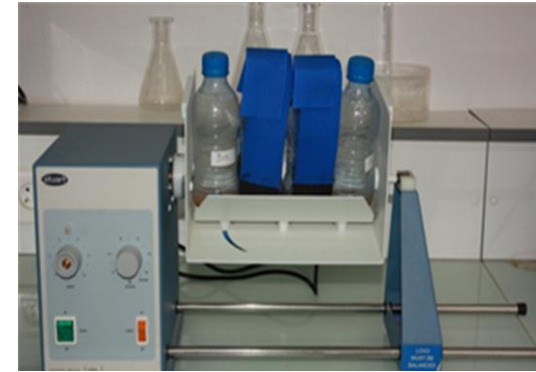
- 0 à 7%.....effet considéré comme nulle.
- 7 à 15%.....effet sensible.
- > 15%.....effet néfaste.



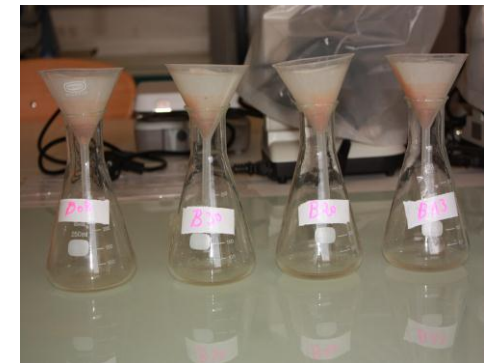
Peser avec précision 2g de sol



Ajoutez 50 mL de Solution d'oxalate d'ammonium préparée



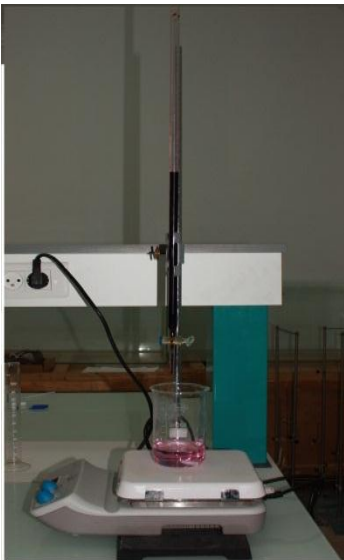
Agitez pendant 2 heures



- Filtrer immédiatement sur béccher le filtrat
- Prélevez 10 mL du filtrat
- Ajouter 100 mL d'eau déminéralisée et 5 mL de solution d'acide sulfurique.



- Chauffer vers 60-70 °C sur un bain marée



Doser immédiatement par la solution de permanganate de potassium jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante

Doser dans la même condition 10 mL de la solution d'oxalate d'ammonium soit N mL de permanganate de potassium.

Figure 12 : Dosage du calcaire actif.

2.3.2. Dosage du calcaire total

2.3.2.1. Méthode de calcimètre de Bernard

2.3.2.1.1. Principe

On décompose par un acide (acide chlorhydrique) le carbonate de calcium contenu dans l'échantillon de terre et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction à la température et à la pression atmosphérique : (MATHIEU et *al.*, 2009).



2.3.2.2. Etalonnage du calcimètre

- Peser 100 mg de carbonate de calcium et verser dans le flacon ;
- Rassembler au fond à l'aide de 5 ml d'eau déminéralisée, introduire l'acide chlorhydrique dans le flacon à l'aide d'une pince ;
- Vérifier que le niveau du liquide dans le tube gradué est au zéro et adapter le flacon au calcimètre ;
- Egaliser les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre ;
- Fermer le tube à l'aide de la pince de Mohr ;
- Prendre le flacon par son bouchon et renverser l'acide dans le flacon, agiter ;
- Attendre la réaction soit complète : 1 min suffit pour le sel pur ;
- A l'aide du niveau, égaliser à nouveau les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre ;
- Lire le volume dégagé : V_1
- Recommencer l'opération avec une prise d'essai de 200mg de carbonate de calcium ;
- Lire le volume dégagé : V_2
- Vérifier que : $V_2 = 2V_1$

2.3.2.3. Dosage du calcaire total

- Peser 0,3 g de carbonate de calcium et verser dans le flacon
- Rassembler au fond à l'aide de 5ml d'eau déminéralisée, introduire l'acide chlorhydrique dans le flacon à l'aide d'une pince
- Vérifier que le niveau du liquide dans le tube gradué est au zéro et adapter le flacon au calcimètre
- Egaliser les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre
- Fermer le tube à l'aide de la pince de Mohr
- Prendre le flacon par son bouchon et renverser l'acide dans le flacon, agité
- Attendre la réaction soit complète : 1 min suffit pour le sel pur
- A l'aide du niveau, égaliser à nouveau les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre
- Lire le volume dégagé : V_3
- Noter la température de l'air ambiant
- Recommencer l'opération avec une prise de 1g de terre, rassembler avec à l'aide de quelques gouttes d'eau déminéralisée, introduire l'acide chlorhydrique dans le flacon à l'aide d'une pince
- Lire le volume dégagé : V_4

2.3.2.4. Mesure

Le pourcentage du calcaire est alors calculé d'après la relation suivante :

$$x (\%) = \frac{30 V_4}{V_3 P}$$

Avec ;

x: pourcentage de carbonate de calcium

P : prise d'essai en gramme

V_3 : volume de CO_3 en ml dégagé par le carbonate de calcium contenu dans la prise de terre P

V_4 : volume de CO_3 en ml dégagé par 0,3 g de carbonate de calcium

2.4. Mesure du pH

2.4.1. 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 ou la concentration en ions est connue (MATHIEU *et al.*, 2009).

2.4.2. Mesure

- Peser 10 g de terre dans un bécher.
- Ajouter 50 ml 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.

2.5. Mesure de la conductivité électrique

2.5.1. 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).

2.5.2. Mesure

- Peser 10 g de terre dans un bécher.
- Ajouter 50 ml 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.

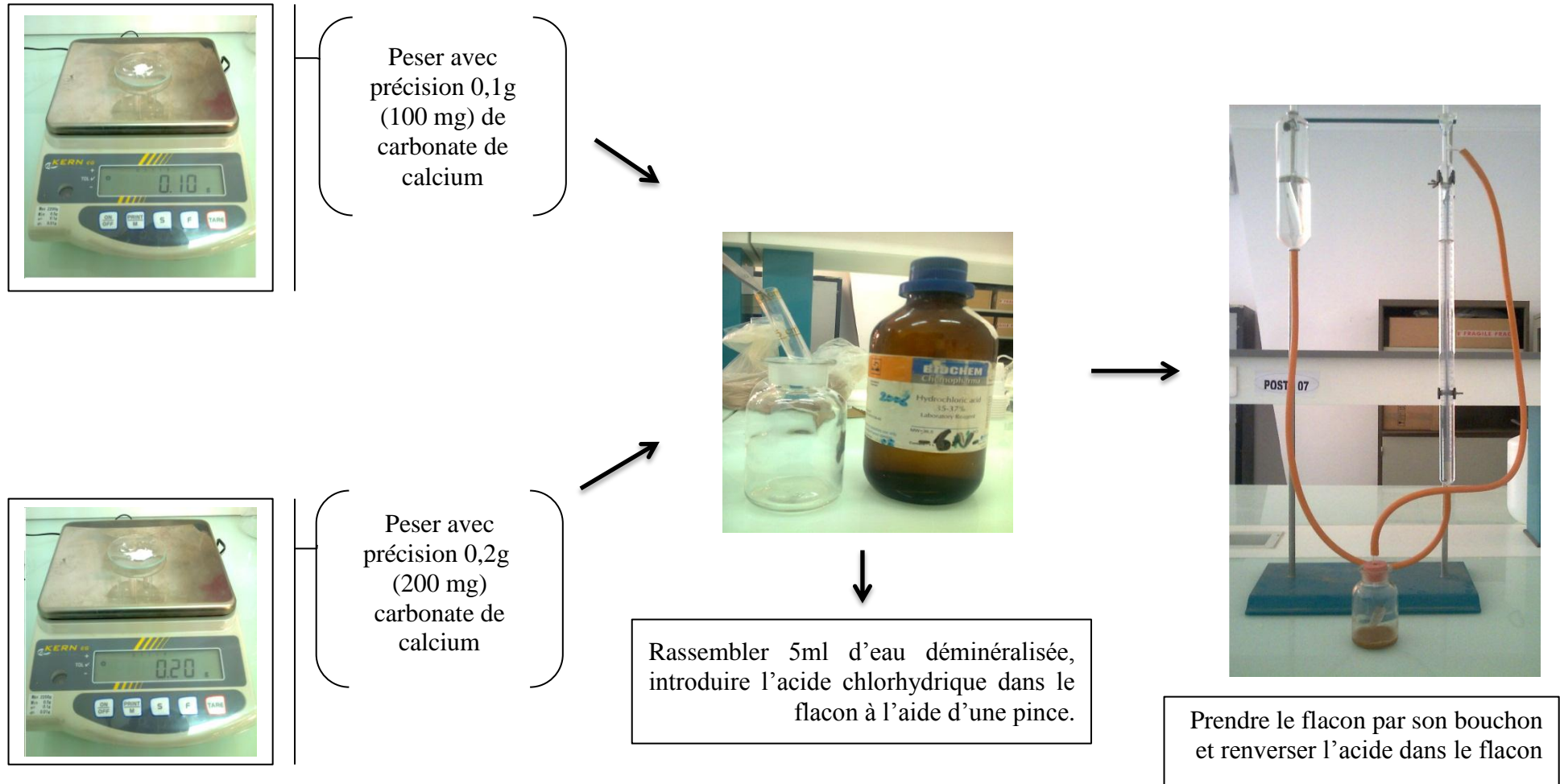


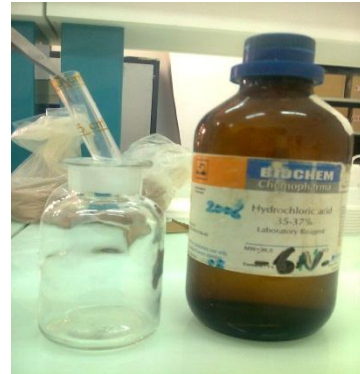
Figure 13 : Etalonnage du calcimètre.



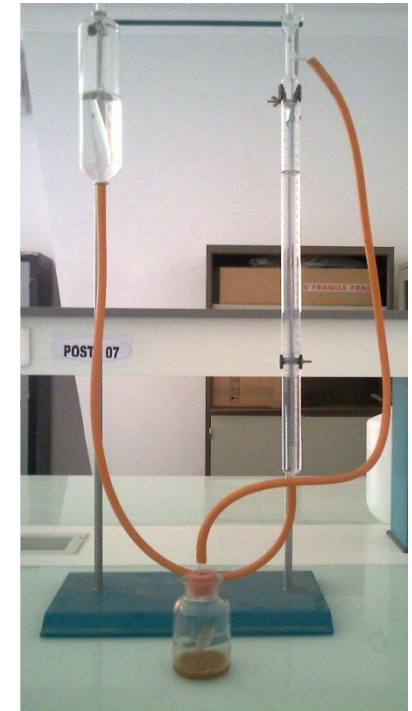
Peser avec
précision 0,3g
(300 mg)
carbonate de
calcium



Peser avec
précision 1g
du sol



Rassembler 5ml d'eau déminéralisée,
introduire l'acide chlorhydrique dans le
flacon à l'aide d'une pince.



Prendre le flacon par son bouchon
et renverser l'acide dans le flacon

Figure 14 : Dosage du calcaire total.



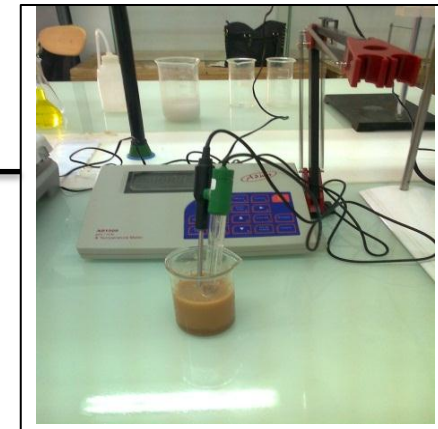
Peser avec
précision 10g
du sol



Ajouter 50ml d'eau
deminéralisée



Agiter durant 2 minutes



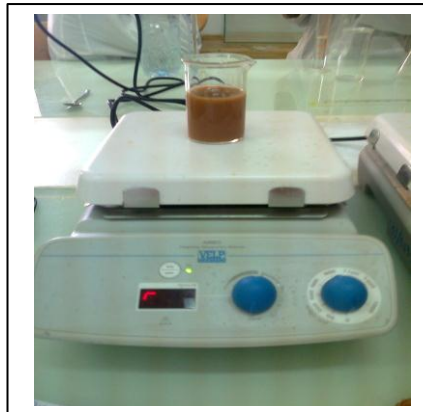
Plonger l'électrode et noter la valeur du pH.



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 15 : Analyses du pH et de la conductivité électrique.

3. Analyses statistiques

3.1. 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

3.2. 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).

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

3.3. Analyse de la variance à un facteur

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

Les traitements des données obtenues fait appel à des approches statistiques. Les résultats obtenus pour chaque paramètre seront interprétés statistiquement. D'après DAGNILLIE (1975) l'analyse de la variance consiste à étudier la comparaison des moyennes à partir de la variabilité des échantillons. Il permet suivant le niveau de la signification de déterminer l'influence des facteurs étudiés ou des interactions entre les facteurs. La probabilité inférieure à 0,001 donne un effet très hautement significatif, à 0,01 un effet hautement significatif et à 0,05 un effet significatif et pour une probabilité supérieure à 0,05 on considère que l'effet n'est pas significatif.

3.4. 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.

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

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

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

4. Modélisation géostatistique

A l'origine, l'introduction d'une approche mathématique dans le contexte de la prospection minière vise essentiellement à évaluer le volume d'un gisement à partir de mesures ponctuelles de la hauteur de ce gisement. Plus généralement, la modélisation géostatistique intervient aujourd'hui dans tous les problèmes de cartographie (DESPAGNE, 2006).

En pratique, il est naturel de distinguer 2 deux types de variabilités dans les mesures d'un phénomène : d'une part, des variations spatiales à l'échelle de la plage d'observation et d'autre part des variations locales autour de la tendance spatiale. Dans le cas de la modélisation de la variabilité intra-parcellaire (CAUSEUR, 1993).

4.1. Variogramme expérimental

Le variogramme expérimental est une forme simplifiée d'outils d'analyse exploratoire des données plus élaborés, tel le nuage variographique. Si ce dernier n'est pas nouveau, l'informatique permet d'obtenir de façon quasi instantanée des graphiques dont l'élaboration pouvait demander une année de calcul à la main dans les années 50 (Gandin, 1963).

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

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

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

La distribution des points de mesures à un effet sur le modèle de variogramme, 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).

4.2. 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).

4.3. Krigeage

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.

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 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).

Chapitre III : Résultats et discussions

1. Etude de la variation spatiale des paramètres étudiés

1.2. Variation spatiale du calcaire total

1.2.1. Analyses statistiques

Les résultats analytiques du calcaire total des 30 échantillons prélevés de l'horizon de surface sous une profondeur de 0 à 30 cm, selon un maillage systématique de 30mx30m dans deux parcelles l'une cultivée et l'autre non cultivée, ont montrés que la teneur en calcaire total dans les échantillons étudiés varié entre 0,97 % à 14,72 % avec une moyenne de $5,74 \pm 3,35$ % dans la parcelle cultivée et de 1,5 % à 7,5% avec une moyenne de $3,66 \pm 1,32$ % dans la parcelle non cultivée.

Tableau 04: Statistiques descriptives du CaCO₃ total dans le site d'étude (en %).

	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	CV%
Parcelle non cultivée	1,50	7,50	3,66	1,32	36,16
Parcelle cultivée	0,97	14,72	5,74	3,35	58,47

L'analyse en boîtes à moustaches (Fig.16) montre une augmentation du taux du calcaire total dans la parcelle cultivée par rapport au témoin avec une augmentation moyenne annuelle (TVA) de l'ordre de $0,52 \pm 0,75$ %.

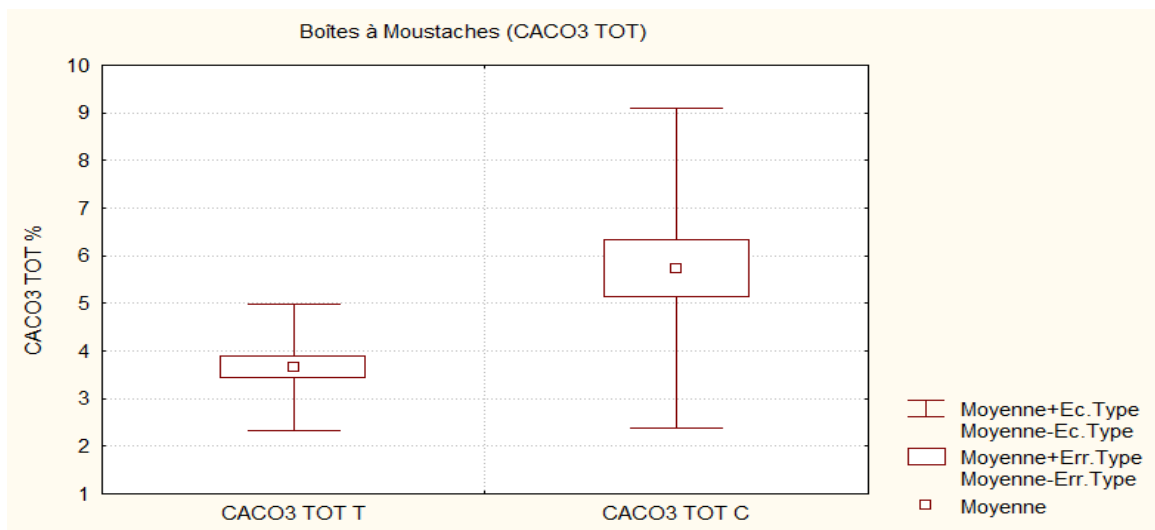


Figure 16 : Boite à moustaches de la variation du calcaire total du sol.

L'analyse de la variance à un facteur a révélé que cette augmentation est hautement significative ($F^{1,58} = 9,96$, $P = 0,003$, H.S.) (Tabl.05).

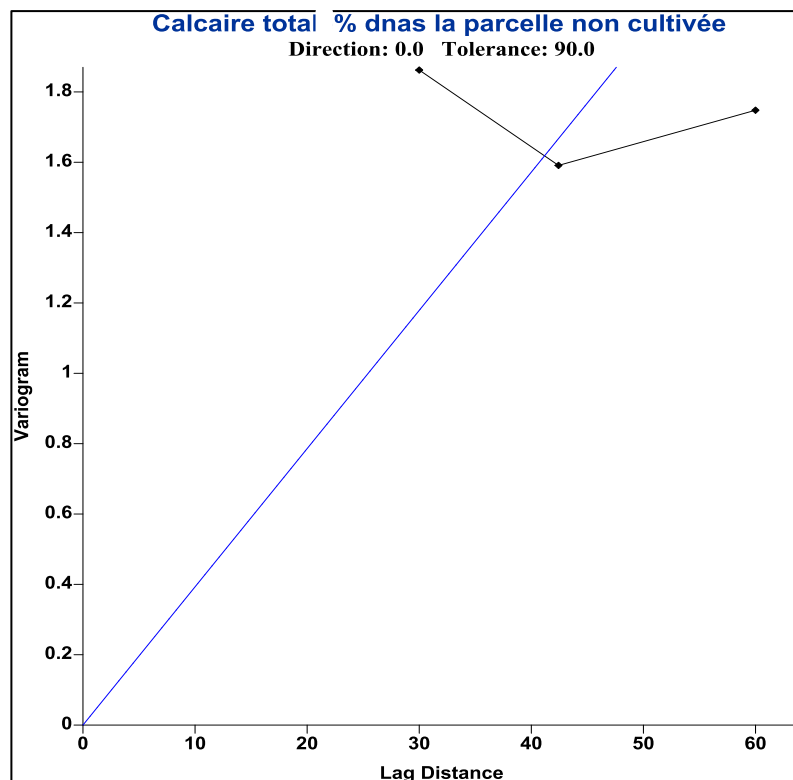
Tableau 05 : ANOVA à un facteur : calcaire total dans la parcelle cultivée et non cultivée.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	64,71	1,00	64,71	9,96	0,003	7,09
A l'intérieur des groupes	377,01	58,00	6,50			
Total	441,72	59,00				

1.2.2. Analyse variographique

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).

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

**Figure 17** : Variogramme du calcaire total dans la parcelle non cultivée.

D'après la figure (17), le variogramme expérimental s'ajuste au modèle linéaire qui explique la variation spatiale du calcaire total dans la parcelle non cultivée avec une pente de 0,0393.

Ce variogramme prend trois points essentiels à des valeurs successivement 30 m, 42 m, et 60 m. La variation spatiale du CaCO_3 dépend de la distance entre les échantillons dans un intervalle de 30-60 m. Au-delà de 60 m, la variation du calcaire total du sol dans la parcelle non cultivée est indépendante de la distance entre les échantillons.

Dans la parcelle cultivée, la relation entre les points est dépendante avec une pente de l'ordre de 0,222. Les valeurs représentant la distance fluctuent entre trois points dont la valeur minimale est de 28 m et la valeur maximale atteint 60 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 calcaire total dans la parcelle cultivée.

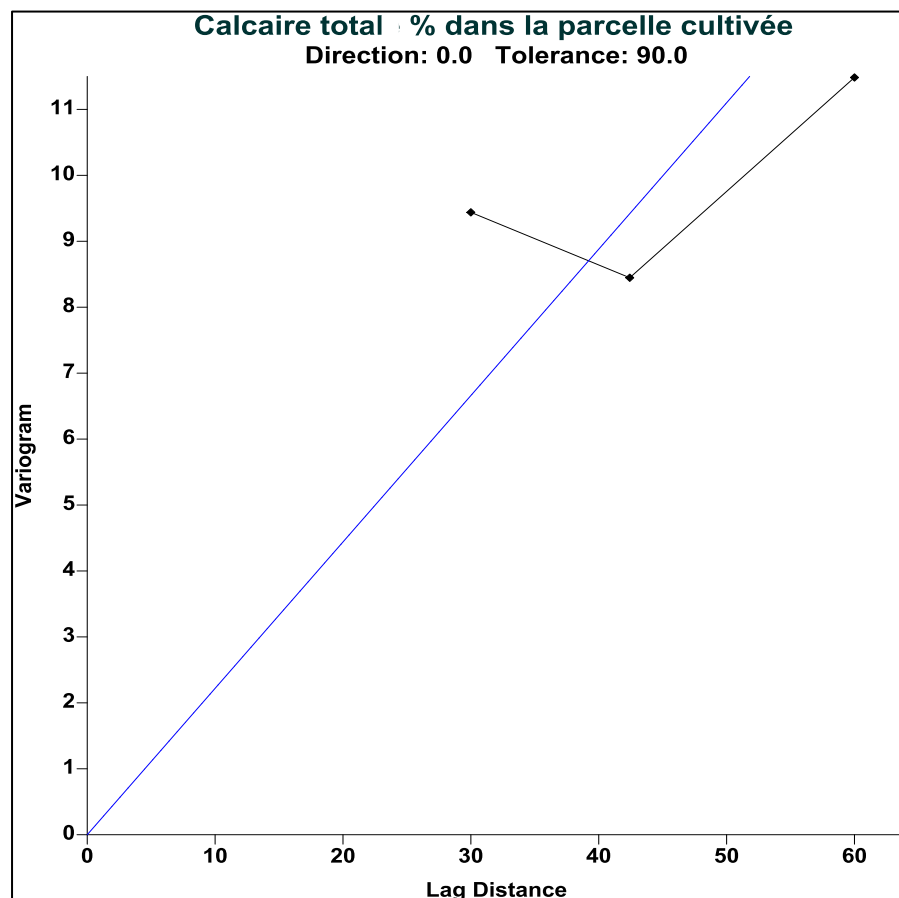


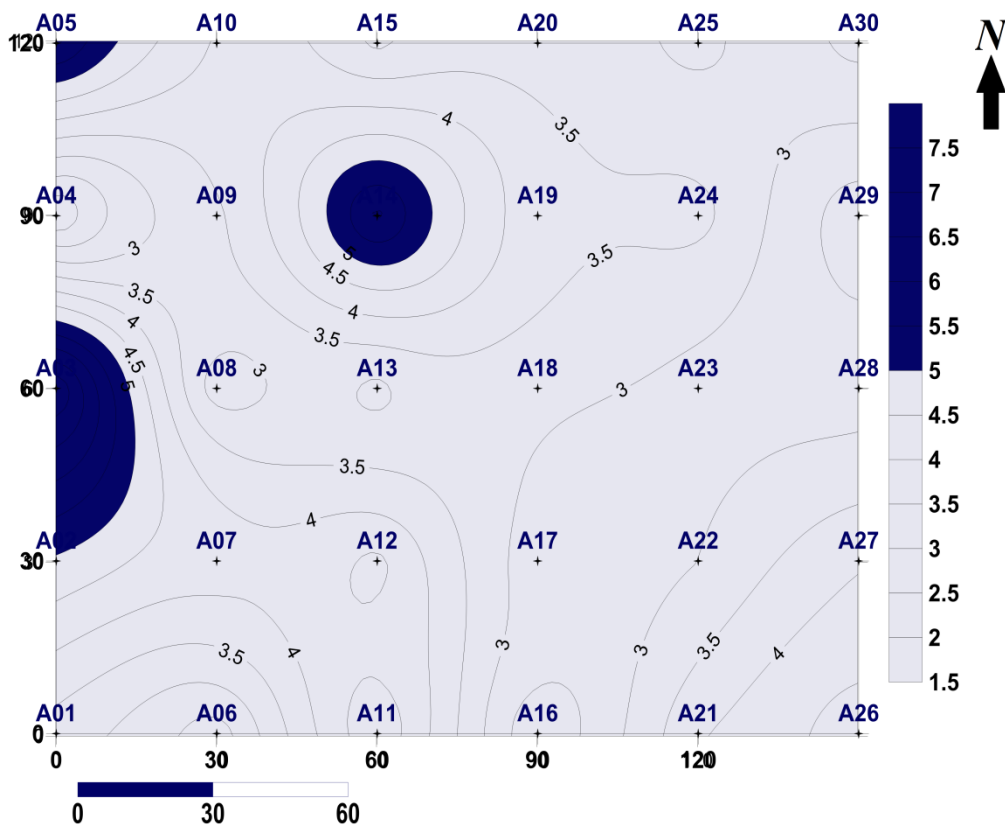
Figure 18 : Variogramme du calcaire total dans la parcelle cultivée.

1.2.3. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage

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

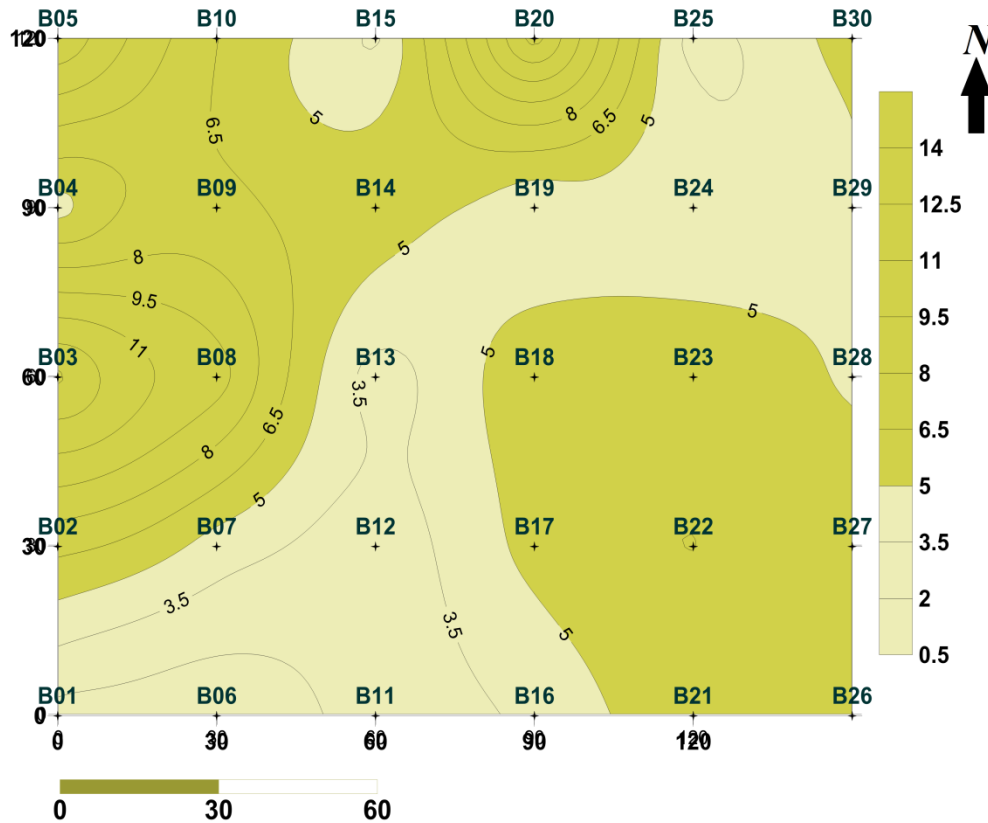
La carte thématique est consacrée à la représentation de la distribution spatiale d'un phénomène, d'une variable (exemple cartes de la population, de la végétation, de l'industrie, etc.) (BOSSON et EVRARD, 2005).

La carte (01), illustre la distribution spatiale du taux de calcaire total du sol dans la parcelle non cultivée. On note que le taux de calcaire total est représenté par deux classes ; la première oscille entre 1,5 et 5 % (non à peu calcaire) tandis que la deuxième est de 5 jusqu'à 7,5 % (peu à modérément calcaire). La variation spatiale est élevée dans la parcelle non cultivée avec un coefficient de variation de 36,16%.



Carte 01 : Répartition spatiale du CaCO_3 dans la parcelle non cultivée.

Par ailleurs, on constate que les valeurs les plus faibles du calcaire total sont enregistrées dans le centre de la parcelle cultivée (carte 02) avec une variation entre 0,5 à 5 %, le sol demeure peu calcaire. Le calcaire total se concentre essentiellement au Nord-Ouest et au Sud-Est de la parcelle avec des teneurs supérieures à 5 % (modérément calcaire). Le coefficient de variation est de l'ordre de 58,47 % dans la parcelle cultivée, ce qui montre une variation spatiale très élevée.



Carte 02 : Répartition spatiale du CaCO_3 dans la parcelle cultivée.

1.3. Variation spatiale du calcaire actif

1.3.1. Analyses statistiques

Les résultats analytiques des 30 échantillons prélevés dans le site étudié sont représentées dans le tableau (06). Nous observons que les taux du calcaire actif varient entre 0,94 % à 7,31 % dans la parcelle non cultivée avec une moyenne de $4,00 \pm 1,73$ % et de 0,94 % à 4,56 % dans la parcelle cultivée avec une moyenne de $3,92 \pm 1,69$ %.

Tableau 06 : Statistiques descriptives du CaCO_3 actif dans le site d'étude (en %).

	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	CV%
Parcelle non cultivée	0,94	7,31	4,00	1,73	43,11
Parcelle cultivée	0,94	4,56	3,92	1,69	43,06

L'analyse en boîtes à moustaches (Fig.19) montre une diminution du taux du calcaire actif dans la parcelle cultivée par rapport au témoin, le TVA étant de l'ordre de $-0,18 \pm 0,53$ %.

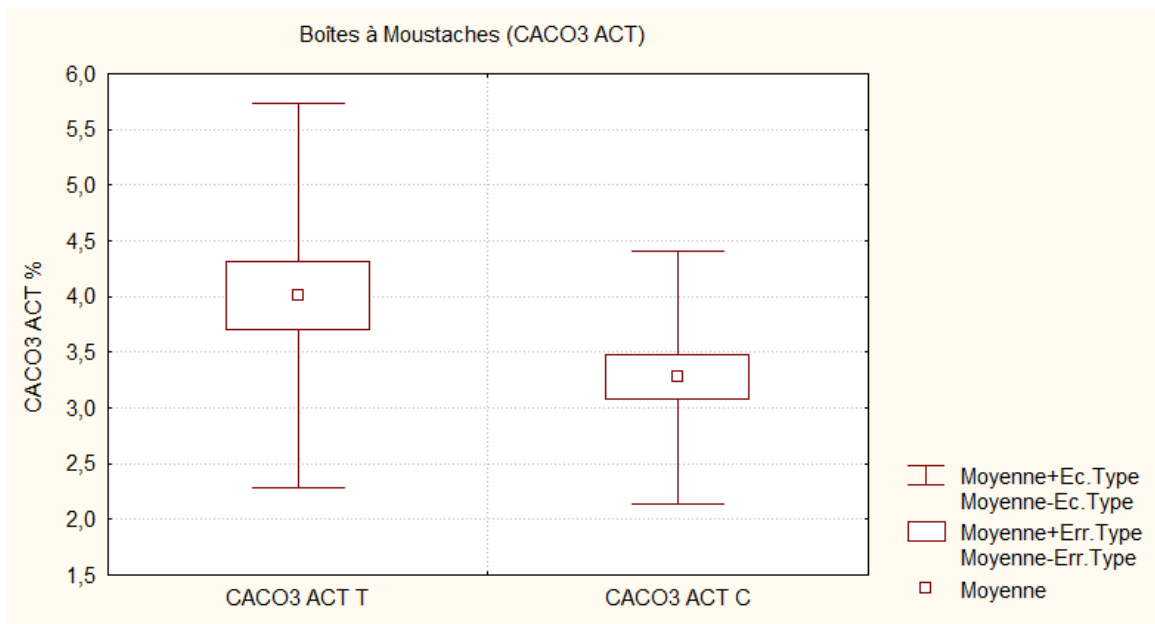


Figure 19 : Boite à moustaches de la variation de CaCO_3 actif du sol.

L'analyse de la variance à un facteur a révélé que cette diminution n'est pas significative ($F^{1,58} = 7,98$, $P = 0,06$, N.S.) (Tabl.07).

Tableau 07 : ANOVA à un facteur : calcaire actif dans la parcelle cultivée et non cultivée.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	7,98	1,00	7,98	3,74	0,06	4,01
A l'intérieur des groupes	123,62	58,00	2,13			

1.3.2. Analyse variographique

La figure (20), représente un variogramme expérimentale de type linéaire, explique la variation spatiale des carbonates du calcium actif (CaCO_3) de la parcelle non cultivée (témoin) avec une pente de 0,0582. Il montre que la variation spatiale du calcaire actif augmente avec la distance jusqu'à 42 m, ensuite elle diminue jusqu'à une distance de 60 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 calcaire actif dans la parcelle non cultivée.

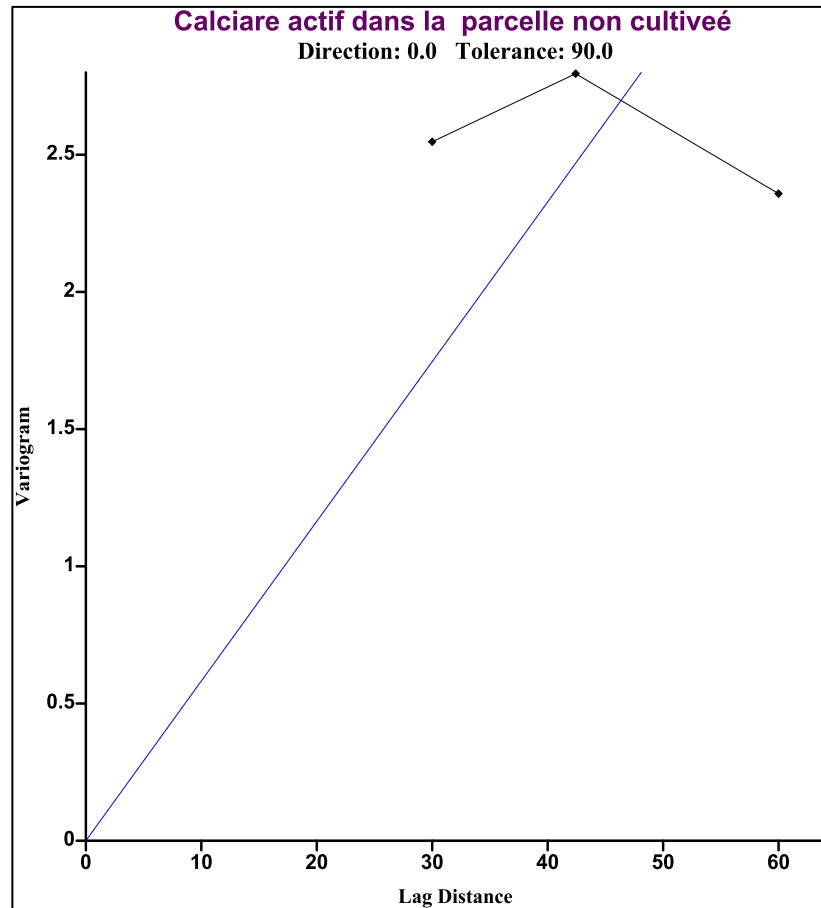


Figure 20 : Variogramme du calcaire actif dans la parcelle non cultivée.

La structure du variogramme s'ajuste à un modèle linéaire qui explique la variation spatiale du calcaire actif dans la parcelle cultivée caractérisé par une pente égale à 0,0265.

Nous observons que la variation spatiale du calcaire actif diminue avec la distance entre les points jusqu'à 42 m, ensuite elle commence à augmenter jusqu'à 60 m. au-delà des 60 m la distance n'a pas d'impact sur la variation spatiale du calcaire actif.

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

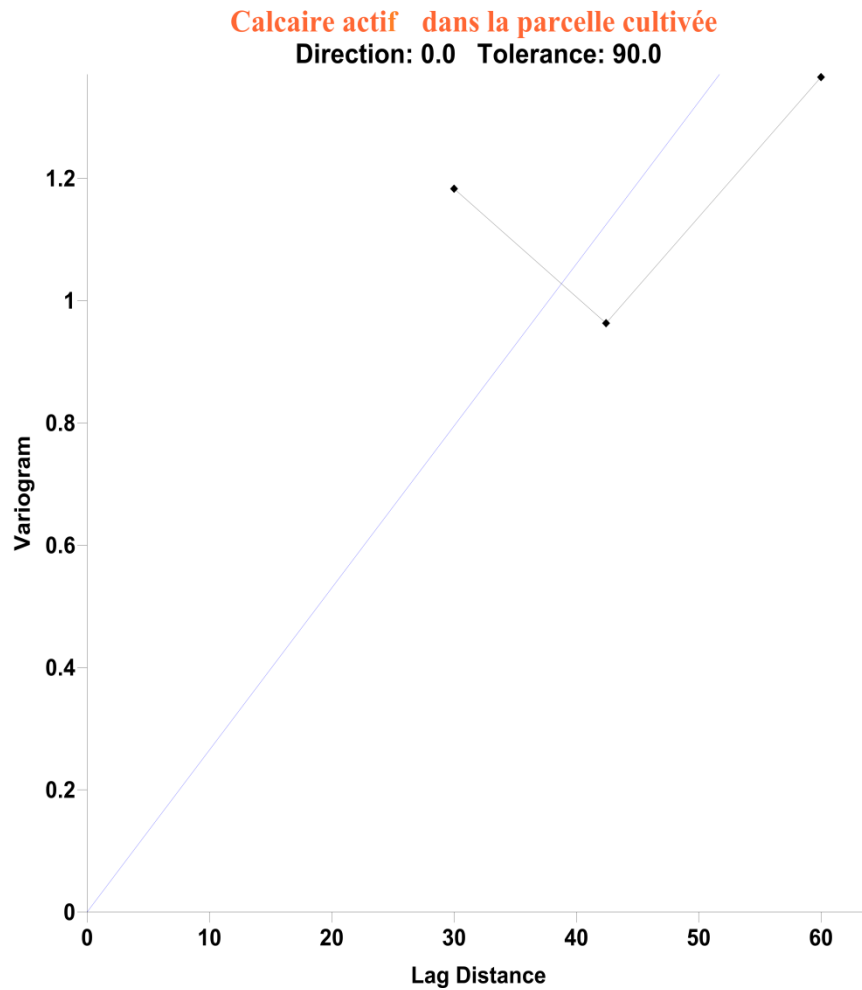
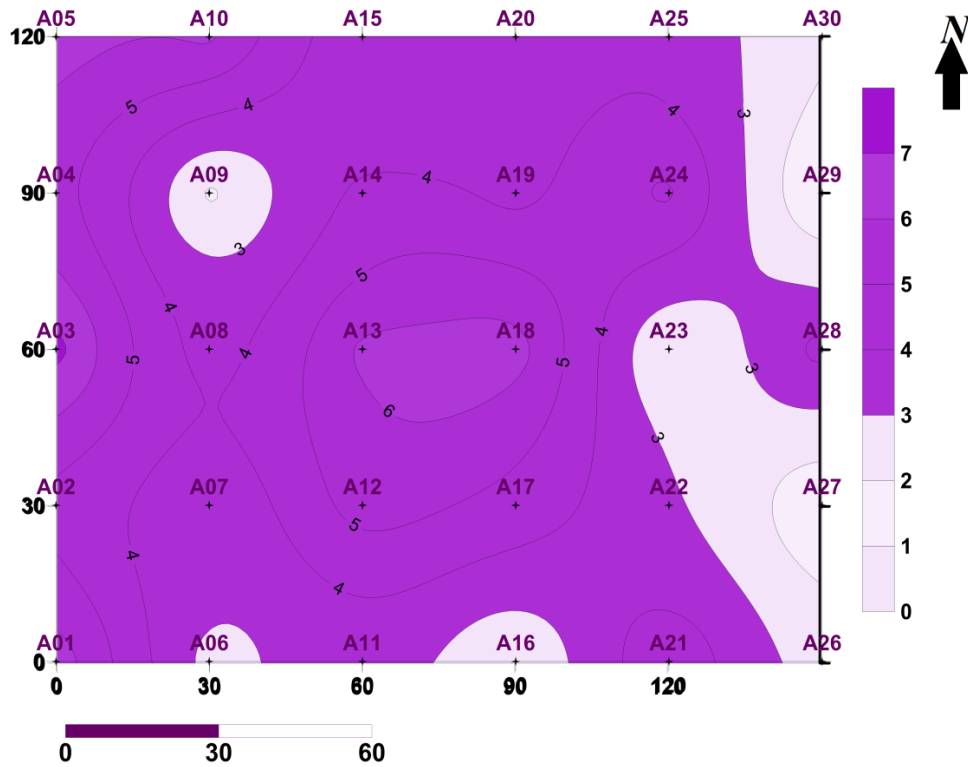


Figure 21 : Variogramme du calcaire actif dans la parcelle non cultivée.

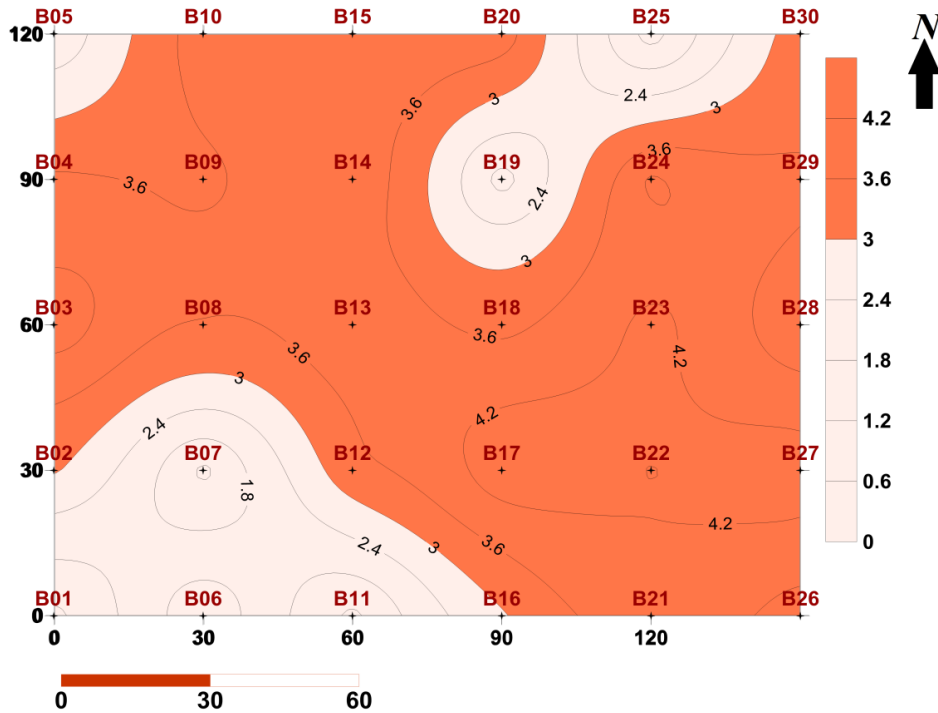
1.3.3. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage

La carte (03) montre la variation spatiale du calcaire actif dans la parcelle non cultivée. Les valeurs sont comprises entre 0,96 % et de 7,42 % avec une forte concentration et accumulation du calcaire actif autour de toute la parcelle. Le coefficient de variation montre une variabilité spatiale élevée avec un CV de 43,11 %.



Carte 03 : Répartition spatiale du CaCO_3 actif dans la parcelle non cultivée.

Dans la parcelle cultivée (carte 04), la variation du calcaire actif est élevée avec un CV de 43,06 %. Les valeurs les plus élevées sont concentrées dans l'est de la zone échantillonnée.



Carte 04 : Répartition spatiale du CaCO_3 actif dans la parcelle cultivée.

1.4. pH

1.4.1. Analyses statistiques

A partir des résultats obtenus des analyses obtenues pour les 30 échantillons dans chaque parcelle étudiée, il est constaté que le pH varie entre 8,44 (modérément alcalin) à 9,14 (fortement alcalin) dans la parcelle témoin avec une moyenne de $9,14 \pm 0,14$ et de 8,45 (modérément alcalin) à 9,20 (fortement alcalin) dans la parcelle cultivée avec une moyenne de $9,20 \pm 0,17$.

Tableau 08 : Statistiques descriptives du pH dans le site d'étude.

	Min pH	Max pH	Moyenne	Ecart-type	CV%
Parcelle non cultivée	8,44	9,14	8,90	0,14	1,62
Parcelle cultivée	8,45	9,20	8,92	0,17	1,90

L'analyse en boîtes à moustaches (Fig.22) montre une légère augmentation du taux du pH dans la parcelle cultivée par rapport au témoin, le TVA étant de l'ordre de $0,04 \pm 0,05$.

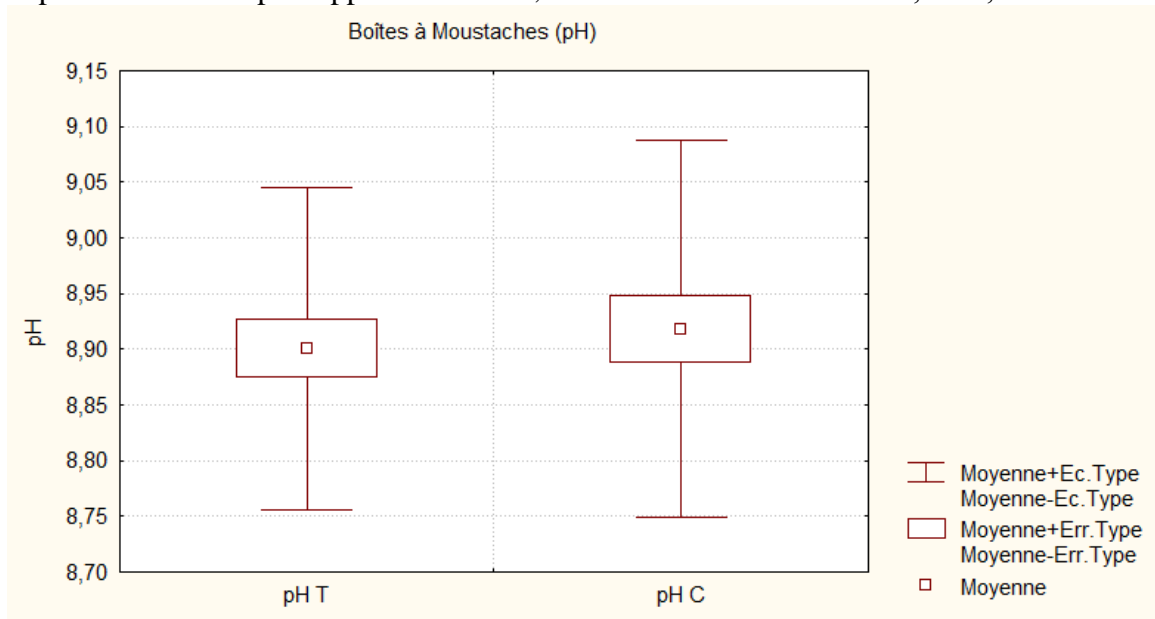


Figure 22 : Boîte à moustaches de la variation du pH du sol.

L'analyse de la variance à un facteur a révélé que cette augmentation n'est pas significative ($F^{1,58} = 0,18$, $P = 0,67$, N.S.) (Tabl.09).

Tableau 09 : ANOVA à un facteur : pH dans la parcelle cultivée et non cultivée.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,00	1,00	0,00	0,18	0,67	7,09
A l'intérieur des groupes	1,44	58,00	0,02			

1.4.2. Analyse variographique

Le variogramme expérimental du pH dans la parcelle témoin est ajusté à un modèle linéaire. Avec une faible pente de 0,00038, sa variation fluctue entre trois points qui possèdent une relation dépendante. La valeur minimale est de 30 m et la maximale atteint 60 m, tandis que le point intermédiaires et de 42 m (Fig.23).

La modélisation géostatistiques 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.

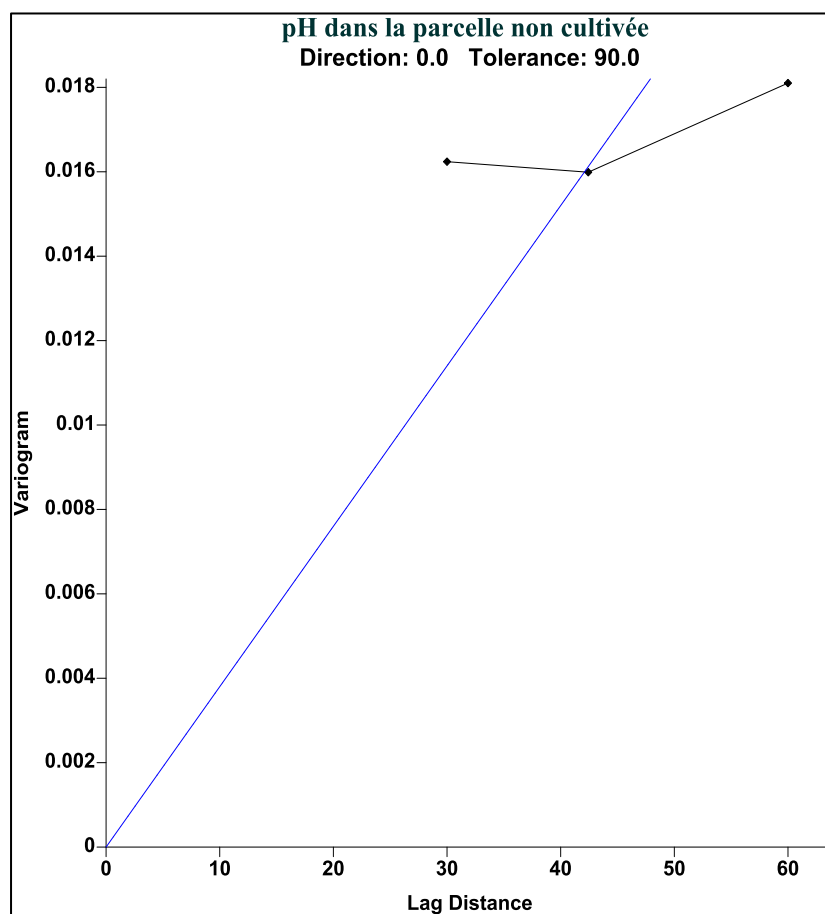


Figure 23 : Variogramme de pH dans la parcelle non cultivée.

Le variogramme expérimental de pH de la parcelle cultivée suit un modèle linéaire, sa pente est de 0,000491 (Fig.24). La variation est en relation avec la distance dans un intervalle de 30 à 60 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.

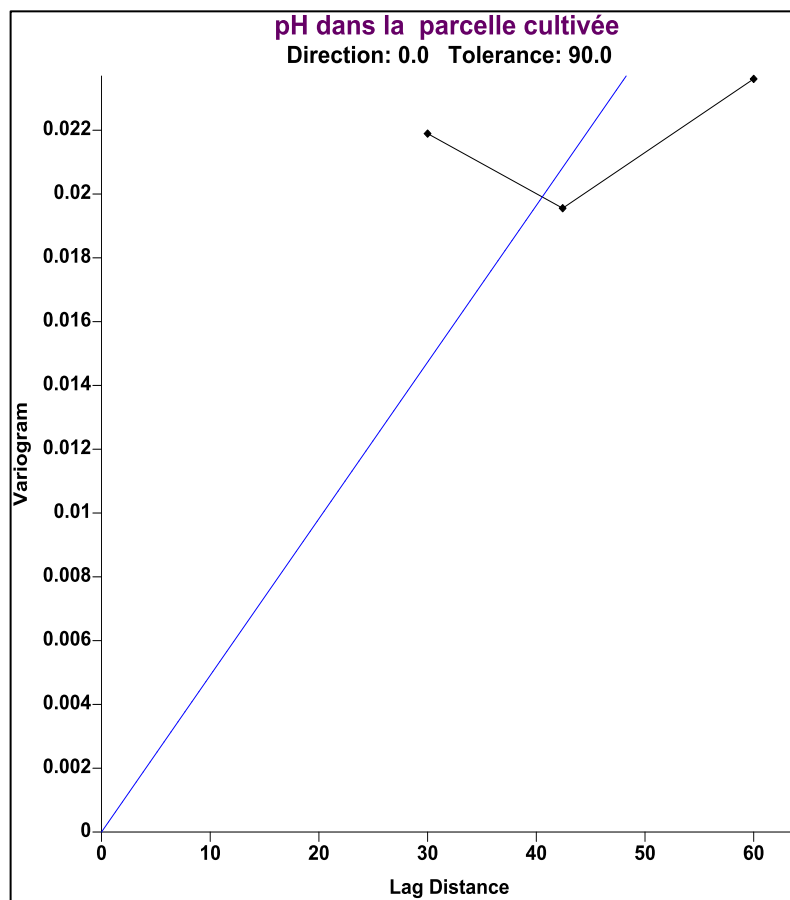
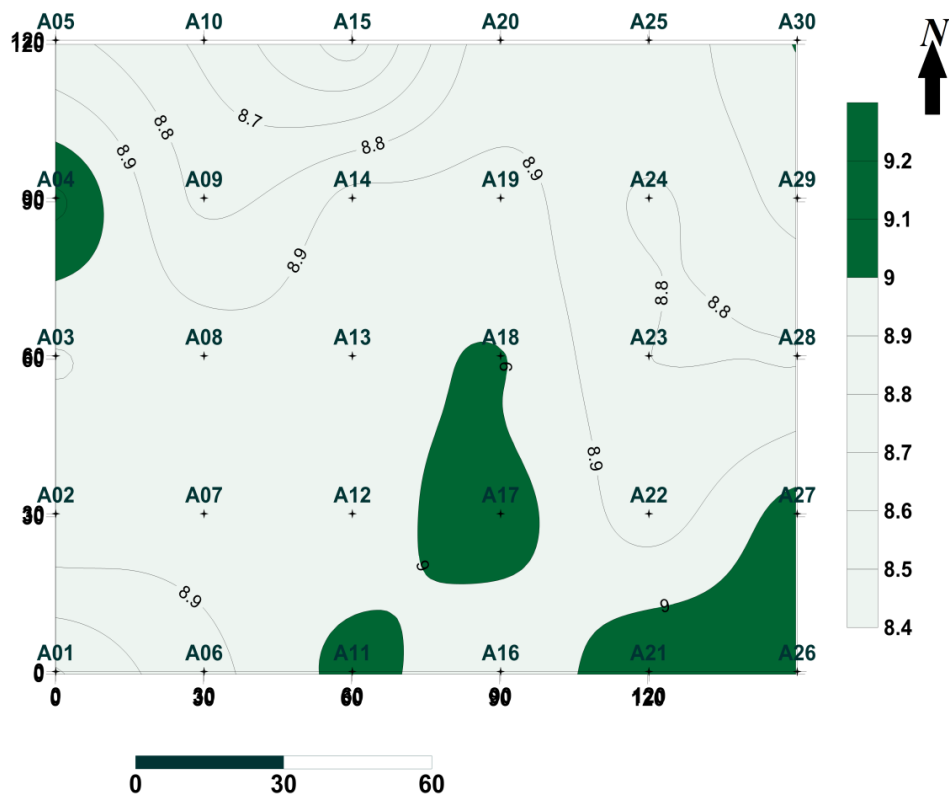


Figure 24 : Variogramme de pH dans la parcelle cultivée.

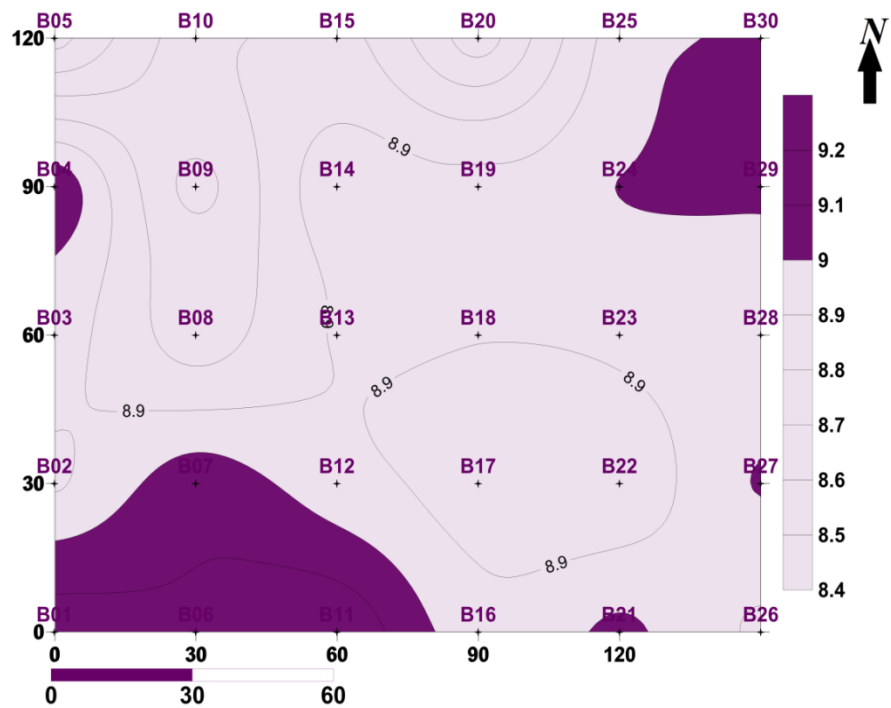
1.4.3. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage

La carte (05), illustre la variation spatiale du pH dans la parcelle témoin qui varie entre 8,4 à 9,2. Le sol demeure modérément à fortement alcalin. Cette variation est considérée comme faible avec un coefficient de variation de 1,62 %.



Carte 05 : Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée.

D'après la carte (06), le pH présente une variation spatiale faible avec un CV de 1,90 % dans la parcelle cultivée, le pH varie de modérément à fortement alcalin.



Carte 06 : Répartition spatiale du pH dans la parcelle cultivée.

1.5. Salinité

1.5.1. Analyses statistiques

A partir des résultats des analyses de la conductivité électrique du sol, nous observons que le sol de la parcelle non cultivée est non salé avec une CE variant du 0,09 dS/m à 0,26 dS/m avec une moyenne de $0,15 \pm 0,04$ dS/m. Dans la parcelle cultivée, le sol varie du non salé (0,09 dS/m) à faiblement salé (2,06 dS/m) avec une moyenne de $0,34 \pm 0,44$ dS/m.

Tableau 10 : Statistiques descriptives de la salinité dans le site d'étude.

	Min CE	Max CE	Moyenne	Ecart-type	CV%
Parcelle non cultivée	0,09	0,26	0,15	0,04	25,18
Parcelle cultivée	0,09	2,06	0,34	0,44	132,09

L'analyse en boîtes à moustaches (Fig.25) montre une légère augmentation de la salinité du sol dans la parcelle cultivée par rapport au témoin, le TVA étant de l'ordre de $0,05 \pm 0,11$ dS/m.

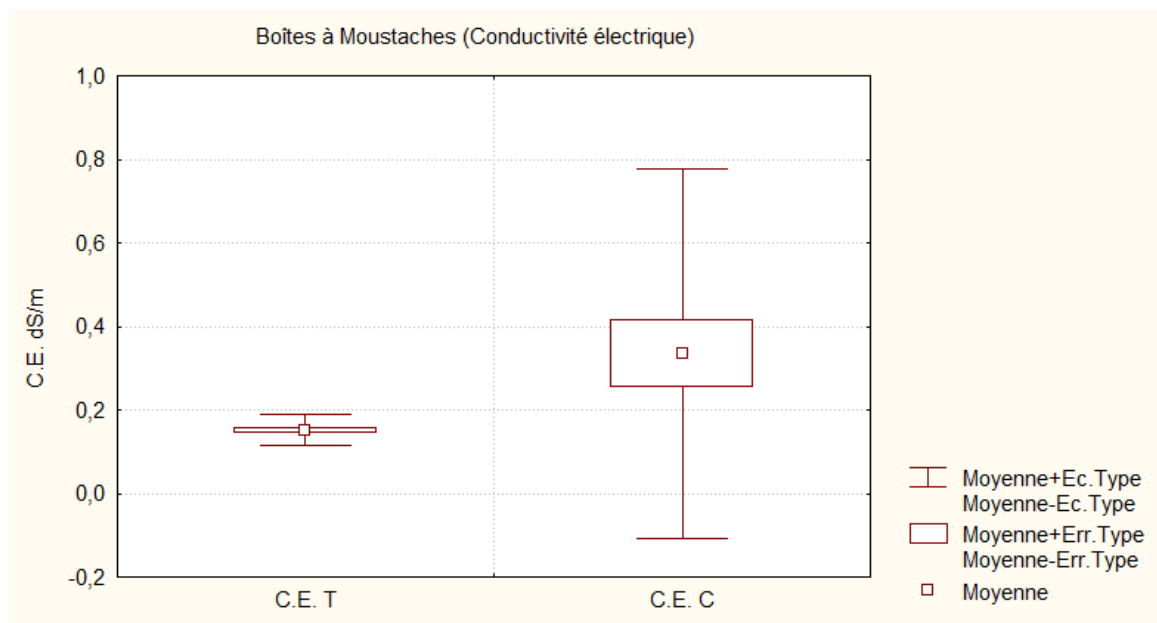


Figure 25 : Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol.

L'analyse de la variance à un facteur a révélé que cette augmentation est significative ($F^{1,58} = 5,09$, $P = 0,03$, S.) (Tabl.11).

Tableau 11 : ANOVA à un facteur : Conductivité électrique dans la parcelle cultivée et non cultivée.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,50	1,00	0,50	5,09	0,03	4,01
A l'intérieur des groupes	5,73	58,00	0,10			

1.5.2. Analyse variographique

Le variogramme de la salinité dans la parcelle non cultivée s'ajuste sur le model linéaire avec une pente de 2.79. La salinité diminue avec la distance jusqu'à 42 m ensuite elle commence à augmenter jusqu'à 60 m, au-delà de 60 m, la variation de la salinité est indépendante de la distance (Fig.26).

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.

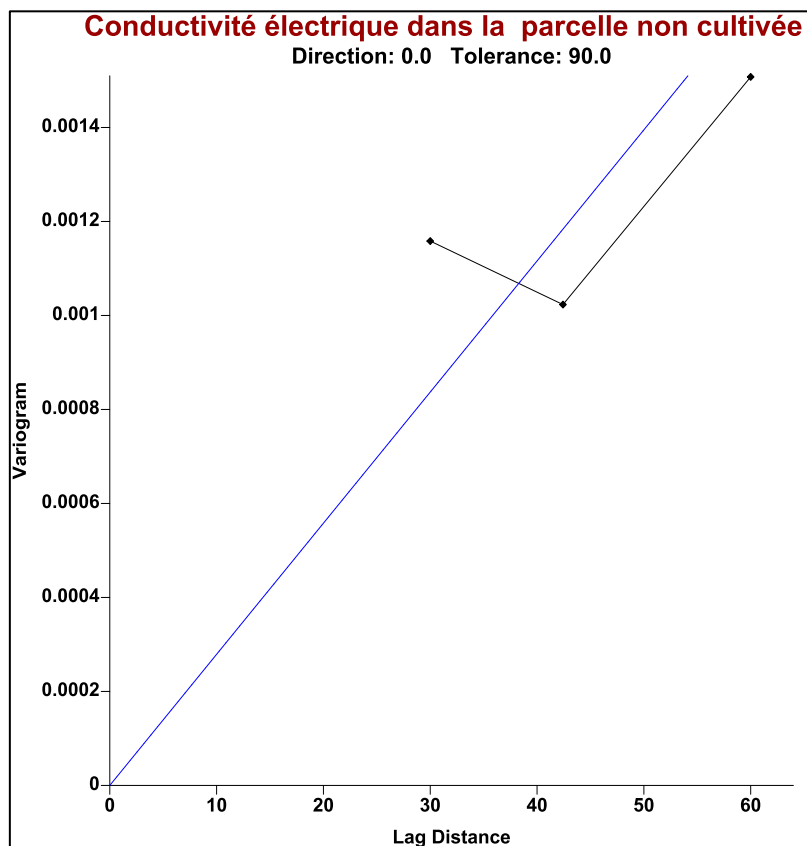


Figure 26 : Variogramme de la conductivité électrique dans la parcelle non cultivée.

Dans la parcelle cultivée, Le variogramme expérimental de la conductivité électrique est ajusté à un modèle linéaire, La relation entre les points est dépendante avec une pente de 0.00345 et un intervalle variant de 30 à 60 m.

La modélisation géostatistiques 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 cultivée.

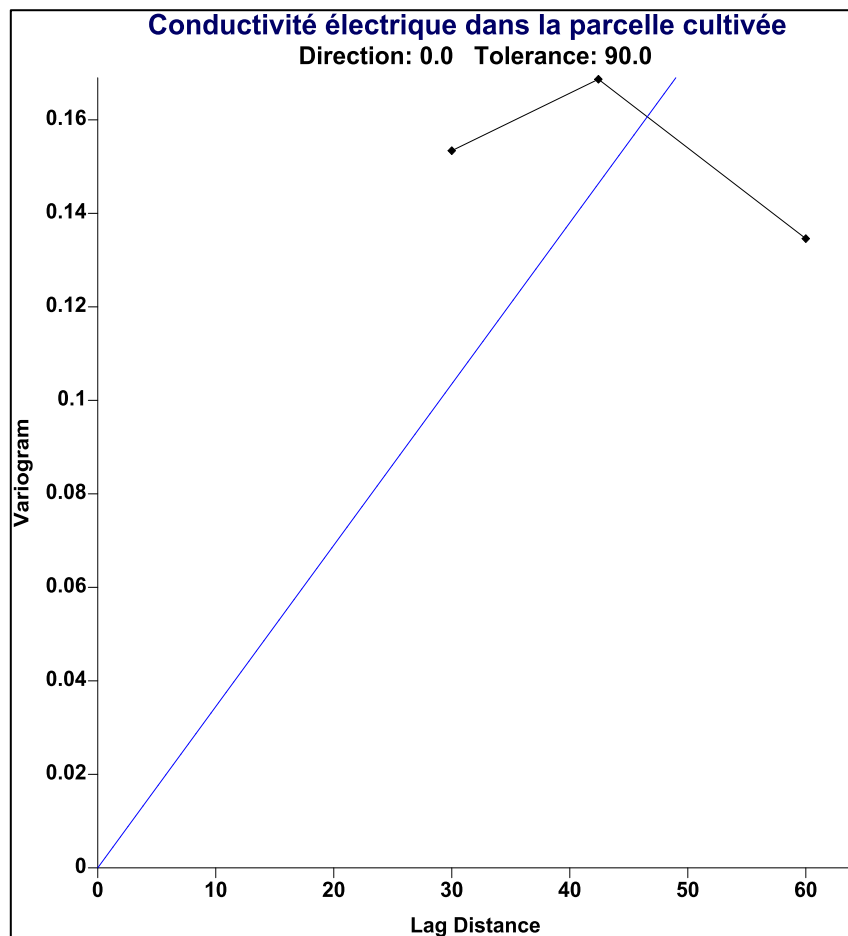
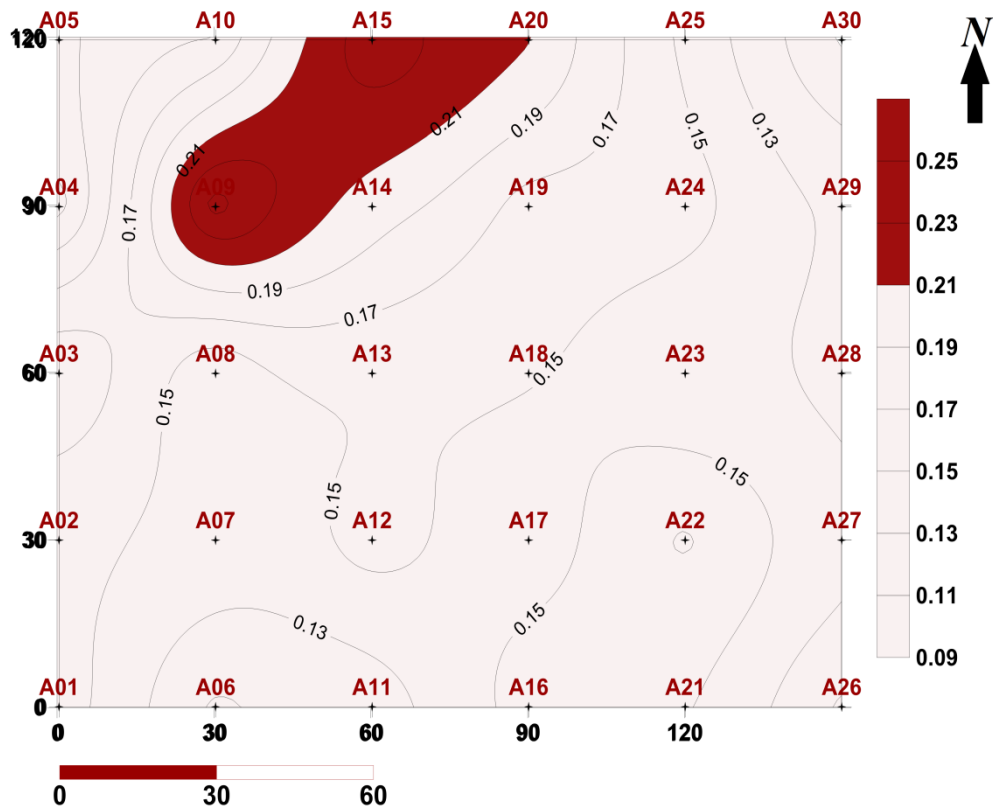


Figure 27: Variogramme de la conductivité électrique dans la parcelle cultivée.

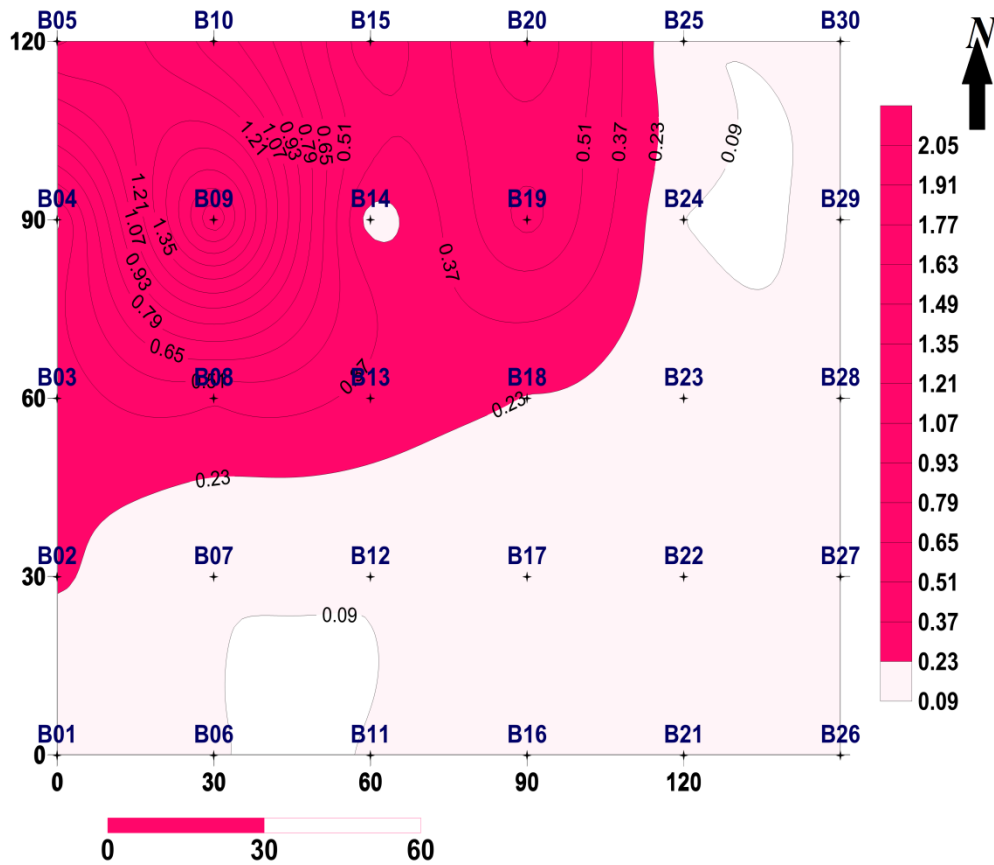
1.5.3. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage

La variabilité spatiale de la salinité dans la parcelle non cultivée est modérée avec un CV de 25,18 %, le sol demeure non salé (Cart.07).



Carte 07 : Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle non cultivée.

Dans la parcelle cultivée (carte 08), la salinité présente une variation spatiale extrêmement élevée avec un coefficient de variation de l'ordre de 132,09 %, le sol varie du non salé à faiblement salé.



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

2. Discussions

L'étude de la variation spatiale des propriétés du sol dans la région de Hassi El F'Hel a permis de caractériser quatre (4) paramètres à savoir : le calcaire total, le calcaire actif, le pH et la conductivité électrique, d'étudier leur variabilité spatiale à travers l'étude des variogrammes et la réalisation des cartes thématiques et temporelles à partir de la détermination du taux de variation annuelle de ces propriétés du sol.

Les résultats des analyses ont montrés que le sol de la parcelle non cultivée varie du peu (1,5 %) à modérément calcaire (7,5 %) avec une variation spatiale élevées (CV de 36,16 %). Dans la parcelle cultivée, le sol varie du non calcaire (0,97 %) à modérément calcaire (14,72 %) avec une variation spatiale très élevée (CV de 58,47 %).

L'analyse combinée du taux de variation annuelle et des boîtes à moustaches a révélé une augmentation du taux du calcaire total après quatre (4) campagnes agricoles dans la parcelle cultivée par rapport au témoin avec un TVA de l'ordre de $0,52 \pm 0,75\%/an$.

L'analyse de la variance à un facteur a montré que cette augmentation est hautement significative ($F^{1,58} = 9,96$, $P = 0,003$, H.S.), ce qui montre l'impact de l'intensification agricole sur la répartition du calcaire dans le sol sachant que l'irrigation est un facteur de contamination non négligeable (BAIZE, 2000). Le travail intensif du sol favorise, la ré-carbonatation de la terre fine des horizons de surface de même que leur enrichissement en cailloux calcaires à partir des horizons profonds plus calcaires (LAHMAR et al., 1992).

La présence du calcaire dans le site d'étude est due à l'existence et à la désagrégation de la roche calcaire (RUELLAN, 1971 ; BELAGOUNE, 2012). Dans notre cas la dalle calcaire proche de la surface du sol.

L'accumulation superficielle résulte d'une attaque du complexe adsorbant par le gaz carbonique de l'eau, fixant le calcaire dissous qui précipite ensuite par suite d'une sécheresse trop grande du milieu et d'une forte température (BENCHETRIT, 1956).

L'humectation du sol suite à l'irrigation favorise la mobilisation du calcaire (dissolution, formation de suspension des particules fine). La phase dessiccation favorise la précipitation, puis la consolidation et enfin la cristallisation sous forme de calcite du calcaire mobilisé ; c'est donc la forte évapotranspiration qui intervient dans cette deuxième phase (DUCHAUFOR, 2001).

En ce qui concerne le calcaire actif, les résultats ont montrés que ce dernier varie du faible à assez faible dans les deux parcelles étudiées avec une moyenne de $4,00 \pm 1,73$ % dans la parcelle non cultivée et de $3,92 \pm 1,69$ % dans la parcelle cultivée. La variabilité spatiale est élevée dans les deux parcelles avec un CV de 43,11 % dans la parcelle non cultivée et de 43,06 % dans la parcelle cultivée.

L'analyse combinée du taux de variation annuelle et des boites à moustaches a révélé une stabilité dans l'évolution du taux du calcaire actif avec une légère diminution dans la parcelle cultivée par rapport au témoin de l'ordre de $0,52 \pm 0,75$ %/an.

L'analyse de la variance à un facteur nous confirme cette diminution, cependant la diminution du taux du calcaire actif dans la parcelle cultivée après quatre (4) compagnes agricoles est non significative ($F^{1,58} = 7,98$, $P = 0,06$, N.S.).

Nous observons que le calcaire actif augmente dans le même sens que le calcaire total, ce qui a été déjà montré par (DOGAR, 1997), et prouve ainsi de la qualité des analyses réalisées.

La réaction du sol varie du modérément alcaline à fortement alcaline dans les deux parcelles cultivée et témoin avec un pH moyen de $9,20 \pm 0,17$ et $9,14 \pm 0,14$ respectivement. La variation spatiale de la réaction du sol étant faible dans les deux parcelles avec un CV de 1,90 % dans la parcelle cultivée et de 1,62 % dans la parcelle témoin.

L'analyse combinée du taux de variation annuelle et des boîtes à moustaches a révélé une stabilité dans l'évolution de la réaction du sol avec une légère augmentation du pH dans la parcelle cultivée par rapport au témoin de l'ordre de $0,04 \pm 0,05$ /an. L'ANOVA à un facteur a montré que cette augmentation n'est pas significative ($F^{1,58} = 0,18$, $P = 0,67$, N.S.).

Les valeurs élevées du pH sont due à la présence du calcaire sachant que dans un milieu carbonaté, le pH de la solution du sol peut atteindre localement des valeurs élevées de l'ordre de 9-10 unités (JAILLARD, 2010). Un pH nettement supérieur à 7,3 est le signe de la présence des carbonates libres générateurs de chlorose ferrique (BOYER, 1978 in GABANI, 2013), dans notre cas, il s'agit du calcaire actif.

L'augmentation du pH de l'horizon de surface est en fonction de la concentration de la solution du sol, le premier sel à précipiter est la calcite (CaCO_3), l'alcalinité augmente, menant à des valeurs de pH élevés, rapidement au-dessus de 9 (IRD, 2009). En général, les échanges augmentent la libération du calcium lors de la concentration des solutions (RIBOLZI et al., 1993).

L'alcalinité du sol est causée aussi par l'addition d'engrais d'azote (urée 46% dans notre cas) (BRADY et NYLE, 1990 in DAREM, 2013).

L'étude de la salinité du sol par la détermination de la conductivité électrique a montré que le sol de la parcelle non cultivée est non salé ($0,09$ - $0,26$ dS/m) avec une conductivité moyenne de $0,15 \pm 0,04$ dS/m. La variabilité spatiale de la salinité dans cette parcelle est modérée (CV de 25,18 %).

La salinité du sol dans la parcelle cultivée est plus élevée, le sol varie du non salé ($0,09$ dS/m) à faiblement salé ($2,06$ dS/m) avec une moyenne de $0,34 \pm 0,44$ dS/m avec une variation spatiale extrêmement élevée dans la parcelle cultivée exprimée par un coefficient de variation de l'ordre de 132,09 %.

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

de $0,05 \pm 0,11$ dS/m/an. L'ANOVA à un facteur a prouvé que cette augmentation est significative ($F^{1,58} = 5,09$, $P = 0,03$, S).

Cette différence de salinité est la résultante de l'utilisation de l'irrigation par aspersion et de l'évaporation élevée (MAHWACHI, 2008). 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, BRADY et WEIL 2002, ESSINGTON 2004).

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 de beaucoup l'infiltration et donc le lessivage.

La salinité de l'eau d'irrigation utilisée est de 0,66 dS/m à 25 °C. D'après la classification de Riverside modifié par DURAND (1958), cette eau appartient à la classe C2, il s'agit d'une eau à salinité moyenne, utilisable avec un léger lessivage.

Les régions semi-arides sont généralement caractérisées par l'irrégularité de la pluviométrie, ce qui ne favorise pas le phénomène de dilution. Les fortes températures qui sévissent provoquent une forte évapotranspiration et par conséquent une augmentation de la salinité surtout de l'horizon de surface (ROUABHIA, 2010).

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

TASSIER, 2002 ; NOLIN et *al*, 1997 in MATHIEU, 2009) ; signalent que dans les sols cultivés, l'action de l'homme est très visible (labour, lit de semence, passage de roues, etc.) sur la distribution des particules, l'action de l'homme se traduit directement (pratiques culturelles) mais aussi indirectement (action de la plante et de l'activité de la faune).

Conclusion

L'étude de l'impact de l'intensification agricole (céréaliculture sous pivot) sur la variation spatiale des propriétés du sol dans la région de Hassi EL F'Hel a porté sur l'analyse de la distribution spatiale et l'étude de l'intensité de l'évolution de quatre (4) paramètres à savoir, le calcaire total, le calcaire actif, le pH et la salinité dans deux parcelle cultivée et non cultivée prise comme témoin.

Les résultats obtenus des analyses ont montré que le sol est non à modérément calcaire, faiblement à assez faiblement pourvu en calcaire actif, modérément à fortement alcalin et non à faiblement salé.

Une augmentation hautement significative du taux du calcaire total a été enregistré dans le site étudié avec un TVA de l'ordre de $0,52 \pm 0,75$ %/an, tandis que celle du calcaire actif est non significative avec un TVA de l'ordre de $-0,18 \pm 0,53$ %/an.

L'étude de l'évolution du pH par l'analyse du taux de variation annuelle a révélé une augmentation non significative.

Nous avons enregistré une augmentation significative de la salinité du sol avec un TVA de $0,05 \pm 0,11$ dS/m/an.

L'étude de la variabilité spatiale des paramètres étudiées illustre l'existence d'une variabilité élevée pour le calcaire total et le calcaire actif, tandis que celle de la réaction du sol étant faible dans les deux parcelles. La salinité a une variabilité spatiale modérée à extrêmement élevée.

La modélisation géostatistique a montré, que à partir des variogrammes expérimentaux la validité et la fiabilité du pas d'échantillonnage choisi pour l'étude de tous les paramètres.

L'impact de la pratique céréaliculture sous pivot pendant quatre (4) ans a révélé une augmentation hautement significative du calcaire total et une augmentation significative de la salinité du sol. L'impact sur le calcaire actif et le pH étant non significatif, cependant, la période de quatre (4) ans n'a pas été suffisante pour déceler l'impact sur ces deux paramètres.

L'étude de l'impact de la céréaliculture sous pivot sur l'évolution des paramètres étudiées reste insuffisante et mérite d'être poursuivi en tenant compte de :

- La caractérisation morpho- analytique du sol afin de mieux interpréter les résultats des analyses.
- L'analyse complète de l'eau d'irrigation afin de déterminer le faciès géochimique et par conséquent confirmé l'origine de l'augmentation des paramètres étudiés.
- L'étude sur des parcelles cultivées pendant une période supérieure à quatre (04) ans afin de confirmer les résultats obtenus.

Références bibliographiques

- **A.N.R.H., 1994.** Rapport de l'Agence National Des Ressources Hydriques, Ghardaïa.
- **A.N.R.H., 2007.** Rapport de l'Agence National Des Ressources Hydriques, Ghardaïa.
- **A.N.R.H., 2009.** Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. ED ; Agen. Ati. Alger. Ressources .Hydrique, p 19.
- **A.N.R.H., 2012.** Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. ED ; Agen. Ati. Alger. Ressources hydrique, p 19.
- **A.N.R.H., 2013.** Note relative aux ressources en eaux souterraines de la wilaya de Ghardaïa. ED ; Agen. Ati. Alger. Ressources hydrique, p 20.
- **AMAMOU CH., 2012.** Modèle de territoire pour l'étude des performances épurations de sols naturels . Mémoire d'ingénieur. Département de génie civil .p 187.
- **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.
- **BAIZE D., 2000.** Guide des analyses courants en pédologie .2^{ème} ED ; INRA Paris. pp 34,37.
- **BELAGOUNE F., 2012.** étude et modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi-aride , cas des grands bassins versants 05, 06 et 07 . Mém. Magister, univ Kasdi Merbah, Ouargla-Algerie, 158 p.
- **BEN SEMAOUNE Y., 2008.** 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 Th. Magistère, Univ. Ouargla. p 105.
- **BENBRAHIM F., 2001.** Etude de l'effet faisonnier de la nappe phéariatique sur la dynamique de sels solubles dans un sol cultivé et non cultivé dan la région d'ouargla (cas l'exploitation de IAS). Mém. ING Ouargla. p 115.
- **BENBRAHIM F., 2006.** Evolution de la durabilité de céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla (Cas de Hassi Ben Abdellah), Th. Magister. Univ. Ouargla ,111p.
- **BENCHETRIT M., 1956.** Les sols d'Algérie. Revue de géographie alpine. Tome 44 N°4. .Persée, pp 749-761.

- **BENMOUAFFEKI D., 2011.** Etude de la variabilité spatio-temporelle de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'Université de Ouargla. Mém. D'ingénieur d'Etat. Univ. de Ouargla. p 94.
- **BENSEGHIR A., 2006.** Contribution à l'étude de l'état nutritionnel par la méthode du diagnostic foliaire de trois variétés d'abricotier (*Prunus armeniaca* L.) en zone aride commune de Doucen - w. Biskra. Mém. d'ingénieur. Unive. de Biskra. p 6.
- **BOUKHELKHAL N., 2013.** Cartographie de la salinité par deux méthodes différentes en milieu oasien. Cas de l'exploitation phoenicicole de l'université de Ouargla. Mémoire Magister. Univ. Kasdi Merbah Ouargla. p70.
- **CHAUSSOD R., 2010.** Relation entre les caractéristiques physico-chimique et microbiologique de quelques sols cultivés. ED ; INRA. p 145.
- **D.P.A.T., 2004.** Atlas de la wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, p 142.
- **DAREM S., 2013.** Impact de l'intensification agricole (Phoéniciculture) sur la variation du pH et du taux de calcaire total du sol dans la région de Ghardaïa (cas de Zelfana). Mém de Master Sciences de l'environnement. Univ de Ghardaïa. p 78.
- **DEKHINAT S., BENSALD R., BENSID Z., KOREIB F., MOUNA Y. et al, 2010.** Analyse de la variabilité spatiale de la salinité des sols dans une palmeraie algérienne (BISKRA, ALGERIE). ED ; *Sciences & Technologie D - N°31, . pp.9-14.*
- **DESPAGNE, 2006.** Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. Rapport de stage, Université de Bretagne Sud. p 68.
- **DEVER L.,1983.** Etude pédologique et isotopique des néoformations de calcite dans un sol sur craie caractéristique et origine. ED; INRA .p 44.
- **DJARMOUNE A., 2009.** La production céréalière en Algérie les principales caractéristiques. Revue Nature et technologie N° 01 / juin 2009. p 24.
- **DJILI K., 1999.** Analyse de la distribution verticale et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie septentrionale. ED ; INA Harrach Alger. p 14.
- **DSA, 2013.** Direction des services agricoles, rapport des cultures en wilaya, p 6.
- **DUCHAUFOR Ph, BONNEAU M., 1962.** Etude expérimentale de l'influence du calcaire sur la nutrition et la croissance d'un résineux acidiphile. Faculté des sciences de Nancy.
- **DUCHAUFOR Ph., 2001.** Etude expérimentale de l'influence du calcaire sur la nutrition et la croissance d'un résineux acidiphile. p 367.

- **DURAND J.H., 1958.** Les sols irrigables. Étude pédologique. Ed .Imbert, Alger, p 190.
- **GABANLN, 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 de Master Sciences de l'environnement. Univ. de Ghardaïa. p 101.
- **GIRARD M.C., MATHIEU C., 2011.** Etude de sol descriptive, cartographie utilisation. ED ; DUNOB. p 354.
- **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.
- **GUILLAUM G., 2010.** Bases scientifiques et technologiques de la viticulture. 2^{ème} ED ; Lavoisier. p 308.
- **HAMOUNI M., 2006.** Contribution à la détermination des unités homogènes du sol par différentes approches de cartographie numérique .Mém. Magister. Univ. Hassiba BENBOUALI .EL Harrach .Alger.132p.
- **HENNEQUI M., 2010.** Spatialisation des données de modélisation par Krigeage. Master statistique et applications stage de 1ère année. ASPA-ID.74p
- **IRD (institut de recherche pour le développement), 2009.** Les sols, des milieux vivants très fragiles. Les dossiers thématiques de l'IRD. P 21.
- **JAILLARD M., 2010.** Relation entre dynamique de l'eau et organisation morphologique d'un sol calcaire. ED ; I.N.R.A., C.R.A.M.-E.N.S, A.M. p 22.
- **LAHLOU M, BADRAOUI M, SOUDI B, GOUMARI A, TESSIER D., 2002** .Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. Actes de l'atelier du PCSI, Montpellier 28-29 mai, Ed. CIRAD. France.19 pp.
- **LAHMAR R et al., 1992.** Intensification céréalière dans les Hautes Plaines Sétifiennes: quelques résultats. Vol. 2, n° 1 .Univ. de Sétif (Algérie). Cahiers Options Méditerranéennes, pp 93-97.
- **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.
- **MADANI D., 2008.** Relation entre le couvert végétale et les conditions édaphiques en zone a déficit hydrique. Mém. de Magistère. Univ. Batna. p 165.
- **MAHWACHI S., 2008.** Stage agricole. Technicien supérieure. p 13.
- **MATHIEU C., FRANCOISE P., 2009.** Analyse chimique des sols. ED ; TEC et DOC. p 321.

- **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.
- **MIHOUB A., 2009.** Effet de la fertilisation phosphatée sur la nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (*Triticum durum L. Var. Carioca*) (dans la région d'El-Goléa). Mém. Ingénieur d'état en sciences agronomiques. Univ. Kasdi Merbah Ouargla, p 85.
- **NARSIS S., 2012.** Contribution à l'étude d'impact de l'exploitation du gisement de la mine de l'Ouenza sur l'environnement (Algérie). Mém. de magistère Univ. Badji Mokhtar Annaba. Algerie. p 231.
- **NOLIN M.C. ; CAILLER M.J. et WANG C., 1991.** Variabilité des sols et stratégie d'échantillonnage dans les études pédologiques détaillées de la plaine de Montréal. Can. J. soil Sci. 71 : pp 439-451.
- **NOOMENE H., 2011.** Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigue de Kalàçat Landelous en Tunisie: cas d'une parcelle de courge. Mémoire master de recherche environnement, aménagement et risque Faculté des lettres, des arts et des humanités Manouba. p 8.
- **ONM., 2013.** Données météorologiques de la wilaya de Ghardaïa, p 2.
- **OULD EL HADJ M.D., 2011 .**Le développement de la céréaliculture dans le Sahara algérien face aux problèmes acridiens. Séminaire international sur la biodiversité faunistique en zones arides et semi-arides problèmes acridiens au Sahara algérien laboratoire de protection des écosystèmes en zones arides et semi arides, faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la Terre et l'Univers. Unive. KASDI MERBAH, Ouargla, Algérie. pp 128-131.
p 413.
- **PINEL V., 1997.** Apport de la modélisation du transfert radiatif pour l'étude des écosystèmes forestiers par télédétection. Thèse doctorat. Université Paul Sabatier de Toulouse III. N° 2703, France, p 271.
- **RIBOLZI O., VALLES V. et BARBIERO L., 1993.** Précipitation de fluorine dans un sol alcalin et conséquences. Contrôle géochimique des eaux par la formation de calcite en milieu méditerranéen et en milieu tropical. Arguments d'équilibre et argument de bilan, Science du Sol N° 31, pp 77-95.

- **ROUABHIA A. et al, 2010.** L'irrigation et le risque de pollution saline exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'EL MA EL ABIOD. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, pp 55-67.
- **ROUAHNA H., 2007.** Relation des nappes et la salinité dans les sols gypseux de la région de Ain ben Noui Biskra. Mém Magistère en Agronomie. Univ. Batna. p 211.
- **RUELLAN A., 1971.** Les sols de la base Moulouya (Maroc Oriental). Cah. ORSTOM. N°54, p 302.
- **RUELLE P., 1986.** Méthodologie d'analyse de la variabilité spatiale d'une parcelle agronomique. Application à l'échantillonnage. ED ; Agronomie 6(6). pp 529,539.
- **SAENGER A., 2013.** Caractérisation et stabilité de la matière organique du sol en contexte montagnard calcaire : proposition d'indicateurs pour le suivi de la qualité des sols à l'échelle du paysage. Th. doctorat .Univ. *Grenoble INP*. p 268
- **SAIYOURI N., 2012.** Méthodes d'irrigation en milieu aride. p 56.
- **SOUCHIER B., 1994.** 2 Constituants et propriétés du sol. ED ; 2^{ème} Edition MASSON. Paris. p 22.
- **TESSIER D., 2002.** Qualité chimique et physique du sol variabilité spatiale et évolution. Etude de gestion du sol. 3,4 pp 229, 244.
- **VERSTEGH E., 2013.** Soil biology et biochemistry (Environmental controls on the production of calcium carbonate by earthworms. Article published by Elsevier Ltd.
- **WALTER C. ; CHAUSSOD R. ; CLUZEAU D. et CURMI P, HALLAIRE V., 1989.** Caractérisation, déterminisme et surveillance de la qualité des sols en milieux limoneux acides. Rapport final programme de recherche GESSOL. Fonctions environnementales des sols. p 177.
- **WALTER CH., 2002.** Analyse spatiale des sols en vue de leur gestion précie et de leur surveillance.Mém. Scientifique. Univ. Henri-poincaré de Nancy. p 265.

Annexe 01 : Echelle d'interprétation des résultats de Calcaire total (BAIZE, 1988).

CaCO₃ (%)	Horizon
≤ 1	Non calcaire
1 < CaCO ₃ ≤ 5	Peu calcaire
5 < CaCO ₃ ≤ 25	Modérément calcaire
25 < CaCO ₃ ≤ 50	Fortement calcaire
50 < CaCO ₃ ≤ 80	Très calcaire
> 80	Excessivement calcaire

Annexe 02 : Classement de la salinité selon la conductivité électrique.

CE (dS/m)	Classification
0 à 2	Non salin
2 à 4	Très faiblement salin
4 à 8	Salinité modéré
8 à 16	Fortement salin
> 16	Très fortement salin

Source : Direction des sols.

Annexe 03 : Normes d'interprétation du pH-eau du sol (MATHIEU *et al.*, 2009).

pH	Normes
0 à 3	Extrême acide
3 à 4	Très fort acide
4 à 5	Forte acidité
5 à 6	Modérée acidité
6 à 7	Faible acidité
7 à 8	Faible alcalinité
8 à 9	Modérée alcalinité
9 à 10	Fort alcalinité
10 à 11	Très fort alcalinité

Annexe 04 : L'évolution de céréaliculture dans la wilaya de Ghardaïa (DSA, 2014).

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

Annexe 05 : Echelle d'interprétation des résultats de calcaire actif (INRA).

CaCO₃ actif en (%)	Horizon
0 à 5	Faible
5 à 10	Assez faible
10 à 20	Elevé
> 20	Très élevé