

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 : GABANI Nacira

Thème

***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).***

Soutenu publiquement le : 20/06/2013

Devant le jury :

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

Année universitaire 2012/2013

DEDICACE

Je dédie ce travail à

*Aux plus beaux parents dans le monde
pour leur soutien, encouragements, tendresse,
sacrifices depuis ma naissance et leurs patience
pendant mes années d'études, qu'ils trouvent ici
le témoignage de ma profonde reconnaissance; que dieu leurs
accorde une longue vie.*

Mes frères : Omar, Slimane, Aboubaker.

Mes sœurs : Warda et Noura

A les plus petit personnes de la famille Asma et Islam

*A tous la famille **G.ABANI, CHEMINI***

*A Monsieur **BENBRAHIM** et toute sa famille*

Tous mes enseignants, mes collègues

ASMA, MEBARKA

Et à tous qui a donné

Part dans l'élaboration de ce travail.

Nacira. G

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie le Dieu, tout puissant, pour m'avoir donné la santé, la volonté, la patience et les moyens afin que je puisse accomplir ce travail.

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier vivement tous ceux qui, grâce à leur aide précieuse, ont permis la réalisation de ce travail.

Je tiens d'exprimer toute ma gratitude, mon profond respect et mes sincères remerciements à mon cher promoteur M. BENSLAMA M., Maître de conférences à l'université d'Annaba, pour m'avoir proposé de ce travail.

Je tiens à remercier sincèrement M. BENBRAHIM F., Maître-assistant à l'université de Ghardaïa, qui, en tant que Co-promoteur, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer, et sans qui, ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Mes vifs remerciements vont aussi à M. AGOUN M.S., Maître-assistant à l'université de Ghardaïa, pour avoir accepté de nous honorer par sa présence en tant que président de jury.

Je tiens aussi à remercier vivement M. BOUIMDJET A., Maître-assistant à l'université de Laghouat pour avoir bien voulu examiner ce travail.

J'adresse mes vifs remerciements et ma reconnaissance à : Mr KEMASSI A., Mr HADJSEYD A, Mr BENSEMAOUNE Y., Mr OULADEBELKHEIR C., Mr KRAIMAT M., Mr HOUICHITI R., pour leurs conseils et leurs orientations.

A tous les gestionnaires de la ferme du BENHAMOUDA à HASSI EL F'HEL s

A tous le personnel du laboratoire et de département de biologie de l'université du Ghardaïa.

A tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et surtout mes enseignants au cours de toutes les années de ma formation.

NACIRA G

Résumé

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).

L'étude de la durabilité et de la performance de l'agriculture céréalière dans les zones arides passe par l'étude des systèmes de production agricoles, de leur dynamique d'évolution et des impacts de l'activité agricole sur le sol.

Notre travail réalisé dans la région de HASSI EL F'HEL (Ghardaïa) a pour objet l'étude de l'évolution du pH et du taux de calcaire total suivant un échantillonnage systématique sur une maille régulière en comparant les données d'une parcelle exploitée pendant 4 ans à une parcelle non cultivée. Les résultats obtenus ont révélé une augmentation très hautement significative du pH et non significative du taux de calcaire avec une variation spatiale modérée.

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

Mots clés: Céréaliculture, pH, calcaire total, variation spatiale, Ghardaïa

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
Tableau 01	Production (millions de tonnes) des céréales dans le monde en 2010	03
Tableau 02	Surface occupée en pivots (1986 – 1987).....	07
Tableau 03	Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol.....	16
Tableau 04	Valeurs du pH en cas d'un horizon pédologique.....	24
Tableau 05	Valeurs de pH du sol en fonction de l'intensité du calcaire.....	26
Tableau 06	La répartition de la superficie de la wilaya Ghardaïa.....	31
Tableau 07	Données météorologiques de la région de Ghardaïa (1996-2012).....	33
Tableau 08	Classes d'intensité de la variabilité.....	51
Tableau 09	Statistiques descriptives du CaCO ₃ total dans le site d'étude (en %).	53
Tableau 10	Statistiques descriptives de pH du sol dans le site d'étude.....	61

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
Figure 01	Structure de la production céréalière en % de production total.....	06
Figure 02	Principales implantations des pivots.....	08
Figure 03	Evolution de la superficie céréalière sous pivot à Ghardaïa (1994-2012).....	09
Figure 04	Evolution des productions (qx) de céréaliculture sous pivot à Ghardaïa (1994 -2012)	10
Figure 05	Evolution du rendement céréalier sous pivot à Ghardaïa (1994-2012).....	11
Figure 06	Espèces chimiques dans le système $\text{CaCO}_3\text{-H}_2\text{O-CO}_2$	20
Figure 07	Formes d'accumulation du calcaire dans le sol.....	23
Figure 08	pH des sols Algériens.....	27
Figure 09	Limites de la région d'étude.....	35
Figure10	Le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa.....	36
Figure 11	Etage bioclimatique de la wilaya de Ghardaïa selon le Climagramme d'EMBERGER	37
Figure 12	Esquisse hydrogéologique du M'Zab.....	39
Figure 13	Bassin versant de la région du M'Zab.....	40
Figure 14	Localisation des Parcelles étudiés.....	44
Figure15	Organigramme de la méthodologie d'étude.....	47
Figure 16	Schéma récapitulatif du plan d'échantillonnage avec 30 m.....	48
Figure 17	Variogramme du calcaire total dans la parcelle non cultivée.....	56
Figure 18	Variogramme du calcaire total dans la parcelle cultivée.....	57
Figure19	Carte thématique de la variation du taux de CaCO_3 total dans la parcelle témoin.....	59
Figure20	Carte thématique de la variation du taux de CaCO_3 total dans la parcelle cultivée.....	59
Figure21	Boîte à moustaches de la variation du calcaire total dans le site d'étude.....	61
Figure22	Variogramme de pH dans la parcelle témoin.....	62
Figure 23	Variogramme de variation du pH dans parcelle cultivée.....	63
Figure24	Carte thématique de la variation du pH dans la parcelle témoin.....	64
Figure25	Carte thématique de la variation du pH dans la parcelle cultivée.....	65
Figure26	Boîte à moustaches de la variation du pH dans le site d'étude.....	66

LISTE DES PHOTOS

N°	Titre	Page
Photo 1	Parcelles d'étude à gauche cultivée, à droite non cultivée.....	45

LISTE DES ABREVIATIONS

AEI	: Alimentation en Eau Industrielle
AEP	: Alimentation en Eau Potable
C.E.C	: Capacité D'échange Cationique
CaCO₃	: Carbonate de Calcium
CaCO₃ A	: Carbonate de Calcium Actif
CaCO₃ T	: Carbonate De Calcium Total
CCA	: Carbonate De Calcium Amorphe
CCM	: Carbonate De Calcium Monohydrate
CEI	: Communauté des états 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 potentiel
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 Rurale
méq	: milliéquivalent
NPK	: Azote, Phosphore, Potassium
ONM	: Office national de météorologie
pH	: Potentiel Hydrique
qx/ha	: Quintaux Par Hectare
S.A.U	: Surface Agricole Utile
SAT	: Surface Agricole Totale
Tab	: Tableau
TSP	: Triple Super Phosphate
UE	: Union Européenne
°C	: Degré Celsius

SOMMAIRE

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des photos et des figures	
Liste des abréviations	
Introduction.....	01
<i>Chapitre I. Situation de la céréaliculture</i>	
1. Céréaliculture dans le monde.....	03
2. Céréaliculture en Algérie.....	04
3. Céréaliculture dans la région de Ghardaïa.....	08
<i>Chapitre II. pH et taux du calcaire total du sol</i>	
1. Fraction minérale.....	13
2. Calcaire.....	14
3. Sols calcaires.....	15
3.1. Classification des sols calcaires.....	17
3.2. Origine du calcaire dans le sol	17
3.3. Facteurs et processus de formation.....	18
3.4. Modalités et formes d'accumulation du calcaire dans le sol.....	21
3.5. propriétés des sols calcaires.....	24
3.5.1. pH du sol	24
3.5.2. Taux d'argile	27
3.5.3. Matière organique	28
3.5.4. CEC	28
3.6. Sols calcaires en Algérie	29
3.7. Effet du calcaire sur le sol et les végétaux.....	30
<i>Chapitre III. Présentation de la région d'étude</i>	
1. Situation géographique.....	31
2. Climat.....	32
3. Classification du climat.....	35

5. Géologie.....	39
6. Hydrologie.....	40
7. Ressources hydriques de la région.....	40
8. Pédologie.....	42

Chapitre IV. Matériels et méthodes d'étude

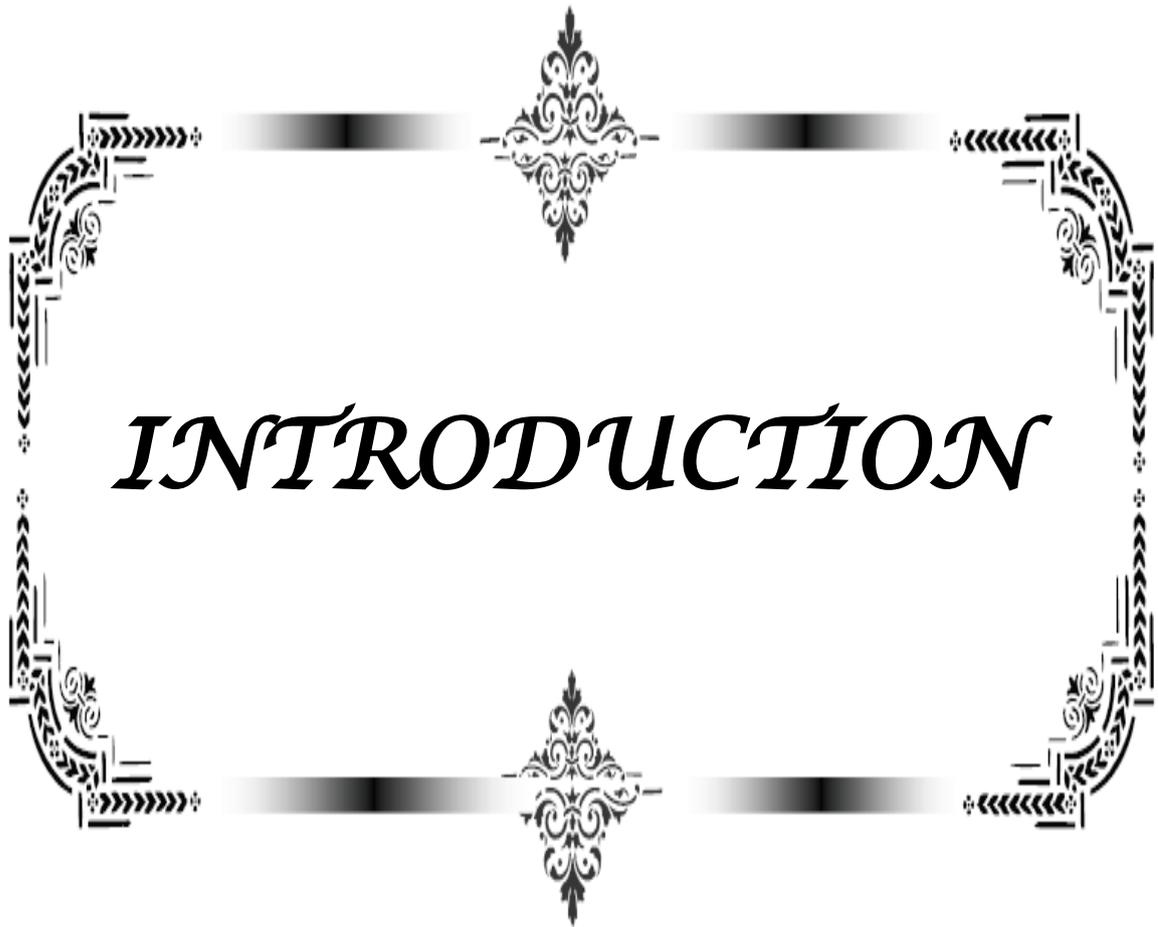
1. Matériels d'étude.....	43
2. Choix du Site d'étude.....	44
3. Présentation du Site d'étude.....	44
4. Choix de Parcelle d'étude.....	45
5. Démarche méthodologique.....	47
6. Conduite de L'expérimentation.....	48
7. Traitements Statistiques.....	50

Chapitre V. résultats et analyses

1. Caractéristiques des eaux d'irrigation dans la parcelle d'étude.....	52
2. Qualité du sol dans la parcelle d'étude.....	52
2.1. Taux du calcaire total.....	52
2.1.1. Variabilité spatiale du calcaire total dans le sol.....	53
2.2. Réaction du sol (pH).....	61
2.2.1. Analyse variographique.....	62
2.2.2. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage.....	64
2.2.2. Simulation de l'évolution du pH de sol dans site d'étude.....	65

Chapitre VI. Discussions

1. Discussions.....	67
Conclusion.....	70
Références bibliographiques.....	71
Annexes.....	80



INTRODUCTION

Introduction

La qualité physique, chimique et biologique des sols sahariens posent à la fois des problèmes d'ordre agronomiques (aptitude culturale faible) et environnementaux (érosion et ruissellement de surface) (KOULL, 2007).

Selon HALITIM (1988) la mise en valeur des terres dans ces régions, l'augmentation de la productivité par unité de surface et leur conservation exigent ici plus qu'ailleurs des études détaillées.

Les sols en zones arides ont été longtemps considérés comme des milieux qui ne représentent aucun intérêt du point de vue pédologique, mais devant le besoin incessant d'une population en croissance démographique rapide, l'instauration de nouveaux périmètres devient impérative pour maintenir l'équilibre socio-économique dans ces zones (TIR, 2007). Les sols en zones arides sont insuffisamment connus mais les études sur ces sols restent très localisées POUGET (1980 in TIR, 2007).

Comme tous les sols des régions arides du monde, les sols de la zone saharienne d'Algérie se caractérisent par une évaporation qui prédomine sur l'ensemble de l'année, une rareté de pluie et une sécheresse chronique actuelle (HAMDI, 2001). Ces sols contiennent des quantités relativement importantes de sels solubles qui s'accumulent et présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses ou les deux à la fois (TIR, 2007).

La présence de ces accumulations gypseuses, calcaires et salines, d'une manière générale pose d'énormes problèmes de mise en valeur. Dans ce contexte, des études ont été menés sur ces types de sols en Algérie (HALITIM, 1988 ; ABEDLSSELEM, 1998 ; BENSALID, 1999 ; HAMDI, 2001 ; BOUMAAREF, 2003 ; TIR, 2007).

De nombreuses études ont été publiées sur les sols des zones arides d'Algérie (AUBERT, 1960 ; HALITIM, 1988), cependant ces études sont en général descriptives, cette étape est intéressante mais reste insuffisante. L'étude des processus de formation et surtout d'évolution du sol demeure nécessaire (TIR, 2007).

Selon DJILI et *al* (1999) ; en ce qui concerne les sols calcaires en Algérie, bien que de nombreuses études aient été réalisées (AUBERT, 1947 ; GAUCHER, 1948 ; DURAND, 1953,1956 ; BOULAIN, 1957, 1961 ; THIBOUT, 1974 ; CHARLES, 1976 ; BALLAIS et VOGT, 1979 ; TIHAY et VOGT, 1979 ; VOGT, 1979 ; POUGET, 1980 ; DJILI, 1983 ; BOCK, 1984 ; FAO, 1988 ; HALITIM, 1988 ; AYACHE, 1996) leur distribution spatiale et la répartition du calcaire dans le profil sont encore peu connues.

L'objectif principal de cette étude est de mettre la lumière sur l'impact de l'intensification agricole sur la variation du taux du calcaire total et pH du sol dans la région de Hassi EL F'hel (Ghardaïa).

Cette étude comporte trois parties :

- la première partie comprend une étude bibliographique où nous passons en revue les caractéristiques, le rendement, la production, l'état de céréaliculture en zones arides et les caractéristiques, la répartition, les facteurs de formation des sols calcaires en zones arides.
- Dans la deuxième partie nous présentons d'une part le milieu naturel de la zone d'étude et d'autre part les méthodes d'analyses adoptées.
- La troisième partie est 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 (céréaliculture) sur le taux de calcaires total et pH du sol.



Partie I :
Synthèse
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I. Situation de la céréaliculture

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

1. Céréaliculture dans le monde

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

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

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

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

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

Pays	Production en 2010
Asie	1 017.1
Extrême-Orient	921.2
Proche-Orient	70.0
Pays asiatiques de la CEI	25.9
Afrique	163.3
Afrique du Nord	32.5
Afrique de l'Ouest	55.9
Afrique centrale	3.6
Afrique de l'Est	39.8
Afrique australe	31.4

Amérique centrale et Caraïbes	41.3
Amérique du Sud	143.7
Amérique du Nord	443.8
Europe	404.5
UE	278.8
Pays européens de la CEI	109.1
Océanie	40.8
totale	2 254.5

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

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

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

2. Céréaliculture en Algérie.

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

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

Selon FELIACHI (2000, in KELLIL, 2009), la céréaliculture est pratiquée dans quatre grandes zones agro-climatiques.

- Un espace à faible potentialité : localisé dans le sud des Hauts Plateaux (zone agropastorale), 1.800.000 ha, pluviométrie inférieure à 450 mm et rendement de 5-6 qx/ha.
- Un espace steppique : pratiquée dans un écosystème fragile, avec une surface de 300.000-800.000 ha.
- Un espace au niveau des zones sahariennes qui se subdivisent en deux catégories, la première est représentée par le système traditionnel, occupe une surface de 35.000 ha, la deuxième qui occupe une surface de 10.000 ha concerne la céréaliculture sous pivot, localisée en zones arides et semi arides.
- Un espace à haute potentialité localisé entre les plaines littorales et sub-littorales et le nord des Hauts Plateaux, occupe une superficie de 1.200.000 ha dans une zone où la pluviométrie moyenne annuel est varié de 450 à 800 mm avec un rendement moyen de 10-15 qx/ha.

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

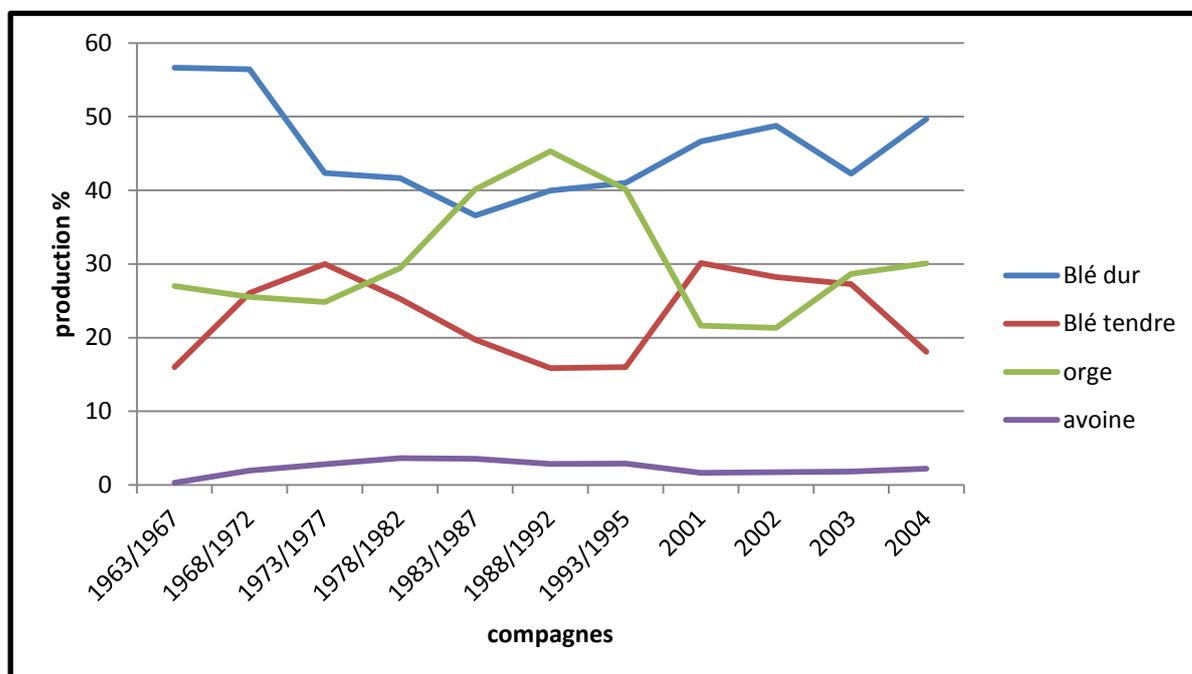


Figure 01. Structure de la production nationale céréalière en % de production total (DJERMOUN, 2009).

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

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

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

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

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

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

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

L'apparition des zones céréalières irriguées dans les régions sahariennes début à partir de la création des superficies céréalières équipées en centre pivot.

La première installation des centres pivots au sud est entre les années 1986 et 1987 où se sont installés dans les deux wilayat ; Adrar (zone de Sbaa) avec 10 Ha et Ouargla (Ain Zekkar) avec 50 Ha. (Tabl 02)(BEN BRAHIM, 2009).

Tableau 02. première installation des pivots en sud-Algérienne (1986 – 1987) (BEN BRAHIM, 2009)

Régions	Nombre de pivot	Surface (Ha)
Ouargla		
- GassiTouil	20	1040
- Feidjet El Baguel	20	1040
-AinZekkar	01	52
- Amir Abd-el-Kader	01	15
- Hdab El Achra	01	10
- IbnKhaldoun	01	10
S/Total	44	2 167
Adrar		
- Ferme pilote	01	52
- GEP privé	01	30
S/Total	02	82
Total	46	2 249

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

La figure (02), montre la répartition des installations de centres pivots en Algérie.

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

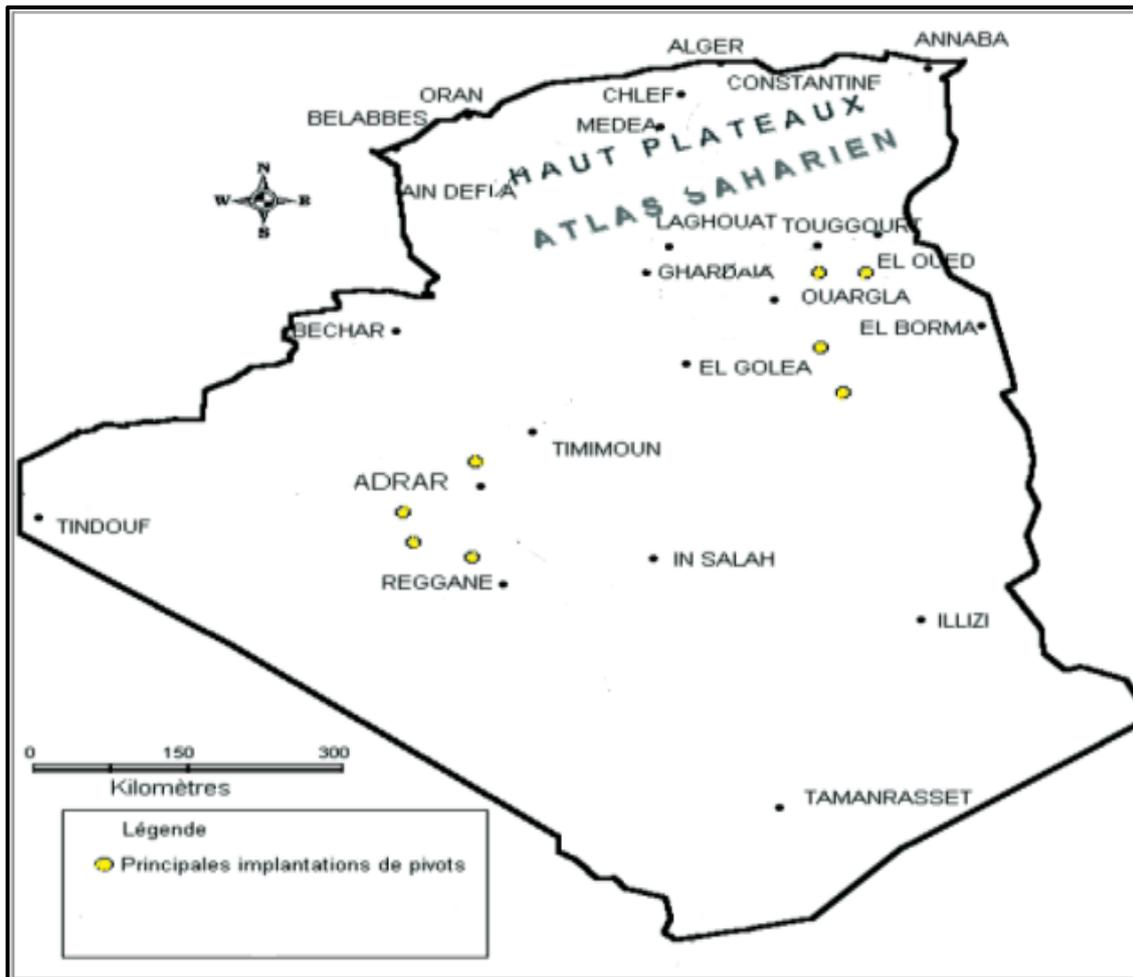


Figure 02. principales implantations des pivots en Algérie (modifié) (OULD EL HADJ, 2011)

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

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

3. Céréaliculture dans la région de Ghardaïa.

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

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

La production céréalière atteindra cette année (2011-2012) est 86003.4 quintaux, estiment les responsables des services agricoles de la wilaya.

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

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

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

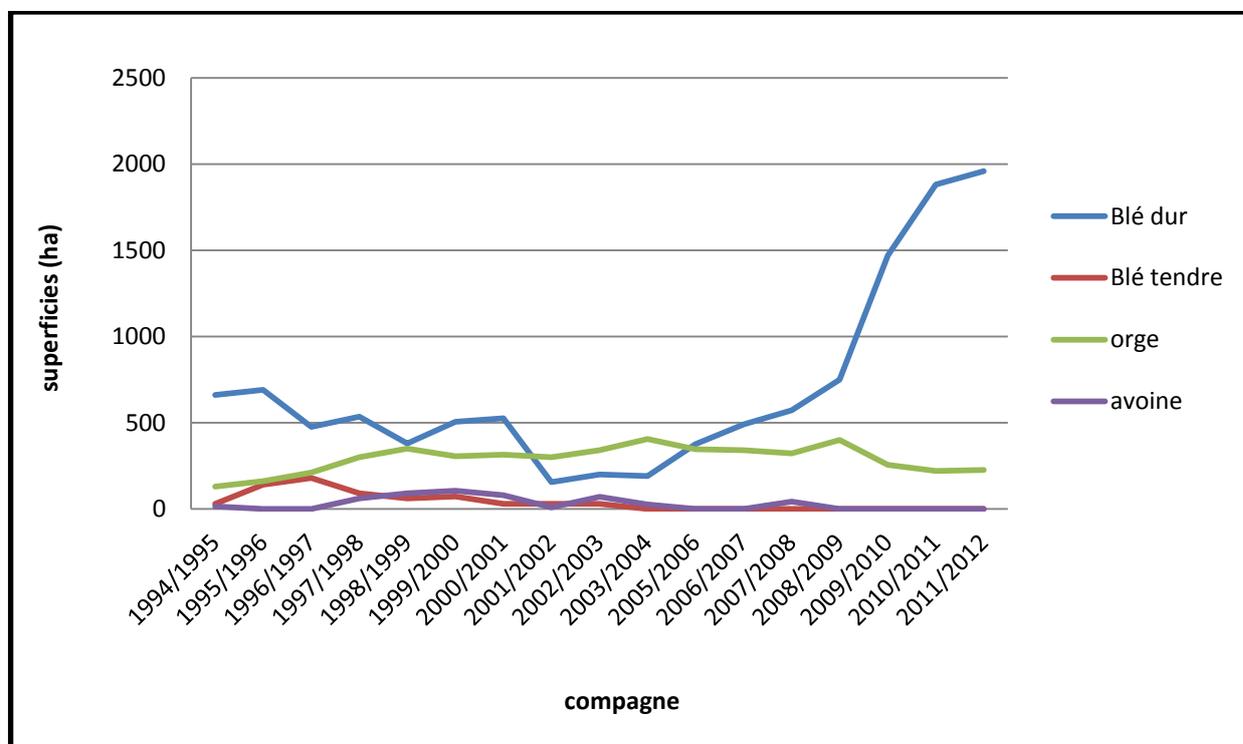


Figure 03. Evolution de la superficie céréalière sous pivot à Ghardaïa (1994-2012)
(DSA, 2013).

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

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

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

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

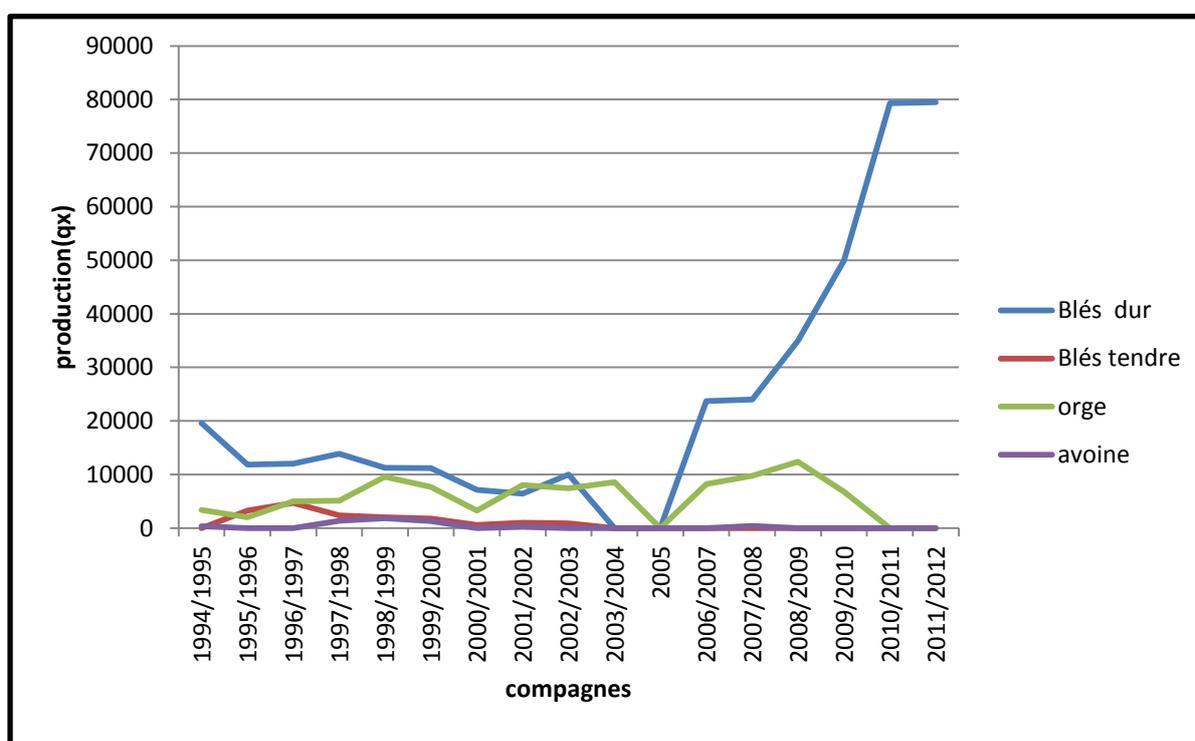


Figure 04. Evolution des productions (qx) de céréaliculture sous pivot à Ghardaïa (1994-2012) (DSA, 2013).

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

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

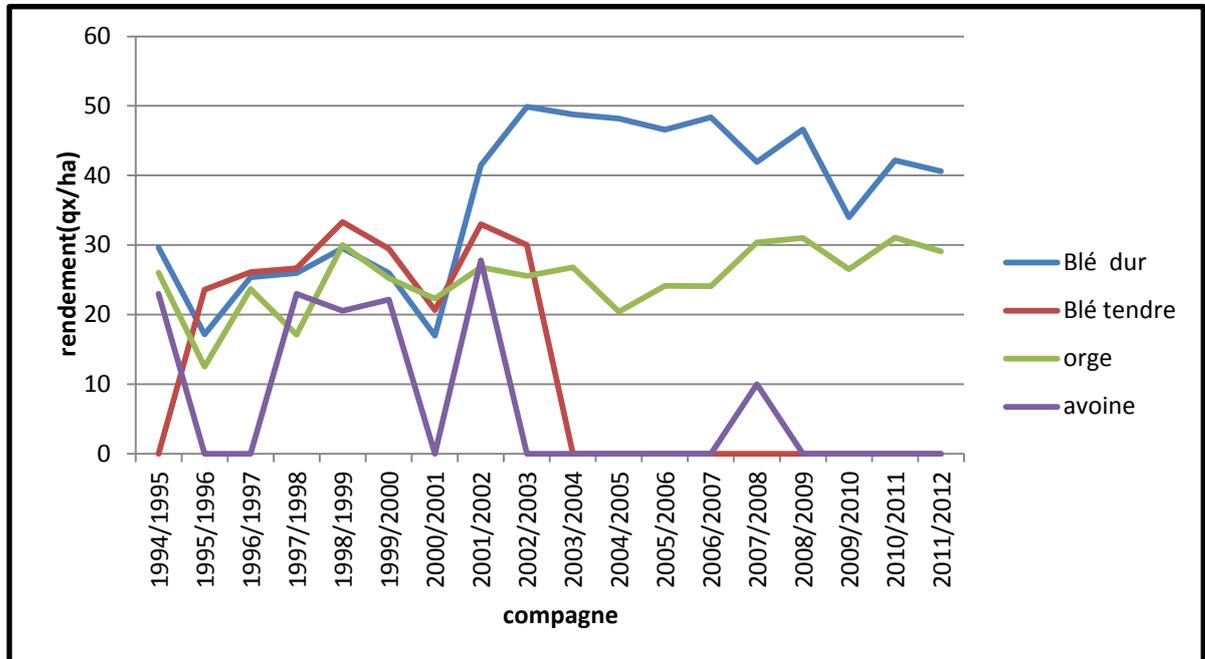


Figure 05. Evolution du rendement céréalier sous pivot à Ghardaïa (1994-2012)
(DSA, 2013).

Chapitre II. pH et Calcaire total du sol

La qualité du sol est caractérisée par une gamme de paramètres physiques, chimiques et biologiques qui fournissent un support pour la croissance des plantes et le fonctionnement des écosystèmes (JEGO, 2008).

Les zones arides sont des régions caractérisées à la fois par leur climat toujours peu pluvieux, parfois très sec et très irrégulier, par leur végétation herbacée ou frutescente, rarement arborée, très irrégulièrement répartie, et constituant un couvert excessivement lâche. Peut-être elles-mêmes, dans son ensemble, subdivisée en zone désertique, zone aride proprement dite et zone subaride, en fonction des conditions climatiques (AUBERT, 1960; AUBERT, 1962).

De ce fait les sols des régions arides en général présentent certaines particularités; évolution lente, faible teneur en matière organique, structure faiblement définie et en général, la présence des croûtes calcaires, gypseuses et d'autres salines, posent d'énormes problèmes agronomiques et environnementaux (AUBERT, 1960; KOULL, 2007). En Algérie, selon HALITIM (1988), les zones arides représentent près de 95% du territoire national dont 80% dans le domaine hyperaride.

L'eau dans les zones arides et semi-arides, est le principal facteur limitant de la production agricole. Le développement de l'agriculture dans ces régions fait recouvrable à l'irrigation qui devient alors une nécessité pour produire suffisamment afin d'assurer les besoins alimentaires d'une population de plus en plus importante (LAHLOU et al, 2002).

Selon MATEOS et OYONARTE (2005 in BELAID, 2010) dans un système d'irrigation, les phénomènes hydrologiques (infiltration, ruissellement et érosion) ainsi que la compaction du sol sont les principaux facteurs responsables de la variabilité spatiale de la répartition des éléments dans le sol.

Donc le suivi de la qualité des sols dans les périmètres irrigués est nécessaire pour la mesure de la durabilité du système de production (LAHLOU et al, 2002). A ce titre, la modélisation des mouvements du calcaire dans les sols irrigués est un moyen pour prédire l'évolution de ces derniers.

1. Fraction minérale

Selon DUCHAUFOR (1984 in BENAOMAR, 2010), la fraction minérale du sol est formée par l'ensemble des produits d'altération physique, chimique et biochimique des minéraux dits « primaires » de la roche-mère. Les minéraux du sol sont issus de trois voies différentes,

- **L'héritage**; il s'agit d'une simple micro division sans transformation chimique des minéraux primaires. C'est le cas de plusieurs minéraux silicatés peu altérables. L'héritage peut également concerner certains minéraux des roches sédimentaires comme les carbonates de calcium (calcite CaCO_3) ou les carbonates mixtes de calcium et de magnésium (dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).
- **La transformation**; la micro division des minéraux primaires peut s'accompagner de transformations chimiques mineures.
- **La néoformation**; suite à des phénomènes de dissolution et de ré-précipitation, de nouveaux minéraux entièrement transformés et reconstruits apparaissent. C'est ainsi que des minéraux argileux du type kaolinite et montmorillonite prennent naissance.

Par rapport à la roche-mère, la fraction minérale du sol se distingue par la présence de ces minéraux nouveaux (transformés et néoformés) dits secondaires et qui constituent le complexe d'altération du sol, formé principalement d'argiles, d'oxydes et d'oxyhydroxydes métalliques (BENAOMAR, 2010).

De point de vue pédologique, les sols peu profonds, présentent schématiquement trois horizons :

- Horizon de surface ; (0-30 cm environ) de texture variable, grossière à moyenne, avec quelques débris de croûte, nombreuses racines.
- Horizon intermédiaire ; (10 à 20 cm d'épaisseur) extrêmement calcaire, pulvérulent ou parfois induré en encroûtement ou croûte, emballant des blocs de la dalle ou croûte sous-jacente ; les racines sont encore très abondantes.
- Horizon d'accumulation du calcaire ; dalle et/ou croûte feuilletée (POUGET, 1973).

Les six paramètres déterminants pour une caractérisation des sols agricoles retenus sont la teneur en calcaire total, en calcaire actif, en matière organique, la texture, la structure, la stabilité structurale, la conductivité électrique et le pH (BAIZE et JABIOL, 1995).

2. Calcaire

Le terme «calcaire» est un terme général qui s'applique à un sol contenant du CaCO_3 libre en quantité suffisante pour présenter une effervescence visible sous l'action d'HCl dilué et à froid (BAIZE et JABIOL, 1995). C'est un minéral qui présente de très nombreux faciès. Il est rencontré ordinairement sous la forme de rhomboèdre. C'est la forme la plus stable thermodynamiquement de toutes les variétés du carbonate de calcium (HANNACHI, 2006).

Le calcaire peut se trouver dans le sol à l'état de fragments de dimensions quelconques depuis les agrégats et les graviers jusqu'à la taille des colloïdes argileux (BENMAHDI, 2008).

Le constituant essentiel de calcaire est le carbonate de calcium, cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique (DJILI, 2000).

2.1. Calcaire total (CaCO_3T) et calcaire actif (CaCO_3A)

2.1.1. Calcaire totale (CaCO_3T)

Le calcaire total est une des composantes héritées de la dégradation de la roche-mère. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive qu'il est parfois nécessaire de compenser par des apports réguliers d'amendements basiques (chaulage). Le calcaire total est une caractéristique stable du sol (INRA, 2012).

2.1.2. Calcaire actif (CaCO_3A)

Le calcaire actif est la fraction du calcaire total susceptible de se dissoudre facilement et rapidement dans la solution du sol. La présence de calcaire actif peut provoquer un risque de chlorose ferrique en horticulture (fraise), en arboriculture ou en viticulture si les sols sont pauvres en fer libre (INRA, 2012).

2.2. Origine des carbonates dans le sol

Les carbonates ont plusieurs origines possibles:

- Origine bio-détritique, donnant des débris de divers organismes notamment ceux de mollusques sous forme d'aragonite et de calcite. Ils s'accumulent parfois dans les aires où ils constituent le quasi intégralité des sédiments.
- Origine biogénique, dans ce cas, ils sont essentiellement bactériens.
- Une origine détritrique, sous forme de carbonates.

- Une origine chimique, en très faible part, de la précipitation des carbonates dissous d'origine marine ou continentale (MAANAN, 2003).

On trouve le plus fréquemment les carbonates sous forme de calcite et d'aragonite (CaCO_3) mais on peut les trouver également sous forme de dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), de sidérite (FeCO_3) et, dans les sols arides des régions sèches, de carbonate de sodium ($\text{Na}_2\text{CO}_3, 10 \text{H}_2\text{O}$) (BENMAHDI, 2008).

La distribution des carbonates varie verticalement et latéralement dans les sols et dans le paysage. Cette variété traduit une dynamique et une redistribution complexe de ces carbonates dans le paysage (EL IDRISSE, 1992; DUCHAUFOR, 2001).

2.3. Origine de calcium dans le sol

Le calcium est l'un des éléments les plus abondants dans le sol et qui présent en quantités suffisantes pour la bonne croissance des plantes (GAGNON, 2007).

La concentration du calcium lié aux produits organiques hydrosolubles est proportionnelle à la teneur en matière organique totale (LETACON, 1976).

La source la plus fréquente du calcium dans le sol est le calcaire, lorsqu'il étant fixé constitue le calcium échangeable du sol ; il est donc fourni au complexe par les solutions du sol dans lesquelles il se trouve à l'état de bicarbonate mais aussi de sulfate et parfois de nitrate (BENMAHDI, 2008).

3. Sols calcaires

Un sol calcaire c'est un sol contenant du CaCO_3 libre en quantité suffisante, le CaCO_3 est souvent accompagné de MgCO_3 (MADANI, 2008, BELAGOUNE, 2012).

Selon RUELLAN (1976 in MADANI, 2008), les sols calcaires sont en général caractérisés par la présence de trois principaux horizons :

- Dans la partie moyenne du sol, un horizon d'accumulation du calcaire; c'est un horizon BCA, qui peut être plus ou moins développé.
- Au-dessus, un horizon A moins calcaire; il peut être non calcaire.
- Au-dessous, un horizon C, également moins calcaire que l'horizon BCA (MADANI, 2008).

La distribution du calcaire dans ces trois horizons, qui sont étroitement liés entre eux, définit le profil calcaire.

Selon DJILI (2000), en Algérie le profil calcaire en fonction de la pluviométrie est:

- Les Zones arides ($P < 300$ mm) ; l'accumulation de calcaire semble être homogène dans tout le profil, mais avec un pourcentage de calcaire légèrement plus élevé dans les horizons de sub-surface.
- Les Zones semi- arides ($350 < P < 450$ mm) ; le profil devient de plus en plus calcaire en profondeur.
- Les Zones humides et Subhumides ($P > 600$ mm) ; le profil est relativement moins calcaire que ceux des autres zones climatiques, le calcaire est reparti d'une façon homogène dans les horizons de surface et de sub surface.

Les terres contiennent généralement le CaCO_3 en proportions diverses:

- Terre dites « terres franche » ; 1 à 5% de calcaire.
- Terre argilo-calcaire ; 5 à 30% de calcaire.
- Terre sablo-calcaire ; 5 à 30% de calcaire (BELAGOUNE, 2012).

Selon LOZET et MATHIEU (1990) il y a cinq (05) classes de sols calcaires selon la teneur en calcaire

- Sols très faiblement calcaires avec un taux de $\text{CaCO}_3 < 2\%$.
- Sols faiblement calcaires avec un taux de CaCO_3 de 2 à 10%.
- Sols moyennement calcaires avec un taux de CaCO_3 de 10 à 25%.
- Sols fortement calcaires avec un taux de CaCO_3 de 25 à 50%.
- Sols très fortement calcaires avec un taux de $\text{CaCO}_3 > 50\%$.

Tableau 03. Normes d'interprétation du taux de calcaire du sol (BAIZE, 1988, 2000).

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

La teneur totale en carbonate dans un horizon est en général liée à la forme et à l'intensité de l'accumulation calcaire (EL IDRISSI, 1992).

Les sols décalcifiés sont également formés sur roches calcaires et ont une teneur en calcaire variable avec la profondeur. Mais la différence avec les sols calcaire ; les horizons superficiels en contiennent moins que les horizons sous-jacents, le calcaire s'accumulant au sommet de la roche mère sous forme de nodules et à l'état diffus. Ces sols décalcifiés sont très répandus en Algérie où ils couvrent de grandes surfaces (BENCHETRIT, 1956).

3.1. Classification des sols calcaires

3.1.1. Classification française

La plupart des sols calcaires sont regroupés selon la classification C.P.C.S (1967) parmi les sols peu évolués, Calcimagnésiques, isohumiques et les sols fersiallitiques à réserves calciques (RUELLAN, 1973 ; MADANI, 2008).

3.1.2 Classification FAO

Dans le cadre de la classification FAO (1973 in RUELLAN, 1973) les sols calcaires ce sont, selon les cas, des fluvisols, des rendzines, des vermosols, des verusols, des castanozems, des cambisols

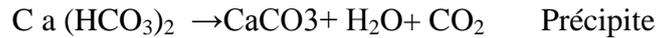
3.1.3 Classification Américain

Dans le cadre de la classification Américain U.S.D.A (1967 in RUELLAN, 1973) ce sont, selon les cas, des inceptisols (xerochrepts), des aridisols (argile et orthids), des mollisols (rendollsetxerolls) des alfisols (xeralfs) (RUELLAN, 1973).

3.2. Origine du calcaire dans le sol

Les sols calcaires proviennent de la désagrégation des matériaux originaux calcaires, Qui laissent dans le sol des fragments de roches calcaires (carbonatées, calcaires et dolomiques) ou simplement riches en calcium (les basaltes par exemple) de dimensions diverses et en quantités variables selon la nature de la roche d'une part et selon les conditions de l'altération d'autre part RUELLAN (1976 in MADANI, 2008) ; BELAGOUNE, 2012).

L'origine des calcaires est soit chimique, soit biologique. La formation chimique dépend de l'abondance du CO₂ dans l'eau et se fait selon la réaction chimique suivante :



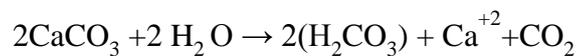
L'élévation de la température accélère la réaction, mais la dépression joue un rôle fondamental (BEN DHIA, 1983).

ADOLPHE (1972 in BEN DHIA, 1983) a montré que la congélation du sol donne lieu aussi à la précipitation du calcaire.

Le carbonate ainsi formé se développe avec le temps et cimente les grains de sable pour créer une roche poreuse; l'encroûtement. Il est clair que la jeune roche dépend de l'état et de la constitution du sol où elle vient de se former (BEN DHIA, 1983).

3.3.1. Phénomène de décarbonatation

Le calcaire est soluble, et dans de nombreuses situations, il y a un enchaînement de phénomènes de dissolution et de précipitation du carbonate et de calcium, dans un premier cas, le calcaire est dissous.



C'est la décarbonation qui libère dans le milieu des ions calcium, ces ions sont déplacés par les eaux percolant ou par diffusion sur des distances variables, tant au sein d'un horizon ou des divers horizons du profil (MADANI, 2008).

La solubilisation du calcaire concourt à l'établissement dans la phase liquide du sol du système permanent $[(\text{CaCO}_3), (\text{H}_2\text{O}), (\text{CO}_2)]$, dont dépend de l'équilibre protonique du sol (MOREL, 1996).

Le transfert du calcium s'arrête avec la ré-précipitation du carbonate de calcium, dans ce cas il y a un calcaire de néoformation dont l'accumulation peut présenter une intensité et des formes très diversifiées (Pseudo mycélium, nodules, encroûtement, croûtes compactes) (BONNEAU et SOUCHIER, 1979).

Cet apport de calcaire vers la surface n'est pas partout le fait du même processus. Il peut se faire par l'intermédiaire des végétaux, soit mécaniquement, les racines remontant les débris de roche

pris en profondeur, soit chimiquement, la plante accumulant dans ses parties aériennes du calcaire libéré ensuite par destruction des matières organiques (BENCHETRIT, 1956).

Enfin, cette accumulation superficielle peut encore résulter d'une attaque du complexe absorbant par le gaz carbonique de l'eau de pluie, fixant le calcaire dissous qui précipite ensuite par suite d'une sécheresse trop grande du milieu et d'une forte température (BENCHETRIT, 1956).

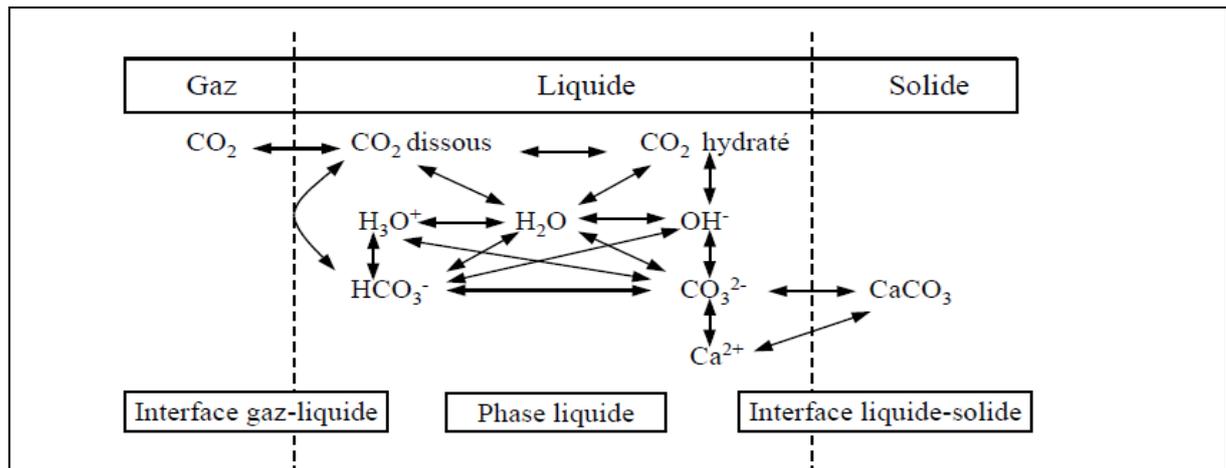


Figure 06. Espèces chimiques dans le système $\text{CaCO}_3\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ (LEGROS, 2007).

3.3.2. Calcification

Ce processus concerne la formation des croûtes calcaires, qui caractérise certains sols des régions arides ou semi-arides (DUCHAUFOR, 2001).

En fait ce processus comporte plusieurs variantes liées aux conditions de station. Toutefois, un certain accord existe sur le processus de base qui est étroitement lié aux alternances d'humectation dessiccation du profil, ces phases pouvant être séparées par de longs intervalles de temps ou être simplement saisonnières (DUCHAUFOR, 2001).

Les phases d'humectation sont nécessaires à la mobilisation du calcaire (dissolution, formation de suspension des particules fine). Les phases dessiccation favorisent la précipitation, puis la consolidation et enfin la cristallisation se forme de calcite du calcaire mobilisé (DUCHAUFOR, 2001).

3.3.3. Lixiviation

Migration des sels solubles (de K^+ , Na^+ , Ca^+ , ...), c'est là le cas des sels provenant des carbonates d'une roche calcaire (PREVOST, 2006). Cette migration est fonction de la solubilité des sels. L'eau qui s'infiltre dans le sol dissout les sels par rapport à leur ordre de solubilité croissante, et il entraîne les sels en profondeur (DURAND, 1983).

Ce processus concerne les éléments solubles qui y sont contenus notamment les alcalins et alcalino-terreux ; la lixiviation provoque la désaturation du complexe adsorbant et aboutit à l'acidification du profil. Il en résulte la possibilité géochimique de nouvelles dissolutions du fait des changements de pH (CAMUZARD, 2000).

3.4. Modalités et formes d'accumulation du calcaire dans le sol

Selon la quantité et la fréquence des précipitations, la topographie, la texture du sol et la végétation, le calcaire peut être distribué et individualisé de trois façons différentes :

3.4.1. Distribution diffuse

Le calcaire se présente sous forme de particules fines de dimensions égales ou inférieures à 1 mm. Ces particules, sont distribuées au hasard dans la base de l'horizon (RUELLANT, 1971 ; RUELLANT, 1973).

3.4.2. Concentrations discontinues

Elles se présentent sous des aspects très variés par leurs dimensions, forme, callosités ou couleurs. Ces accumulations peuvent devenir homogènes et on passe alors de manière progressive à des accumulations continues (EL IDRISSE, 1992). Les principales formes sont :

- **Pseudo-mycéliums** ; Ce type d'individualisation est caractéristique des sols Calcimagnésiques et des sols isohumiques (RUELLANT, 1973 ; EL IDRISSE, 1992 ; MADANI, 2008).
- **Amas friables** ; Ce terme englobe toutes les formes d'individualisation plus ou moins sphériques, à contour irrégulier, ou en masse verticale, non consolidées, à porosité forte et à surface poussiéreuse, dispersées dans la masse d'un horizon. Elles sont constituées de calcaire presque pur (94%), caractérisent principalement les horizons profonds (RUELLANT, 1973 ; EL IDRISSE, 1992 ; MADANI, 2008).
- **Nodules** ; Ce terme indique des individualisations consolidées, d'aspect plus ou moins arrondi ou ovoïde et ou poreux, présents sous forme d'inclusions dans la masse. Selon la

terminologie de RUELLAN (1970 in MADANI, 2008) les nodules de diamètre < 1cm sont appelés granules (RUELLANT, 1973 ; EL IDRISSEI, 1992 ; MADAN, 2008).

En Algérie, d'après DJILI (2000), les formes diffuses et discontinues se localisent aussi bien dans les régions sud de l'Algérie septentrionale, ces deux formes sont les biens représentés dans l'ensemble du profil.

3.4.3. Concentrations continues

C'est le stade où l'expression morphologique est maximale. Elle est généralisée à tout un horizon et fait disparaître, en très grande partie ou en totalement les structures des matériaux pédologiques ou lithologiques au sein desquels elle se développe (EL IDRISSEI, 1992). Il y a plusieurs types d'encroûtements

- Les encroûtements non feuilletés ; Ils sont caractérisés par une structure massive, mais sans induration notable. Ils sont en général pulvérulents à l'état sec, mais peuvent englober sous forme les amas friables, des granules et des nodules associés dans différentes proportions (EL IDRISSEI, 1992). Il y a deux types
 - Les encroûtements massifs
 - Les nodulaires (RUELLANT, 1973 ; MADANI, 2008).
- Les encroûtements feuilletés ; il y a deux types
 - Les croûtes constituées par la superposition de "Feuillets" nettement individualisés (croûte feuilletée), d'encroûtement consolidé, mais non pétrifié. Leur couleur varie de blanche crème à rose et l'épaisseur des feuillets varie de quelques centimètres à plus de 25 centimètres (EL IDRISSEI, 1992).
 - Les dalles compactes présentent un empilement d'un ou plusieurs feuillets calcaires. Elles sont le plus souvent épaisses, plus dures que les croûtes et continues (Fig.07)(RUELLANT, 1973 ; MADANI, 2008).

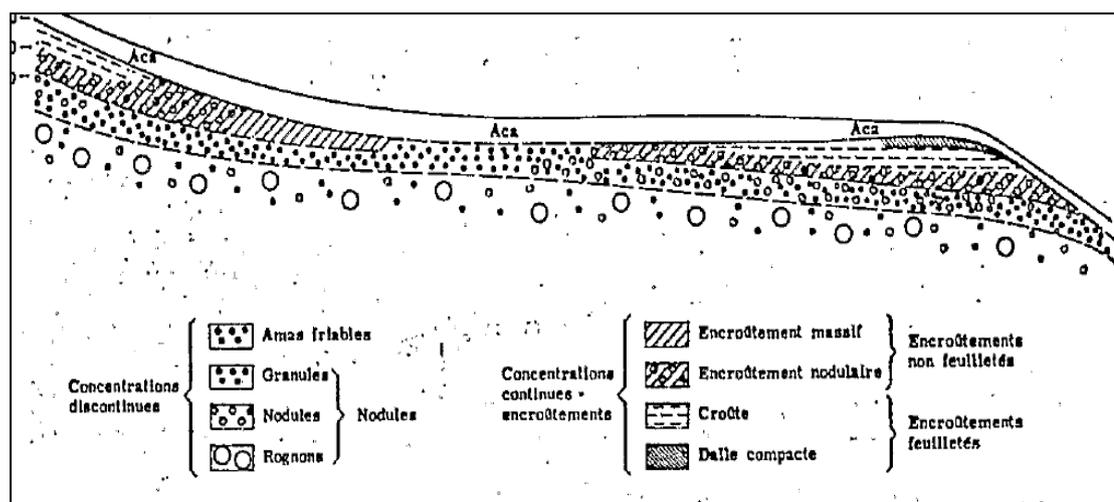


Figure 07. Formes d'accumulation du calcaire dans le sol (RUELLAN, 1973).

Selon DJILI (2000), la forme continue se situe essentiellement au niveau des régions arides et semi- arides. Cette forme se rencontre rarement en surface ; elle est relativement plus fréquente à la base du profil.

En plus de trois formes mentionnées, le carbonate de calcium se présente aussi sous trois autres variétés allotropiques sous formes hydratées ; le carbonate de calcium amorphe, le carbonate de calcium monohydrate et la forme hexa hydratée connue sous le nom d'Ikaïte (HANNACHI, 2006).

Le carbonate de calcium amorphe (CCA) ; Le CCA constitue la forme la plus instable et se présente sous forme sphérique de diamètre inférieur à 1 μm (HANNACHI, 2006).

Le carbonate de calcium monohydrate (CCM) $\text{CaCO}_3\text{H}_2\text{O}$; Il cristallise dans le système hexagonal sous forme de sphéricités. Il est instable en l'absence d'un inhibiteur et se transforme en une des formes anhydres (HANNACHI, 2006).

Le carbonate de calcium hexa hydraté (Ikaïte) ; Il s'obtient par double décomposition d'un mélange de deux solutions de CaCl_2 et de Na_2CO_3 au voisinage de 0°C . A partir de 6°C , le $\text{CaCO}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ se décompose rapidement en une des formes anhydres (HANNACH, 2006).

3.5. Propriétés des sols calcaires

Les sols calcaires sont caractérisés par leur complexe adsorbant saturé par l'ion Ca^{++} ainsi que par des pH de la solution du sol élevés compris entre 8, 5 et plus (BENCHETRIT, 1956 ; PLASSARD, 1996).

3.5.1. pH du sol

Le pH permet de définir, d'une manière approximative, l'état du complexe adsorbant, notamment au niveau du taux de saturation S/T% (S=somme des bases échangeables). Globalement le taux S/T augmente corrélativement avec le pH (CAMUZARD, 2000).

Le pH est un coefficient qui caractérise l'acidité d'un sol (présence d'ions H^+) ou la basicité (généralement due à l'abondance d'ions calcium). Dont la valeur dépend de nombreux facteurs chimiques (présence de carbonates.), physique (échange air-eau) et biologiques (balance entre l'activité photosynthétique du milieu et son activité saprophytique) (RAHAJAHARITOMPO, 2004 ; LARCHER et GELGON, 2005).

Le pH (cologarithme de la concentration en ions H^+) varie de 0 à 14 et la neutralité est atteinte lorsque le pH est égal à 7 (BAIZE, 1988 ; LARCHER et GELGON, 2005).

Selon BAIZE (1988), On peut classer les sols selon leur acidité de la manière suivante :

Tableau 04. Valeurs du pH en cas d'un horizon pédologique (BAIZE, 1988).

Valeurs de PH	significations
<3, 5	Hyper-acide
3, 5-5	Très acide
5-6, 5	Acide
6, 5-7, 5	Neutre
7, 5-8, 5	Basique
>8, 5	Très basique

L'acidité du sol est déterminée par la concentration en ion H^+ . L'acidité effective qui correspond à la concentration en ion H^+ libre existant dans la solution du sol (c'est le pH-eau) à l'acidité titrable (c'est le pH-KCL) qui est représentée par les ions H^+ échangeables, fixés par les colloïdes et constituant une réserve non disponible (BENMAHDI, 2008).

Le pH d'un sol calcaire est en fonction de la pression partielle du CO_2 de l'atmosphère du sol. Ainsi la présence de calcaire contribue à fixer la valeur de la réaction du sol, caractéristique importante de l'environnement physico-chimique des racines (MOREL, 1996).

3.5.1.1. pH-KCl et pH-eau du sol calcaire

pH-KCL correspond à l'acidité potentielle, quand tous les ions Al^{+3} , H^+ et Mn^{+2} , porteurs d'acidité, sont déplacés du complexe argilo-humique par les ions K^+ de la solution saline de KCl, il donne donc une idée de l'acidité contenue dans la solution du sol (pH-eau) et de l'acidité adsorbée sur les particules du sol (complexe argilo-humique). Il est toujours plus bas que le pH-eau (INRA, 2012).

Le pH mesuré dans une solution de KCl est toujours inférieur (0,2 à 1) au pH eau (du fait de l'échange d'ions K^+ contre H^+) (CAMUZARD, 2000).

La différence entre les deux est ce qu'on appelle l'acidité d'échange (ou acidité de réserve à savoir la somme des charges cationiques acides fixées sur le complexe argilo-humique) (INRA, 2012).

La diminution du pH-eau du sol n'est pas clairement associée à une variation de la teneur en carbonates (BELAID, 2010). La valeur du pH détermine la stabilité de la structure du sol, le fonctionnement de la capacité d'échange cationique (C.E.C.) ou encore l'assimilabilité du phosphore (INRA, 2012).

Le pH est donc l'un de ces principales caractéristiques du sol qui est fortement influencée par la teneur en carbonate de calcium (Tabl. 05) (MADANI, 2008).

Tableau05. Valeurs de pH du sol en fonction de l'intensité du calcaire (DELAUNOIS et al, 2008).

Intensité du calcaire	Test HCL	Signification
Nulle	Aucune réaction	Pas de calcaire dans le sol. Sol acide. pH eau < 7 (de 4 à 6, 5 environ).
Très faible	Réaction très faible, décelable à l'oreille ou avec quelques bulles localisées.	Très peu de calcaire total (< 2 %). Sol neutre. pH autour de 7 à 7, 5.
Faible	Une à deux couches de petites bulles. Réaction faible.	Un peu de calcaire total (2 à 10 %). Sol peu calcaire. pH eau autour de 7, 5 / 8.
Moyen	Plusieurs couches de bulles. Réaction moyenne.	Sol modérément calcaire (10 à 25 % de CaCO ₃ total).
Forte	Nombreuses couches de bulles, en général salies par des éléments de terre fine. Réaction vive.	Sol très calcaire (25 à 55 % de CaCO ₃ total). pH eau de 8, 3 à 8, 5. Présence importante de calcaire actif. Risques de chlorose (manque de fer assimilable).
Très forte	Nombreuses couches de bulles Réaction violente, très vive. Parfois de très grosses bulles.	Sol très calcaire (> 55 % de CaCO ₃ total). pH eau de 8, 3 à 8, 5. Présence très importante de calcaire actif.

La répartition des sols à pH acide ou bien basique en Algérie est varié au nord que sud, la figure (08) montre que le pH des sols Algériens se situe entre 5, 6 et plus de 8.

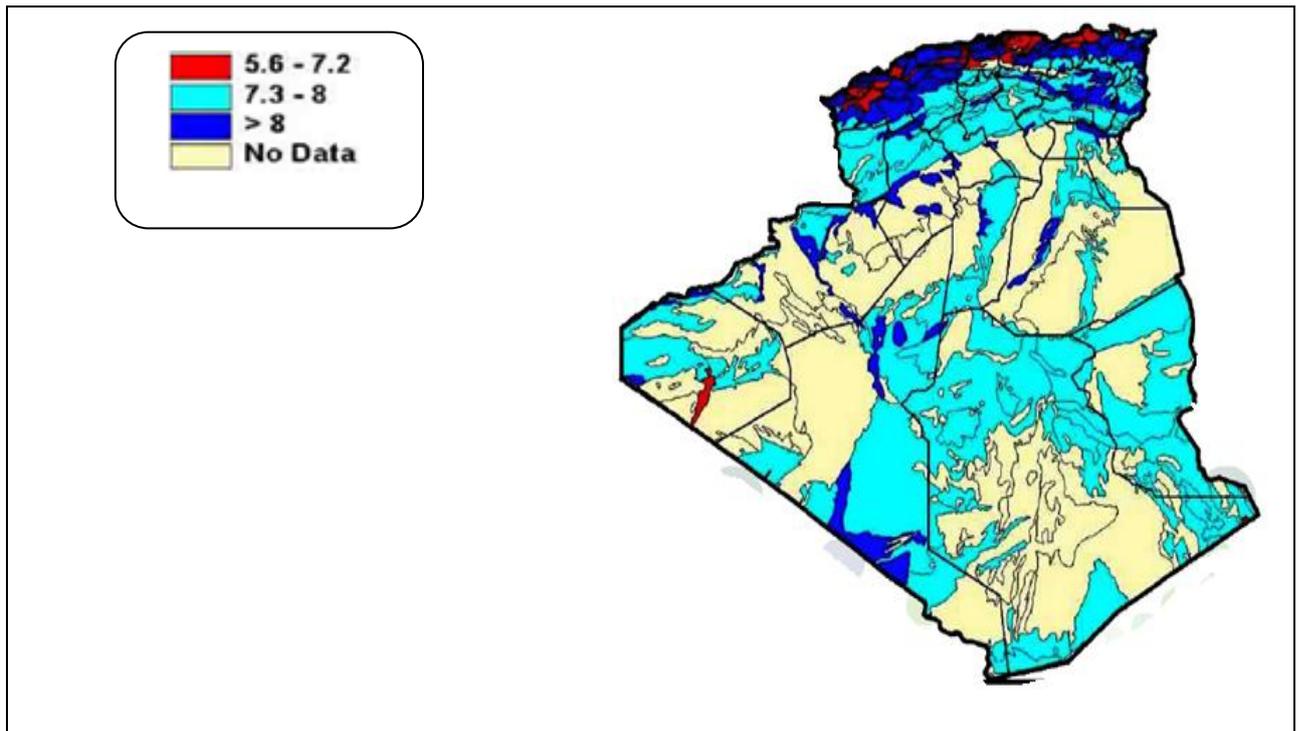


Figure 08. pH des sols Algériens (BENNAI et BENABBAS, 2007).

DJILI (2000), a montré que dans le contexte des sols du Nord de l'Algérie, une augmentation des taux de calcaire entre 0 et 2, 5 % provoque une augmentation du pH jusqu'à une valeur maximale de 7, 82%.

Au-delà du seuil de 2,5% de CaCO_3 , les particules de carbonate de calcium auront essentiellement un effet stérique sur les propriétés des sols (MADANI, 2008). La majorité des sols Algériens sont des sols à pH alcalin > 7 (MIHOUB, 2012).

Les valeurs de pH eau des sols montrent que les sols de Ghardaïa sont neutres à alcalin (pH compris entre 6, 5 et 7, 44 fixés par le référentiel pédologique (INRA, 1995) (BENMAHDI, 2008).

3.5.2. Taux d'argile

HALITIM (1988), note que «la teneur en argile est inversement proportionnelle au pourcentage de calcaire », mais il y a dans la nature des sols qui sont à la fois très peu argileux et très peu pourvus en calcaire (par exemple les sols lessivés développés sur les dunes pré-littorales du sahel algérois).

Dans le contexte des sols du Nord de l'Algérie, DJILI (2000), trouve qu'il n'y a pas de proportionnalité entre les taux d'argile et les taux de calcaire. L'argile ne commence à avoir un effet

sur les taux de calcaire qu'à partir d'une teneur qui avoisine les 40% d'argile. A partir de ce seuil, les teneurs en calcaire des sols diminuent très fortement quand les taux d'argile augmentent (MADANI, 2008).

Ce phénomène serait dû probablement au fait que la faible perméabilité hydraulique des horizons très argileux ne permet pas l'entraînement et l'accumulation des carbonates de calcium dans le sol (MADANI, 2008).

3.5.3. Matière organique

Les sols calcaires contiennent des doses appréciables de matières organiques (entre 0, 3 et 1%) (BENCHETRIT, 1956).

Selon POUGET (1980 in MADANI, 2008) et TRACHAUD (1994 in MADANI, 2008), « Les processus d'humification et de minéralisation de la matière organique sont régis, entre autres par la présence du calcaire dans le sol, le calcium ayant un effet protecteur contre la dégradation microbienne ». DJILI (2000), signale que les sols riches en calcaire le sont aussi en matière organique.

3.5.4. CEC

La CEC est contrôlée surtout par la nature et les taux d'argile, ce dernier se traduit par la diminution de calcaire (MADANI, 2008).

La CEC devrait diminuer quand les taux de calcaire augmentent, seulement, dans la nature, le calcaire et l'argile sont accompagnés par de nombreux constituants du sol (sables, limons, matière organique, gypse) (DJILI, 2000).

La valeur de la C.E.C. d'un sol est donc en fonction de sa richesse en argile et en matière organique (INRA, 2012).

Dans le contexte des sols du Nord de l'Algérie, DJILI (2000), trouve que l'augmentation des taux de calcaire entre 0 et 40% s'accompagne par l'augmentation de la CEC, au-delà de ce seuil, la CEC diminue quand les taux de calcaire augmentent suite au faible pouvoir d'échange du carbonate de calcium.

3.6. Sols calcaires en Algérie

Les sols carbonatés sont les plus répandus en Algérie, notamment dans les écosystèmes steppiques et présahariens où ils représentent de vastes étendues encroûtées. Dans les régions

telliennes, ils se forment chaque fois que la roche mère est argileuse ou donne des produits de décomposition argileux (NEDJRAOUI, 2001).

Les sols calcaires, se distribuent sur l'ensemble du Nord de l'Algérie, particulièrement dans les étages bioclimatiques arides et semi- arides (MADANI, 2008). Sont localisés dans le nord du pays, où ils sont dans leur majorité faiblement à fortement calcaires, ils s'expriment mieux entre les isohyètes 270 et 500 mm. Les taux en calcaire se localisent préférentiellement dans les zones inférieures du pays (régions steppiques et hauts plateaux) (DJILI, 2000).

Selon F.A.O (2005), les types de sols calcaires en Algérie sont

- Sols bruns calcaires dans les bioclimats humides et sub- humides (calcisols).
- Sols à accumulations calcaires en profondeur (bruns iso humiques) dans les bioclimats semi-arides et arides (calcisols).

D'après HALITIM (1988), les sols Calcimagnésiques regroupent les sols carbonatés parmi lesquels on retrouve

- Les rendzines humifères sur les versants des djebels.
- Les sols bruns calcaires à accumulation calcaire xérifiée qui sont très répandus sur les glacis polygéniques du Quaternaire ancien et moyen.
- Les sols à encroûtement gypseux qui sont plus rares, représentés par des petites plages dans les zones de grès alternant avec les marnes et argiles versicolores.

En d'autres termes, les sols calcaires occupent en Algérie les régions dans lesquelles les roches mères calcifères donnent par altération des produits de décomposition perméables et les sols décalcifiés là où -tout ou partie du carbonate de chaux a disparu de la roche mère calcaire, et où par conséquent, sa décomposition superficielle donne des produits argileux imperméables (BENCHETRIT, 1956).

3.7. Effet du calcaire sur le sol et les végétaux

L'absorption excessive de calcium, en milieu calcaire, élevant de manière dangereuse les rapports Ca/K et Ca/Mg, (DUCHAUFOR et BONNEAU, 1962).

La présence de calcaire dans un sol, dès la surface, provoque une augmentation de la teneur en matière organique totale, ainsi qu'une incorporation de matière organique sur une grande épaisseur (LETACON, 1976).

Les carbonates de calcium interviennent rapidement en inhibant la biodégradation (minéralisation secondaire) de la matière organique humifiée (KOULL, 2007). Et il y aurait oxydation rapide de la lignine, ce qui ralentirait sa fragmentation, ainsi que sa minéralisation par les micro-organismes (LETACON, 1976).

Le calcaire dans le sol influe sur son pH qui influe à son tour sur l'assimilation du phosphore (MIHOUB, 2012).



Partie II :
Matériels et
méthodes d'étude

Chapitre III. Présentation de la région d'étude

1. Situation géographique

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du 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 daïras de Ghardaïa, Metlili et El-Ménéa.

Le chef lieu de la wilaya de Ghardaïa est limité :

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

La Wilaya couvre une superficie de 84660,12km² se répartissant comme suit :

Tableau 06. Répartition de la superficie de la wilaya Ghardaïa (DPAT, 2013).

Communes	Superficies (Km ²)
Ghardaïa	306,47
El-Ménéa	23920,68
Daya	2234,94
Berriane	2609,80
Metlili	5010,12
Guerrara	3382,27
El-Atteuf	717,01
Zelfana	1946,23
Sebseb	4366,82
Bounoura	778,92
Hassi-El-F'hel	6875,39
Hassi-El-Gara	27698,92
Mansoura	4812,55
Total	84660,12

Il comporte 13 communes regroupées en 8 daïrates pour une population 413560 habitants, soit une densité de 4,88habitants/ km².

2. Climat

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

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Saharien, se caractérise par deux saisons ; une saison chaude et sèche (d'Avril à Septembre) et une autre tempérée (d'Octobre à Mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver (A.N.R.H, 2007). Il est également caractérisé par la sécheresse de l'air, mais l'existence des micros-climats jouent un rôle considérable dans les milieux désertiques. Le relief, la présence d'une végétation abondante peuvent modifier localement les conditions climatiques (microclimat) (DPAT, 2011).

La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de 17 ans entre 1996-2012 ; à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie (Tabl .09).

2.1. Température

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

D'après le tableau (09), la température moyenne annuelle de la région de Ghardaïa est de 22,58°C, avec 33,63°C en Août pour le mois plus chaud, et 12,34°C en Janvier pour le mois plus froid.

2.2. Pluviométrie

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

D'après le tableau (09), on remarque une précipitation très rare et irrégulière à travers les saisons et les années dans la région de Ghardaïa. Le mois le plus pluvieux est celui de Septembre

avec une pluviométrie moyenne mensuel de l'ordre de 15,85mm, et une moyenne annuel de 77,01mm.

Les paramètres climatiques ont une grande influence sur la répartition spatio-temporelle de la flore saharienne.

Tableau 07.Données météorologiques de la région de Ghardaïa (1996-2012) (ONM, 2013).

paramètres	T. (°C)			P (mm)	H(%)	I (h/mois)	E (mm)	V.V (m/s)
	Min	Max	Moy					
Janvier	8,6	13,4	12,34	5,05	53,81	50.74	17.62	5,91
Février	9,5	16,4	14,38	3,06	44,21	46.39	25.97	7,69
Mars	15,2	21,5	16,66	8,23	38,38	52.87	33.58	6,9
Avril	19,1	23,9	21,3	11,23	38,63	74,42	43.18	7,75
Mai	23,1	28,4	26,11	2,62	28,34	62.64	50.18	7,09
Juin	29,6	34,4	30,99	2,12	24,87	67	75.04	7,08
Juillet	33,7	37,1	33,41	1,17	21,98	70.60	76.97	6,11
Aout	33,2	35,1	33,63	9,96	25,61	65.93	71.15	5,63
Septembre	26,6	31,4	29,16	15,85	35,3	54.18	51.47	6,17
Octobre	20,8	26,6	23,88	8,2	42,74	54.5	33.07	7,82
Novembre	14,1	17,6	16,6	3,46	46,94	50.63	24.57	5,29
Décembre	10,5	15	12,51	6,06	52,47	49.52	24.82	6,16
moyenne	20,33	25,06	22,58	77,01*	37,77	699.42*	527.62*	6,63

*cumulés annuelle H.Humidité relative I. Insolation P. Précipitation E. Évaporation

T.Température moyenne

VV. Vitesse de vent

2.3. Vent

Malgré les apparences, le Sahara n'est pas un pays venteux, mais un pays où, par suite de sa dénudation, on ressent le plus facilement le vent DUBIEF (1953 in MADANI, 2008).

Dans la région de Ghardaïa, les vents sont fréquents durant toute l'année. La vitesse moyenne du vent est de l'ordre de 6,63m/s, avec un maximum de 7,82m/s au mois d'Octobre (Tabl.09). Les vents chauds (Sirocco) dominant dans la région en été. Ils peuvent causer des dégâts surtout en l'absence du couvert végétale.

2.4. Evaporation

Selon DUBIEF (1953 in MADANI, 2008), le Sahara apparaît comme la région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée. Cette perte d'eau, peut avoir comme origine

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

L'évaporation est l'un des facteurs caractérisant l'aridité d'une région. Dans la région de Ghardaïa le maximum d'évaporation est enregistré durant le mois de Juillet avec 76.97mm, le minimum est enregistré durant le mois de Janvier avec 17.62mm avec un cumul annuel moyen de 527.62mm (Tabl. 09).

2.5. Insolation

A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant en augmentant la température (OZENDA, 1991). La forte luminosité est un facteur favorable pour l'assimilation chlorophyllienne, mais elle a en revanche un effet desséchant car elle augmente la température OZENDA (1983 in DJILI, 2004).

Pour la région de Ghardaïa, La durée d'insolation minimum est de 46.39heures au mois de Février, la durée d'insolation maximum est de 74,42 heures au mois d'avril.

2.6. Humidité de l'air

L'humidité relative de l'air ou degré hygrométrique, c'est-à-dire le rapport entre la teneur réelle de l'air en vapeur d'eau et la teneur d'un air saturé à la même température, reste très faible, elle est comprise entre 15% et 50%. Au Sahara central cette valeur peut tomber jusqu'à 4%. Elle est naturellement plus forte en hiver qu'en été et la nuit que le jour.

D'après le tableau (09), la moyenne d'humidité à Ghardaïa est de l'ordre de 37,77%. Le mois de janvier étant le plus humide avec une humidité de l'air de l'ordre de 53, 81%.

BAGNOULS et GAUSSEN (1953), permis de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il est représenté (Fig.11);

- en abscisse par les mois de l'année.
- en ordonnées par les précipitations en mm et les températures moyennes en °C.
- une échelle de $P=2T$.
- L'aire compris entre les deux courbes représente le période sèche.

Dans la région de Ghardaïa, nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année.

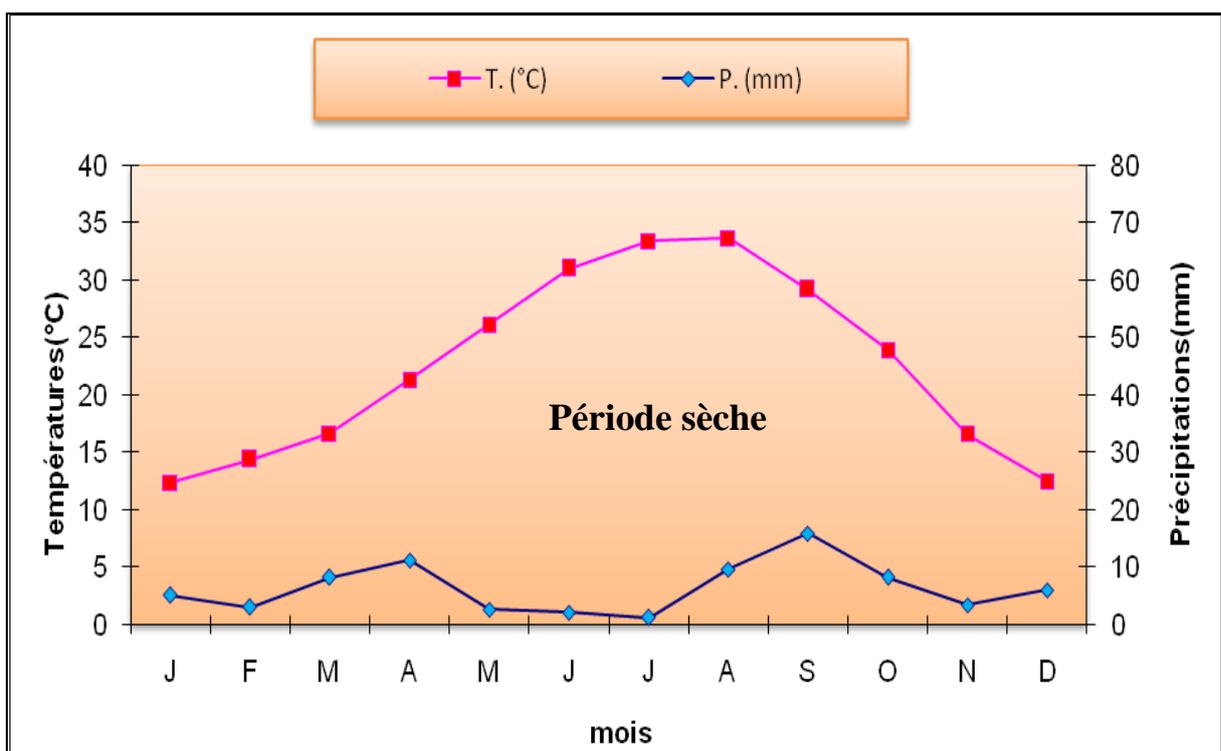


Figure 10. Diagramme Ombrothermique du GAUSSEN de la région de Ghardaïa (1996-2012).

3.2. Climagramme d'EMBERGER

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

- en abscisse par la moyenne des minima du mois le plus froid.
- en ordonnées par le quotient pluviométrique (Q2) d'EMBERGER (1993 in LE HOUEROU, 1995).

Nous avons utilisés la formule de STEWART (1996 in LE HOUEROU, 1995) adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3.43 P/M-m$$

Q_2 : quotient thermique d'EMBERGER.

P: pluviométrie moyenne annuelle en mm.

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

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

D'après la Figure (12), Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient thermique (Q_2) est 7,57

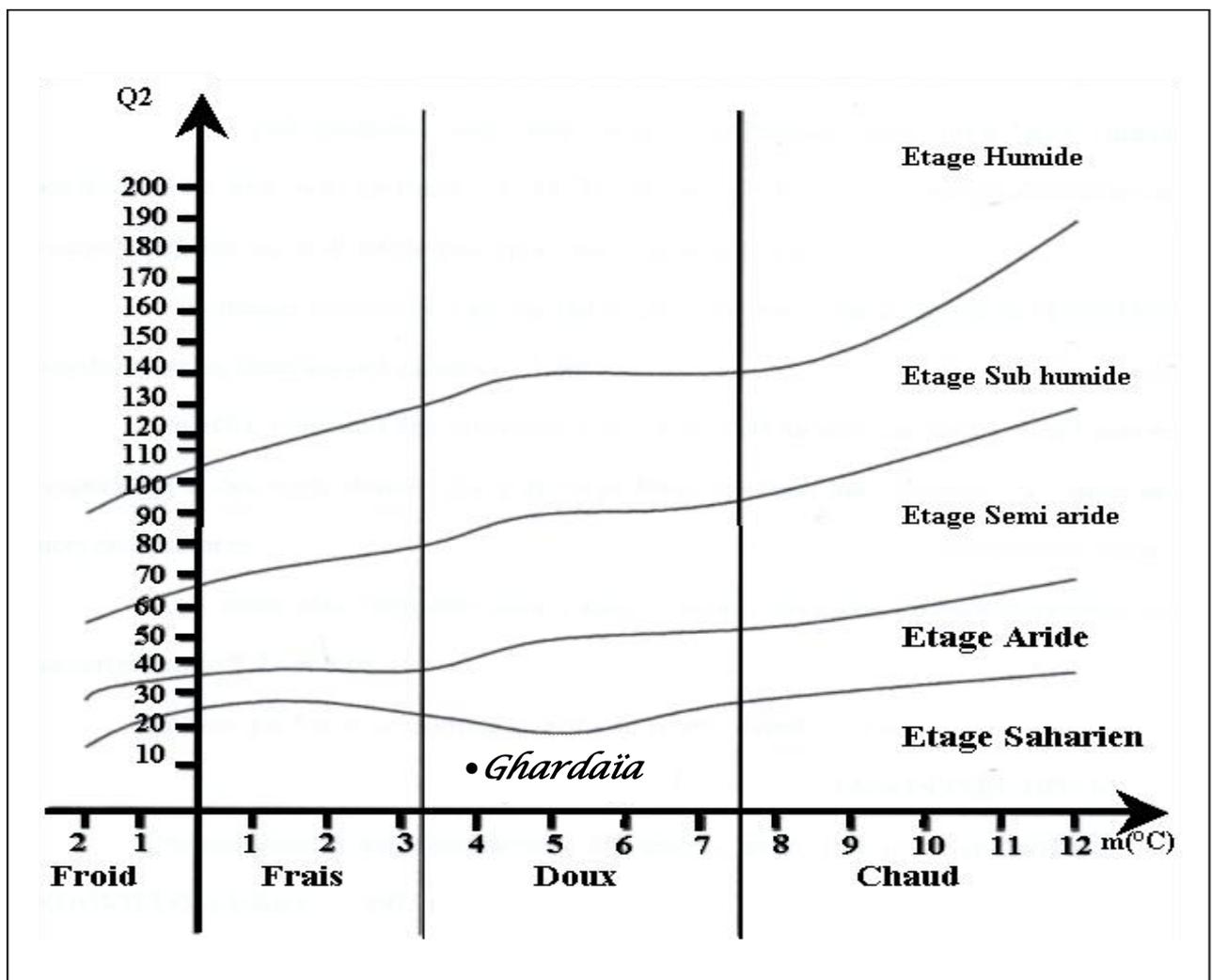


Figure 11. Etage bioclimatique de la wilaya de Ghardaïa selon le Climagramme d'EMBERGER.

4. Géomorphologie

Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques (D.P.A.T, 2013).

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

4.1. Chabka du M'Zab

C'est un plateau créacé rocheux et découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, qui semblent s'enchevêtrer les unes des autres. Ces vallées sont plus ou moins parallèles. Leur pente est dirigée vers l'Est (D.P.A.T, 2013).

La hauteur des vallées du M'Zab est assez variable et n'atteint pas les cent mètres. Leur largeur est parfois de plusieurs kilomètres. Les formations encaissantes comprennent des calcaires, et au dessous des marnes ; les calcaires généralement dolomitiques constituent le plateau et le haut des berges (D.P.A.T, 2013).

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

Mis à part, Zelfana et Guerrara, les neuf autres communes (Ghardaïa, Berriane, Daïa, Bounoura, El Ateuf, Metlili, Sebseb, Mansoura et Hassi L'Fhel) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau (A.N.R.H, 2007).

4.2. Région des dayas

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

Dans la région de Ghardaïa seule la commune de Guerrara, située au nord-est, occupe une petite partie du pays des dayas. (A.N.R.H, 2007).

4.3. Région des regs

Située à l'Est de la région de Ghardaïa, et de substratum géologique pliocène, cette région est caractérisée par l'abondance des Regs, qui sont des sols solides et caillouteux. Les Regs sont le résultat de la déflation éolienne, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf (A.N.R.H, 2007).

5. Géologie

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab" (A.N.R.H, 2007).

L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens.

L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres (A.N.R.H, 2007).

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 phréatiques (fig.13) (A.N.R.H, 2007).

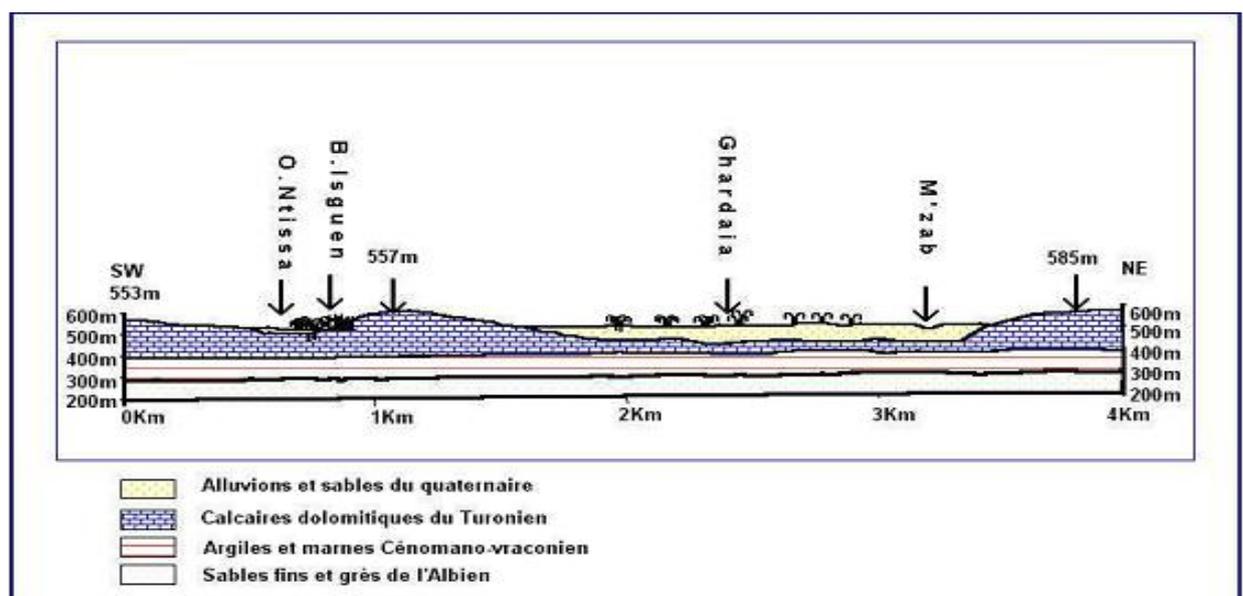


Figure 12. Esquisse hydrogéologique du M'Zab (A.N.R.H, 2007).

6. Hydrologie

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau des 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.14), 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 qui connaît la région.

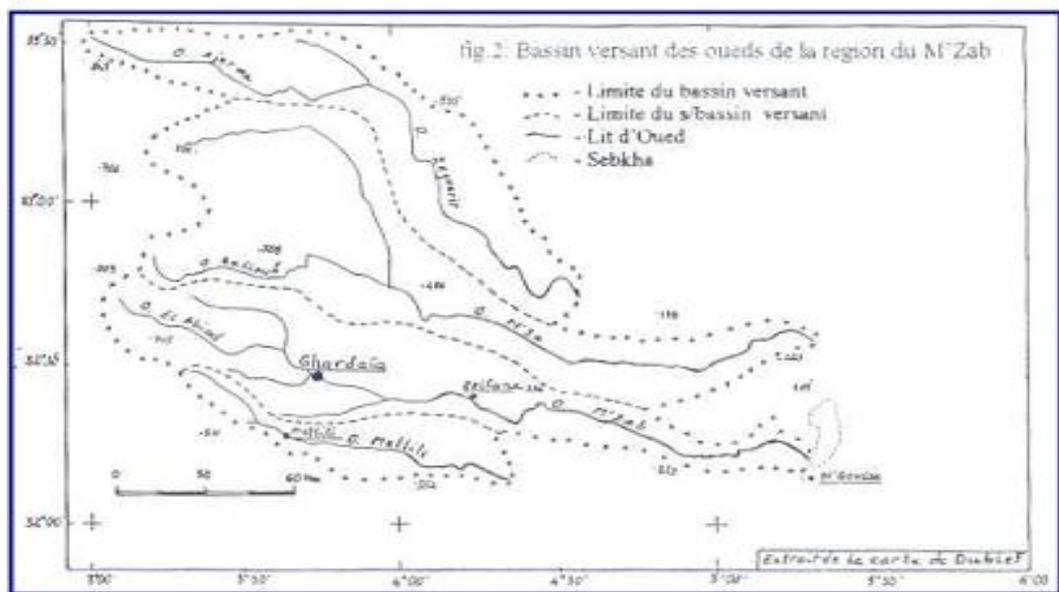


Figure 13. Bassin versant de la région du M'Zab (A.N.R.H, 2007).

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

7. Ressources hydriques de la région

L'origine des ressources hydriques de la Wilaya est essentiellement souterraine (nappe du complexe terminal et nappe du complexe intercalaire). Néanmoins les réserves sont méconnues. Les eaux sont captées au moyen de forages ou de puits.

Les capacités hydriques annuellement mobilisées s'élèvent à 360,05hm³ et sont affectées aux différents pôles d'utilisation (AEP, AEI, Irrigation). La dotation moyenne en AEP est de 180 litres / jour / habitant. La part affectée à l'industrie est de 4,15 % du volume global mobilisé, alors que 54,24 % le sont pour l'agriculture (DPAT, 2011).

7.1. Nappe phréatique

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

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

7.2. Nappe du continental intercalaire

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

Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud Atlasique. La nappe du continental intercalaire, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au continental intercalaire, elle est :

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

8. 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 in 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 in MIHOUB, 2009).

Selon BELERAGUEB (1996 in 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.

Chapitre IV. Matériels et méthodes

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

L'objectif principal de cette étude est de mettre la lumière sur l'impact de l'intensification agricole sur la variation du pH et du taux de calcaire total du sol dans une parcelle cultivé par la céréale dans une station expérimentale, ferme de BEN HAMOUDA situé à HASSI EL F'HEL dans la commune du Mansoura.

1. Matériels d'étude

1.1. Au terrain

- ❖ GPS.
- ❖ Tamis 2 mm.
- ❖ cordes.
- ❖ marqueurs, tarière.
- ❖ Appareil de niveau.

1.2. Au laboratoire

- ❖ Balance analytique à 0.1 mg et à 0,01g.
- ❖ pH-mètre + électrodes.
- ❖ Calcimètre de BERNARD.
- ❖ Plaque chauffantes, agitateur magnétique, thermomètre.

2. Choix du site d'étude

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

- ✓ Le nombre 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.

- ✓ La qualité des eaux d'irrigation qui ne présente pas de salinité.
- ✓ L'existence d'une parcelle non cultivée (témoin).
- ✓ Les facilités rencontrées par les gestionnaires de la ferme.

3. Présentation du site d'étude

Le terrain expérimental est situé au niveau de la Ferme du BEN HAMOUDA, qui à été crée en 1995 à HASSI EL FHEL dans la commune de MANSOURA. Cette dernière a une distance d'environ 120 Km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa, et à 155Km de Ménea, 260Km de Ouargla, 715Km d'Alger, et une superficie de 6715Km², une latitude de 30° et 34' N, une longitude de 2° et 52'E (COMMUNE MANSOURA, 2013).

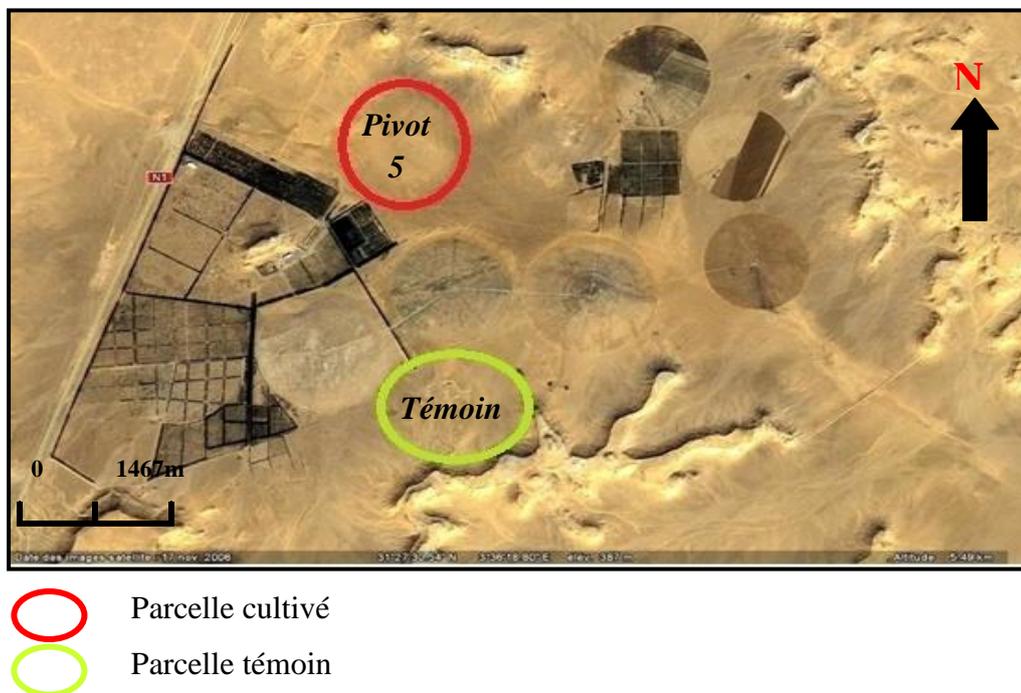


Figure 14. Localisation des Parcelles étudiés (Google Earth, 2013).

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 totale couverte par centre pivot répartie en 8 pivot dont les superficies entre 35 et 40 ha et 50 ha. En plus de céréaliculture, la phoeniciculture trouve sa place avec 5000 pieds couverts une superficie de 50 ha.

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent de la continental intercalaire (albien) et captent par 05 fourrages.

4. Choix de parcelle d'étude

On cette ferme nous avons choisi la parcelle n°5 qui a été cultivée en céréales pendant 04 compagnes. Qui couvre une superficie de 45 ha, et autre non cultivée pour prendre comme témoins.

Dans un but de prend des échantillons du sol et faire des analyses pour quantification du pH et le taux de calcaire total du sol,



Photo 01. parcelles d'étude à gauche cultivée, à droite non cultivée.

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

4.1. Travail du sol

Pour un meilleur rendement, la préparation du sol est nécessaire, à partir le labour par des instruments selon la texture du sol. En raison d'ameublie le sol en profondeur, facilite le lessivage des sels et d'incorporation la 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 charrue à disque s'effectue pour l'enfouissement d'engrais. La profondeur de labour est de 10 cm. suivi par des cultivateurs à socs et cultivateur à dents. Le fauchage s'effectué à l'aide d'une moissonneuse-batteuse

4.2. Semis

Pour la semence il faut prendre en considération les variétés utilisé, 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 ; poids, variété, teneur de sol et eau en sels (DSA, 2013).

Dans la parcelle d'étude la semence s'effectue en octobre avec une dose varie selon les variétés utilisées avec profondeur de semis d'ordre de 7 cm.

4.3. Fertilisation

Dans la parcelle d'étude, la fertilisation s'effectué par les engrais de fond (TSP 46 % à dose 2qtx/ha), complémentaires (potassium, NPK), les amendements azotée (urée46% à dose 4qtx/ha), oligo-éléments. L'amendement est réalisé juste avant le semis.

4.4. Irrigation

Une pré-irrigation est appliquée pendant une semaine à raison de 500 et 600 mm/ha pour blé tendre, l'orge respectivement, pour but :

- une levée rapide et homogène de la culture.
- faire germer les repousses de la culture précédente et de 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. La quantité totale d'eau appliquée y compris celle de la pré-irrigation est de l'ordre de 60 L/s pour chaque pivot.

Ces quantités sont estimées auprès des gestionnaires de pivot en connaissant la pluviométrie journalière et le nombre de jour d'irrigation.

5. Démarche méthodologique

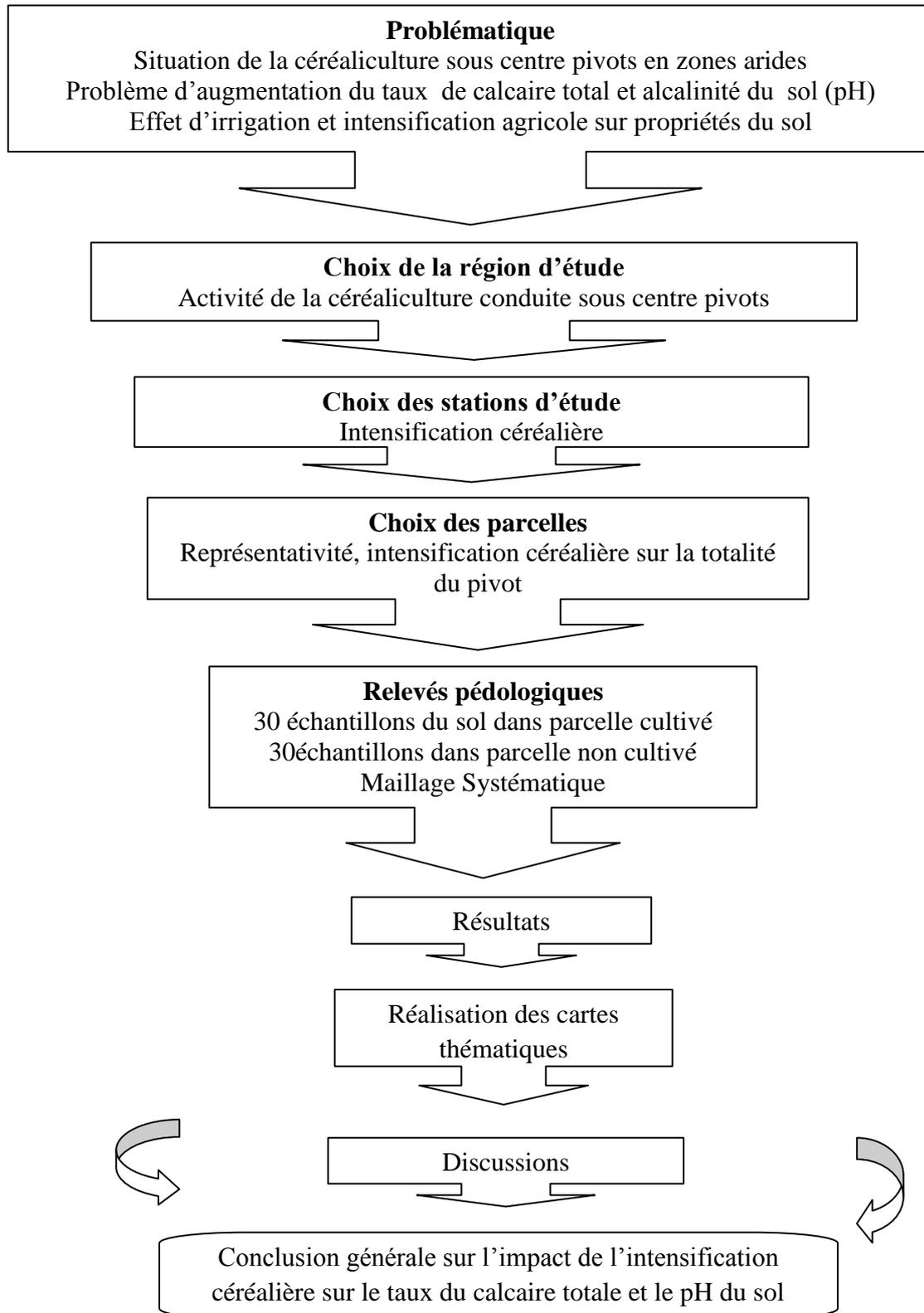


Figure15. Organigramme de la méthodologie d'étude.

6. Conduite de l'expérimentation

6.1. Sur champs

L'approche méthodologique choisie dans notre étude permet de caractériser les sols à partir des valeurs mesurées de certains paramètres. Pour déduire l'effet de l'irrigation et l'intensification agricole sur propriétés du sol à savoir le calcaire total et le pH.

Le sol de la parcelle irriguée par pivot n° 5 est échantillonné à la tarière sur une profondeur entre 0 et presque 30 cm (la couche arable). Les échantillons sont prélevés selon un maillage systématique à de 30mx30m (fig.18). Le même plan d'échantillonnage est appliqué dans une parcelle non cultivé (témoin).

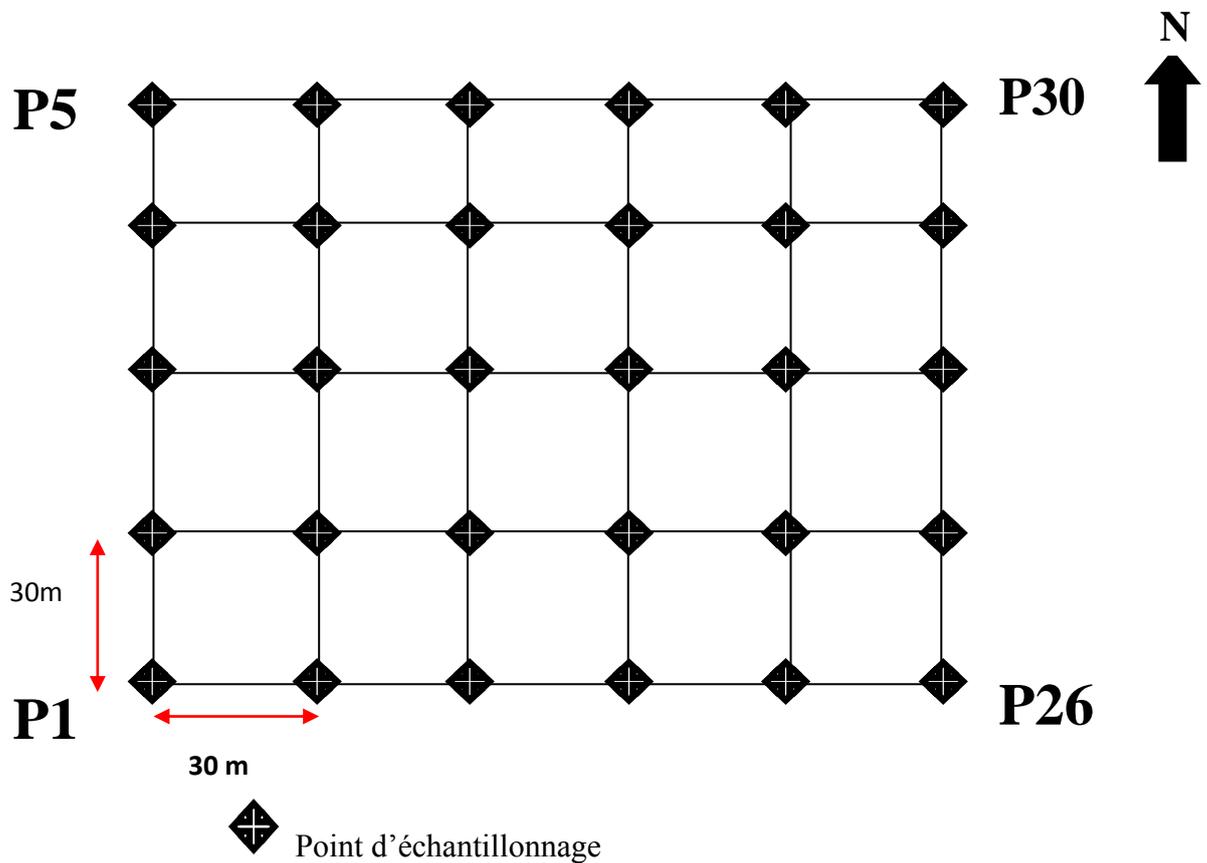


Figure 16. Schéma récapitulatif du plan d'échantillonnage avec 30 m.

6.2. 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 chimie à l'université de Ghardaïa.

6.2.1. Mesure de CaCO_3

Le choix de la variable calcaire total se justifié par le fait que :

- ❖ Sa détermination au laboratoire à l'aide de la méthode volumétrique au calcimètre est très simple et la donnée est fiable à l'exception des faibles teneurs
- ❖ C'est l'une des variables les mieux renseignées en pédologie
- ❖ Son taux et sa forme dans le sol constituent des critères privilégiés de cartographié.

La valeur du Calcaire total (CaCO_3) est déterminée par "calcimètre volumétrique (calcimètre de BERNARD). "C'est à dire par mesure du volume de CO_2 dégagé suite à l'action d'un excès d'acide chlorhydrique sur un poids connu d'échantillon.



Lors qu'on enregistre le volume de CO_2 , ensuite il faut calculer le taux du CaCO_3 , ce qui fait à partir de la formule suivante:

$$P_{(\text{CaCO}_3)} / V_4 = P_{(\text{sol})} * Y / V_3 * 100$$

Avec :

$P_{(\text{CaCO}_3)}$: poids du CaCO_3 utile pour étalonnage après chaque séries des mesures.

$P_{(\text{sol})}$: poids du l'échantillon du sol utile.

V_3 : volume de CO_2 dégagé par $P_{(\text{CaCO}_3)}$ (ml).

V_4 : volume de CO_2 dégagé par $P_{(\text{sol})}$ (ml).

Y : taux du CaCO_3 .

6.2.2. Mesure de pH

Le pH est mesuré à l'aide du pH-mètre à électrodes Nous avons réalisé au laboratoire un extrait dilué sol/terre avec un rapport 1/5 pour chaque échantillon (10 g de sol et 50 ml de l'eau).

6.2.3. Analyses de l'eau d'irrigation

Nous avons réalisé au laboratoire des analyses de l'eau d'irrigation à savoir, le pH à l'aide d'un pH-mètre à électrodes et la conductivité électrique (C.E à 25°C) à l'aide d'un conductimètre.

7. Traitements statistiques

7.1. Variation annuelle des paramètres étudiés

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 (q_i) dont la forme générale est la suivante (BADRAOUI *et al*, 1998).

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

Avec :

q_{it1} : la valeur moyenne de la propriété q_i au début de l'irrigation,

q_{it2} : la valeur moyenne de la propriété q_i après un certain nombre d'années ($t_2 - t_1$) d'irrigation.

7.2. Statistiques descriptives

Les statistiques descriptives sont un outils d'analyse qui engendre un rapport de statistiques à une seule variable pour les données contenues dans la plage d'entrée, fournissant ainsi des informations sur la tendance centrale et la dispersion des données. Les statistiques descriptives dans notre étude sont présentées synthétiquement de la façon suivante:

$$N; m \pm sd (\text{Min-Max})$$

Dont :

N : nombre d'observation, **m** : moyenne, **sd** : Ecart-type, **Min** : minimum, **Max** : Maximum.

7.3. 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.

Cette analyse va permettre la mise en évidence de l'existence ou pas des différences entre les moyennes et la signification de cette différence si elle existe. Nous avons retenues les seuils de signification suivants :

- Très hautement significative à $\alpha = 0,001$
- Hautement significative à $\alpha = 0,01$
- Significative à $\alpha = 0,05$

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

7.4. Coefficient de variation

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

$$CV (\%) = 100 S/m$$

Cinq classes, basées sur la valeur du CV, sont proposées par NOLIN et *al* (1997 in MATHIEU, 2009) pour qualifier l'intensité de la variabilité des sols (Tabl.08).

Tableau 08. 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



Partie III :
Résultats et
discussions

Chapitre V. Résultats et analyses

Supportant des conditions sévères des zone aride, les sols présentent un certain nombre de caractères constants ; des éléments solubles concentrés en surface ou partiellement lessivés et accumulés, à un niveau ou à un autre du profil, jusqu'à donner naissance à des nodules ou à des croûtes calcaires, gypseuses ou salines. Très souvent calcaires, ces sols sont aussi fréquemment salés (AUBERT, 1970).

1. Caractéristiques des eaux d'irrigation dans la parcelle d'étude

Les analyses de l'eau d'irrigation dans le site d'étude qui appartient d'une nappe albienne ont montrés queleur conductivité électrique (CE) est de valeur 0,66dS/m à 25°C et le pH à une valeur de 7,5.

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

2. Qualité du sol dans la parcelle d'étude

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

- Soit par la prise de mesures périodiquement dans le temps pour surveiller les changements ou les tendances de qualité de sol.
- Soit par la comparaison des valeurs mesurées à un état de sol de référence ou à l'écosystème naturel.

2.1. Taux du calcaire total

L'analyse statistique permet de caractériser statistiquement une propriété mesurée en un grand nombre de point dans l'espace.

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

Les résultats d'analyses des 30 échantillons prélevés de l'horizon de surface sur une profondeur de 0 à 30 cm, selon un maillage systématique de 30mx30m dans deux parcelles l'une cultivée et l'autre non cultivée prise comme témoin, ont montrés que la teneur en calcaire dans les échantillons étudiés varié entre 2,29% et 10,18% dans la parcelle cultivée et de 2,5% à 7,77% dans la parcelle non cultivée (témoin).

Ce qui signifié que le sol varie de peu à modérément calcaire (LOZET et MATHIEU, 1990 ; BAIZE, 2000).

Les statistiques descriptives des résultats d'analyse sont présentées synthétiquement dans le tableau (09).

Tableau 09. Statistiques descriptives du CaCO₃ total dans le site d'étude (en %).

	Moyenne	min	Max	Ecart- type	CV (%)
Parcelle non cultivée	4,580	2,5	7,771	1,292	28,22
Parcelle cultivée	5, 179	2,29	10,18	1,561	26,40

A partir des statistiques descriptives (la moyenne et l'écart-type) on calcule le coefficient de variation (CV) qui est égale à 26,40% dans la parcelle cultivée (Tabl.1, Annexe. I), et de 28,22 % dans la parcelle non cultivée (Tabl.3, Annexe. I), ce qui montre une intensité modérée la variabilité spatiale du calcaire total dans les deux parcelles étudiées (NOLIN et *al*, 1997 in MATHIEU, 2009).

2.1.1. Variabilité spatiale du calcaire total dans le sol

2.1.1.1. Modélisation géostatistique

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

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

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

Pour mieux estimer la distribution spatiale des paramètres étudiés, on a soumis les données d'analyses de ces paramètres au géotraitement statistique selon les étapes suivantes :

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

2.1.1.2. Analyse variographique

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

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

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

Avec:

h la distance.

$Z(x)$ la valeur de **Z** au point **x** où **VAR** signifie variance.

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

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

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

La distribution des points de mesures à un effet sur le modèle de variogrammes, qui sont influencés par le mode d'échantillonnage (sphérique pour le variogramme tiré de l'échantillonnage aléatoire et linéaire pour celui issu de l'échantillonnage régulier) (LAURENT et ROSSI, 1997).

Dans ce travail, l'échantillonnage est régulier (systématique à maille régulière) donc on a adopté l'ajustement du variogramme expérimental au modèle linéaire.

La figure (17), représente un variogramme de type linéaire, explique les variations spatiales du carbonate de calcium (CaCO_3) de la parcelle non cultivé (témoin) dans le site d'étude.

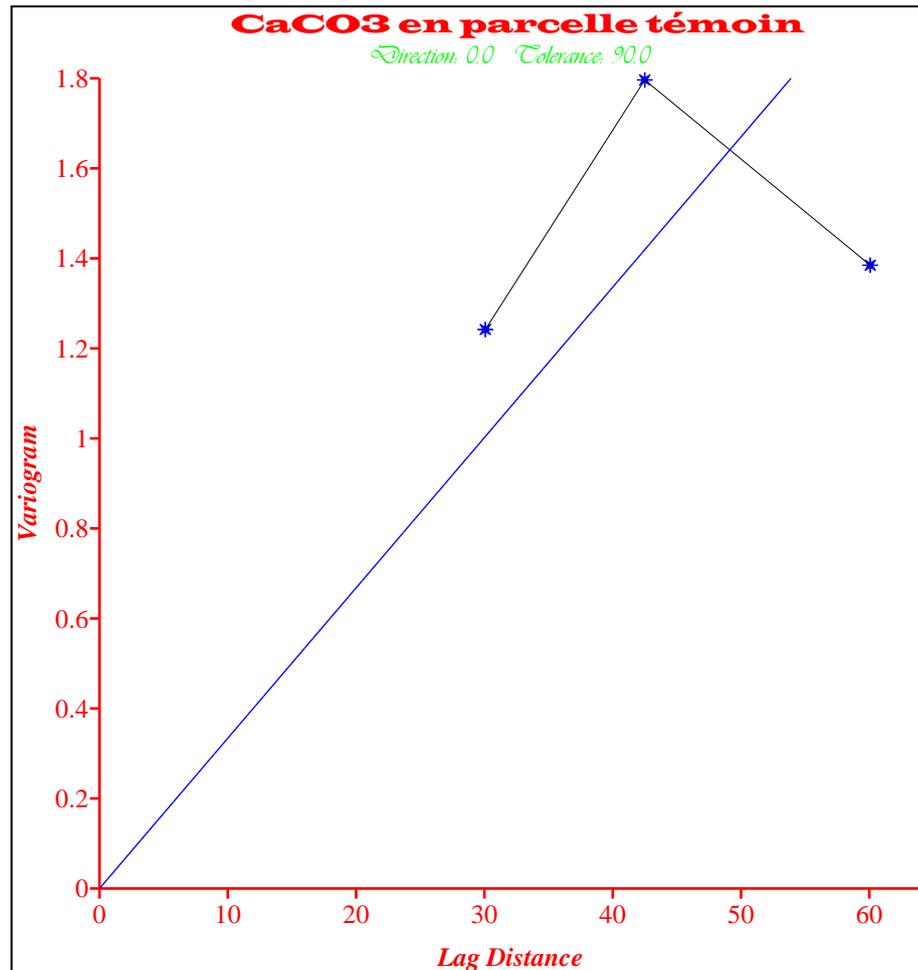


Figure 17. Variogramme du calcaire total dans la parcelle non cultivée (témoin).

D'après la figure (17), le variogramme expérimental s'ajuste au modèle linéaire qui explique les variations spatiales du calcaire total dans la parcelle témoin avec un effet de pépité faible et caractérisé par une pente égale à 0,0334.

Ce variogramme prend trois points essentiels à des valeurs successivement 30 m, 42,4 m, et 64 m. La variation spatiale du CaCO₃ total augmente avec la distance jusqu'à 42,4m, ensuite elle commence à diminuer jusqu'à une distance de 64m.

Au-delà de 64 m, la variation du CaCO₃ total du sol dans la parcelle non cultivée est indépendante de la distance entre les échantillons (le «pas» d'échantillonnage).

La figure (8) représente un variogramme de type linéaire, explique les variations spatiales du carbonate de calcium(CaCO₃) total de la parcelle cultivée.

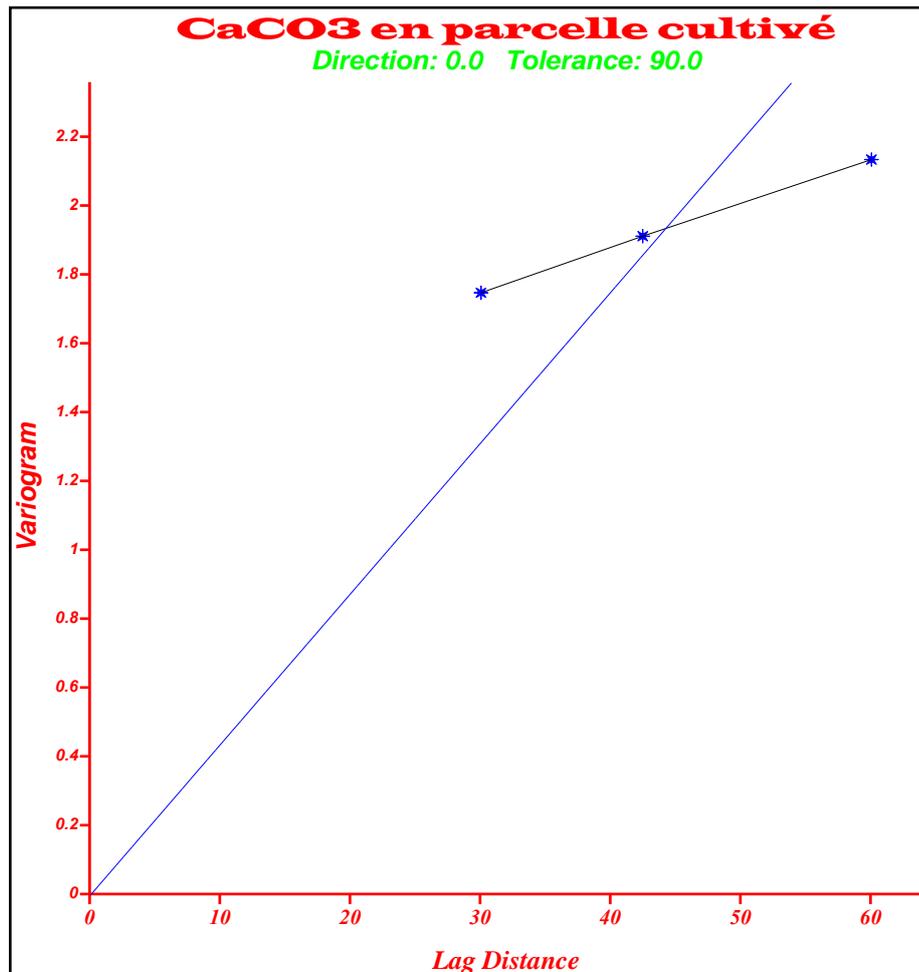


Figure 18. Variogramme du calcaire total dans la parcelle cultivée.

D'après la figure (18), le variogramme expérimental s'ajuste au modèle linéaire qui explique les variations spatiales du calcaire total dans la parcelle cultivée avec un effet de pépite faible et caractérisé par une pente égale à 0,0438.

Ce variogramme présente les mêmes points essentielles que celui de la parcelle témoin, à des valeurs successivement 30 m, 42.4 m, et 64 m.

La variation spatiale du calcaire total augmente avec la distance jusqu'à 42,4m, ensuite elle continue leur augmentation jusqu'à une distance de 64m.

Au-delà de 64 m, la variation spatiale du calcaire du sol dans la parcelle non cultivée est indépendante de la distance entre les échantillons.

2.1.1.3. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage.

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

Les deux types de Krigeage les plus communs sont le Krigeage ponctuel correspond à l'estimation de la valeur d'une variable en un point non échantillonné et le Krigeage par blocs estimant la valeur moyenne de cette variable sur une surface déterminée (LAURENT et ROSSI, 1994 ; DESPAGNE, 2006).

La précision des estimations par Krigeage dépend d'un certain nombre de facteurs, soit :

- ✓ Le nombre d'échantillons et la qualité des données en chaque point.
- ✓ La position des échantillons sur le site étudié, car les échantillons régulièrement espacés offrent une meilleure couverture et donnent ainsi d'avantage d'informations sur le site que des échantillons regroupés.
- ✓ La distance entre les échantillons et le point dont on veut estimer la valeur.
- ✓ La continuité spatiale de la variable étudiée ; il est plus facile d'estimer la valeur d'une variable assez régulière que celle d'une variable qui varie de façon aléatoire (MYERS, 1994 ; SULLIVAN et *al*, 2005 ; LIU et *al*, 2006 ; RIVERO et *al*, 2007 in MATHIEU, 2009).

A l'aide du logiciel Surfer (version 8 et 9), nous avons cartographié les variations du taux du calcaire et du pH dans le sol étudié.

Les cartes suivantes étalant la distribution de la variabilité spatiale du taux de calcaire total du sol de site d'étude.

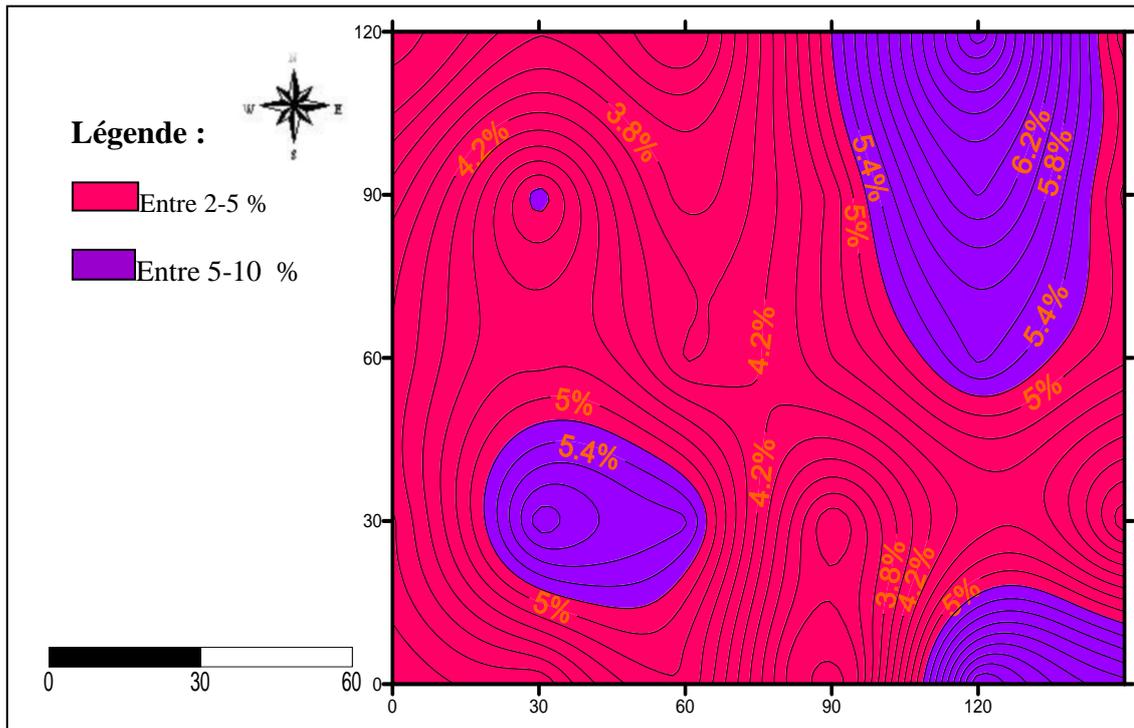


Figure 19. Variation du taux de CaCO₃ total dans la parcelle témoin.

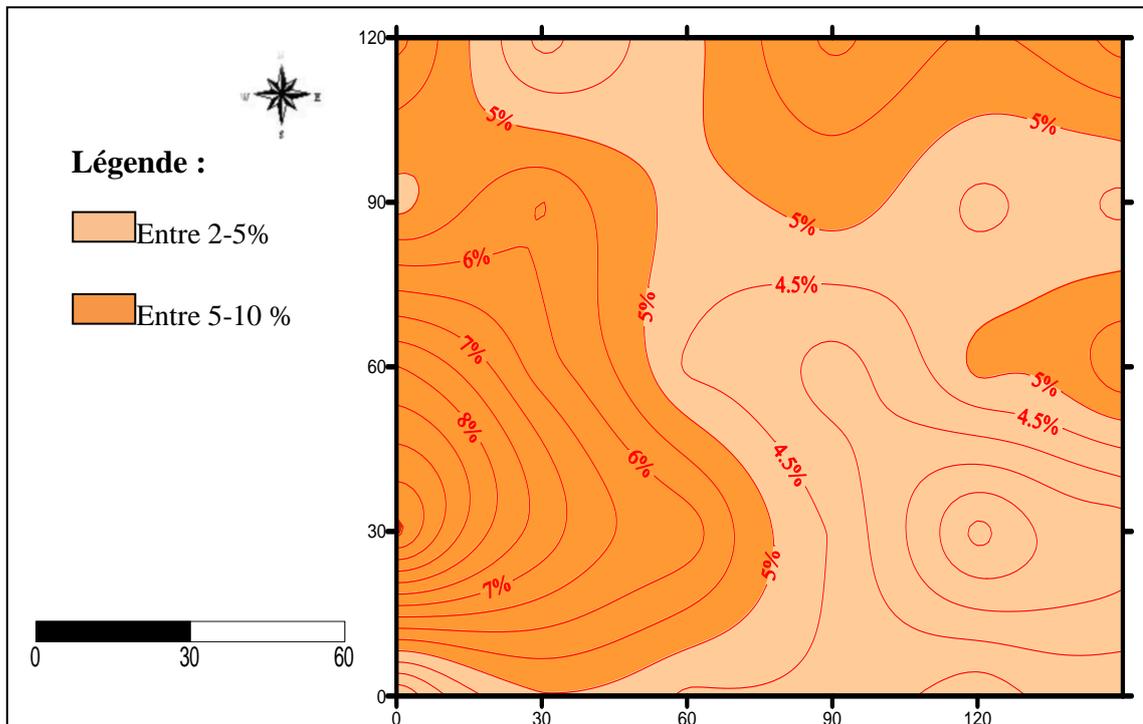


Figure 20. Variation du taux de CaCO₃total dans la parcelle cultivée

Les cartes montrent les variations du taux du calcaire dans la parcelle non cultivée (Fig.19) et dans la parcelle cultivée (Fig.20).

A partir de la cartes thématique (Fig.19), le taux de calcaire total dans le sol de la parcelle non cultivée est représenté par deux classes ; la première représente le taux du calcaire entre 2 jusqu'à 5% (peu calcaire) et la deuxième de 5 jusqu'à 10% (modérément calcaire).

Dans la parcelle cultivée (Fig.20), le taux de calcaire total est représenté aussi par deux classes ; la première entre 2 jusqu'à 5% (peu calcaire), la deuxième de 5 jusqu'à 10,5% (modérément calcaire).

Les distances entre chaque courbe de niveau sont homogènes (presque même distance), ce qui signifie la répartition homogène du taux de calcaire dans les deux parcelles étudiées. Cela confirme le calcul des coefficients de variations (28,22 % et 26,40 %) qui représentent une variation modéré selon l'échelle de NOLIN et al (1997) in MATHIEU (2009).

Selon les cartes thématiques de la variation du taux de CaCO_3 total dans les deux parcelles, la variation la plus importante du taux de calcaire total est orienté Ouest, Nord-est du site jusqu'à une faible variation dans le centre du site.

2.1.1.4. Simulation de l'évolution du taux de calcaire total du sol dans le site d'étude

Le calcul du taux de variation annuelle du calcaire total dans le sol montre une augmentation de ce dernier avec une TVA- CaCO_3 moyenne de $0,15 \pm 0,48$ %.

L'analyse de la variance à un facteur (Fig.21) montre que cette augmentation n'est pas significative ($F^{1,58} = 2,617$, $P = 0,111$, N.S).

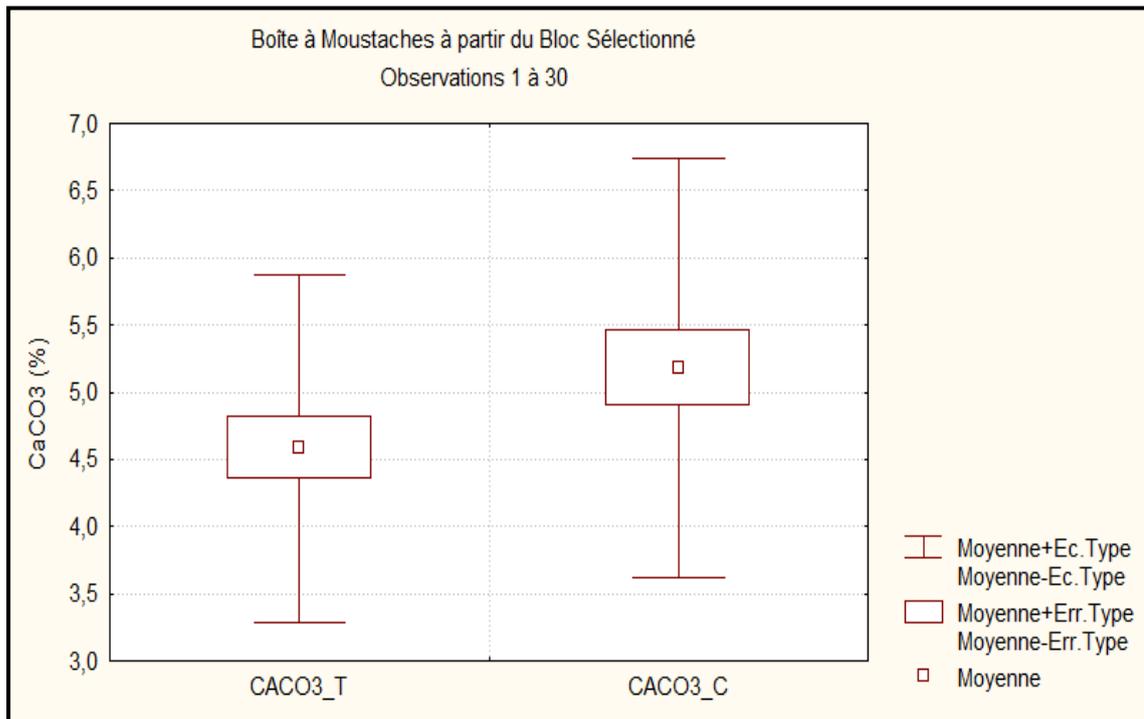


Figure 21. Boîte à moustaches de la variation du calcaire total dans le site d'étude.

2.2. Réaction du sol

Les mesures de pH varient entre 8,67 et 9,37 dans la parcelle cultivée, et 8,11 à 9,33 dans la parcelle non cultivée, ce qui indique que le sol est alcalin dans les deux parcelles.

Les statistiques descriptives des résultats d'analyse du pH sont présentées synthétiquement dans le tableau (10).

Tableau 10. Statistiques descriptives de pH du sol dans le site d'étude.

	Moyenne	min	Max	Ecart type	CV (%)
Parcelle non cultivée	8,823	8,11	9,335	0,269	3,059
Parcelle cultivée	9,045	8,675	9,375	0,179	2,18

Le coefficient de variation du pH égale à 2,180% dans la parcelle cultivée (Tabl.1, Annexe 1) et 3,059 % dans la parcelle non cultivée (Tabl.3, Annexe 1) ce qui signifie une faible variation entre les échantillons analysés.

2.2.1. Analyse variographique

Afin de déterminer les origines de la distribution. L'analyse variographique, suivie de l'interpolation par Krigeage, permettent de caractériser la structure de la variabilité spatiale et de localiser les zones à concentration égale (MOSTEPHAOUI et BENSALD, 2011).

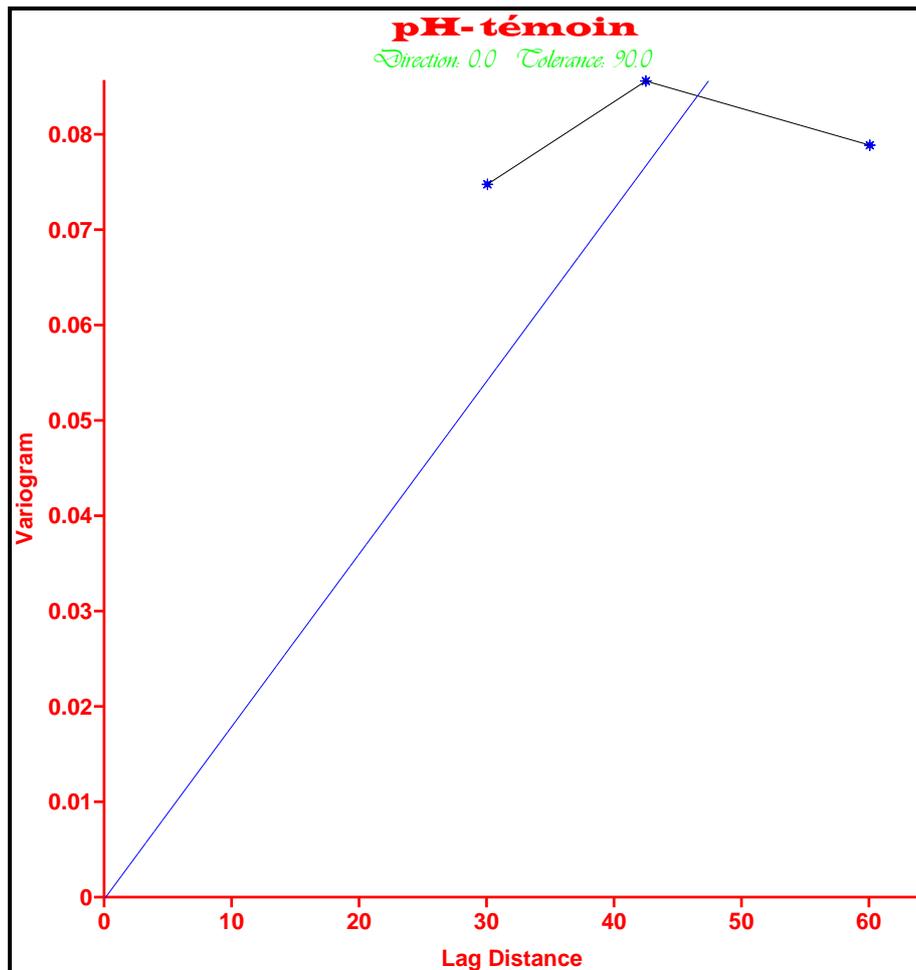


Figure 22. Variogramme de pH dans la parcelle témoin

D'après la figure (22), le variogramme expérimental s'ajuste au modèle linéaire qui explique les variations spatiales du pH dans la parcelle non cultivée avec un effet de pépité faible et caractérisé par une pente égale à 0.00181.

Ce variogramme dans notre cas prend trois points essentiels à des valeurs successivement de 30 m, 42.4 m, et 64 m.

La variation spatiale du pH augmente avec la distance jusqu'à 42,4m, ensuite elle commence à diminuer jusqu'à une distance de 64m.

Au-delà de 64 m, la variation du pH du sol dans la parcelle non cultivée est indépendante de la distance entre les échantillons.

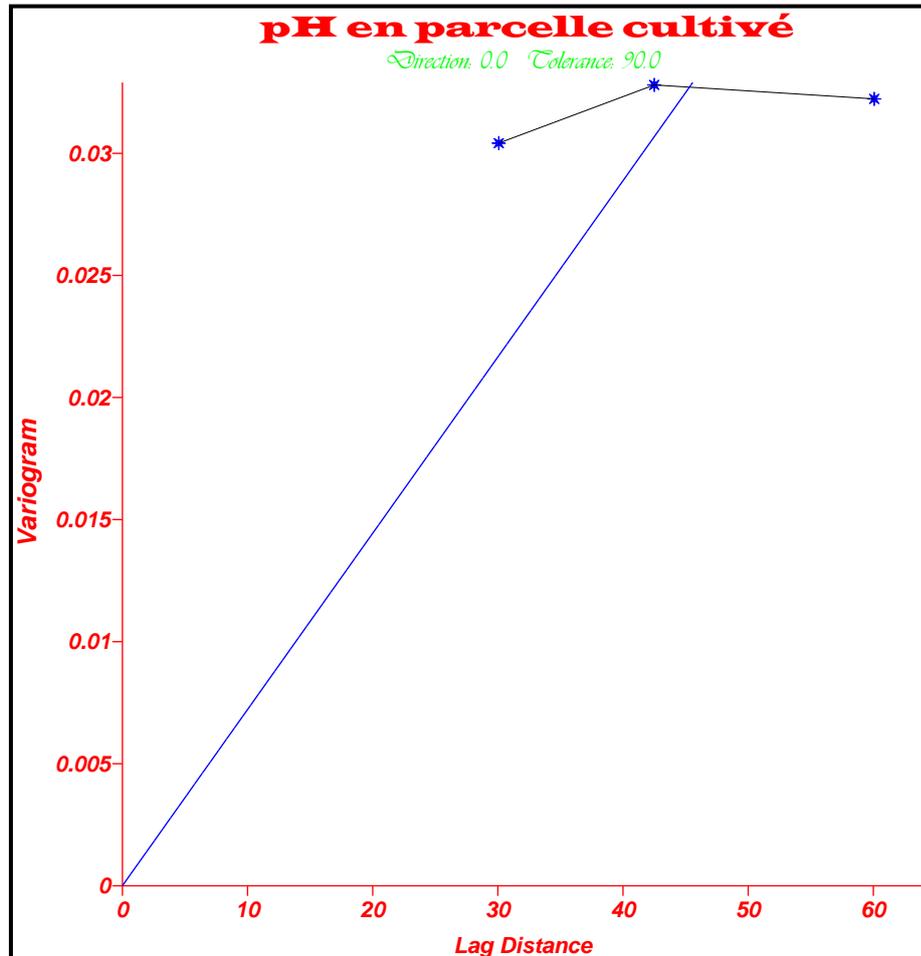


Figure 23. Variogramme de variation du pH dans parcelle cultivée.

D'après la figure (23), le variogramme expérimental s'ajuste au modèle linéaire qui explique les variations spatiales du pH dans la parcelle cultivée avec un effet de pépite faible et caractérisé par une pente égale à 0.000722.

Ce variogramme présente les mêmes points essentiels que celui de la parcelle témoin, à des valeurs successivement de 30 m, 42.4 m, et 64 m.

La variation spatiale du pH augmente avec la distance jusqu'à 42,4m, ensuite elle commence à suivre une faible diminution jusqu'à une distance de 64m.

Au-delà de 64 m, la variation de pH du sol du site d'étude dans la parcelle cultivée est indépendante de la distance entre les échantillons.

2.2.2. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage.

Les cartes thématiques ci-dessous, montrent la distribution du pH dans les deux parcelles étudiées.

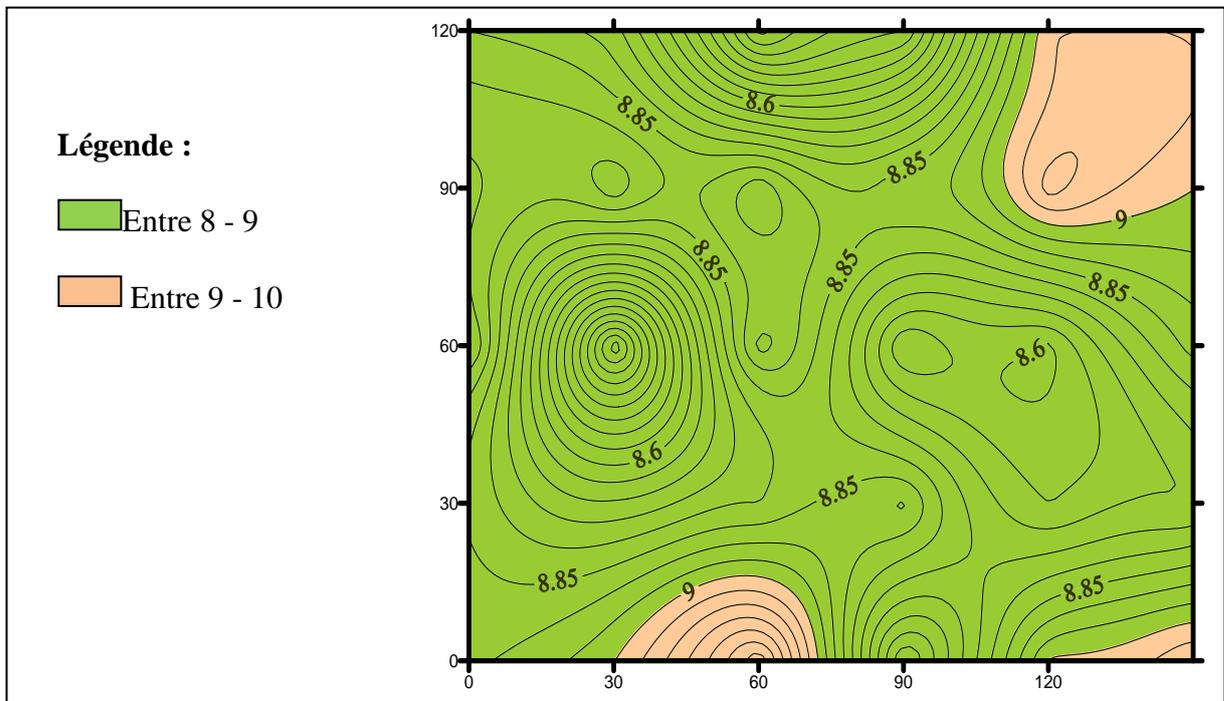


Figure 24. Variation du pH dans la parcelle témoin.

L'analyse de la variance entre les valeurs de pH de l'horizon superficiel des deux parcelles étudiées, montre que l'augmentation du pH est très hautement significative (THS) ($F^{1,58} = 13,579$, $P = 0,0005$, THS) (Fig.26).

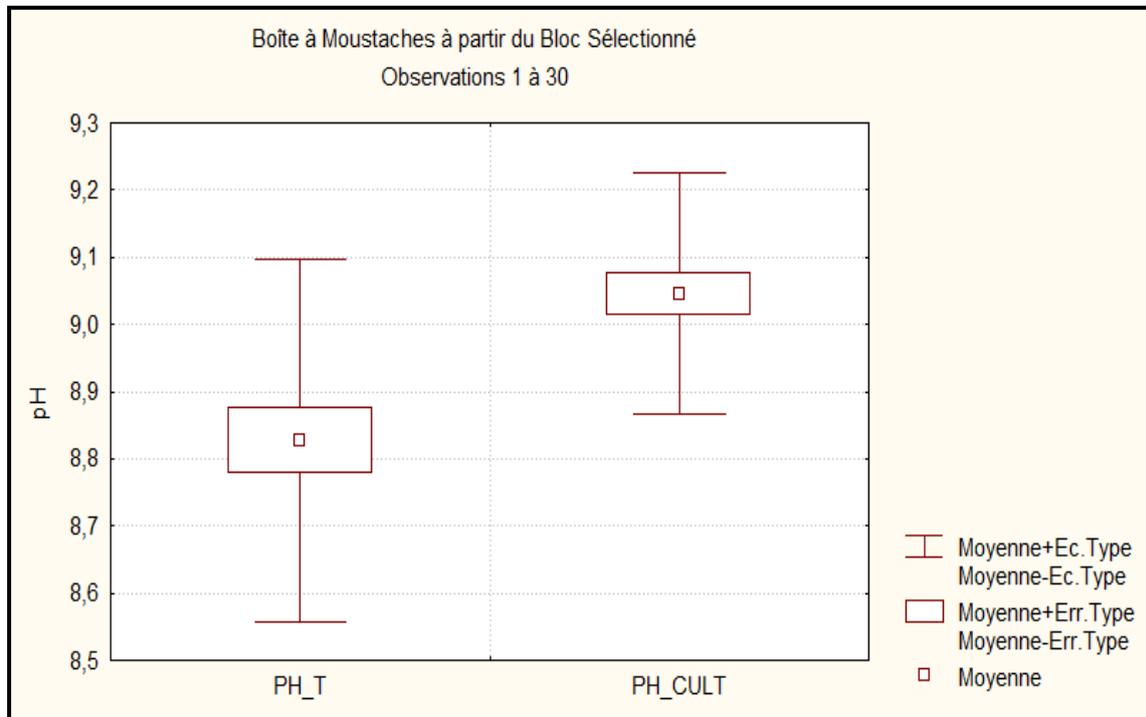


Figure26. Boîte à moustaches de la variation du pH dans le site d'étude.

Chapitre VI. Discussions

D'après MIHOUB (2012), la connaissance du calcaire total dans un sol agricole est un moyen de caractérisation du sol de point de vue fertilité physique, chimique et même biologique.

Les résultats obtenus révèlent que le taux du calcaire totale dans la région de HASSI EL F'HEL est variable. Il prend deux classes selon la classification de LOZET et MATHIEU (1990) qui sont ;

- ❖ Sols faiblement calcaires (2,29 à 10,18 %).
- ❖ Sols moyennement calcaires (10,18%).

En effet, la présence du calcaire dans le site d'étude est due à l'existence et 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 absorbant 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).

Une augmentation du taux de carbonate de calcium dans l'horizon superficiel a été enregistrée dans le site étudié avec un TVA-CaCO₃ de 0,15±0,48 %/an. Cette augmentation demeure non significative ($F^{1,58}=2,617$, $P=0,111$, N.S) selon l'analyse de variance, ce qui montre une tendance vers la stabilité du taux de calcaire totale dans le site d'étude après 04 campagnes agricoles.

Cela est probablement dû à une adsorption plus importante dans l'horizon de surface qui présente moins de calcaire (HALITIM, 1988). Ainsi qu'aux paramètres pédologiques, morphologiques et hydriques (WALTER *et al*, 2002).

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 se forme de calcite du calcaire mobilisé ; c'est donc la forte ETP qui intervient dans cette deuxième phase (DUCHAUFOR, 2001).

Selon BAIZE (2000) et DUCHAUFOR (1977 in MADANI, 2008) l'accumulation du calcaire dans les horizons profonds est à cause de l'augmentation de la quantité d'eau d'irrigation, ce qui met en évidence un gradient de décarbonatation.

L'étude de la variabilité spatiale montre l'existence d'une variabilité modérée (NOLIN et *al.*, 1997 in MATHIEU, 2009), avec un CV de 26,40% dans la parcelle cultivée et de 28,22% dans la parcelle non cultivée, cela est probablement dû à l'homogénéisation du sol suite aux pratiques de l'agriculture intensive à savoir, l'irrigation et le travail du sol (NOLIN et *al.*, 1991 ; WALTER et *al.*, 2002).

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).

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 modélisation géostatistique montre l'efficacité de l'échantillonnage choisi, ainsi, la variation est en fonction de la distance parcourue dans l'intervalle de 30 à 64m, au-delà, la variation est indépendante de la distance.

Les cartes réalisées par Krigeage confirment la variation modérée calculée à partir des coefficients de variation du calcaire total dans les deux parcelles.

Les valeurs de pH oscillent entre 8,67 et 9,37 dans la parcelle cultivée et 8,11 à 9,33 dans la parcelle non cultivée, ce qui indique que le sol est alcalin dans les deux parcelles. Cela confirme les résultats trouvés en zones arides, la gamme relative aux sols s'étend d'un pH légèrement inférieur à 7 à un pH d'environ 9 (BUCKMAN et *al.*, 1965 in BACI, 1982).

Un pH nettement supérieur à 7,3 est le signe de la présence, soit de carbonates libres générateurs de chlorose ferrique, soit plus souvent de sodium fixé sur le complexe absorbant (BOYER, 1978).

Selon MADANI (2008), cela est probablement dû à l'augmentation considérable du calcaire totale qui atteint 10, 18 % par rapport au témoin correspondant. Mais la variation du pH du sol n'est pas clairement associée à une variation de la teneur en carbonates (BELAID, 2010).

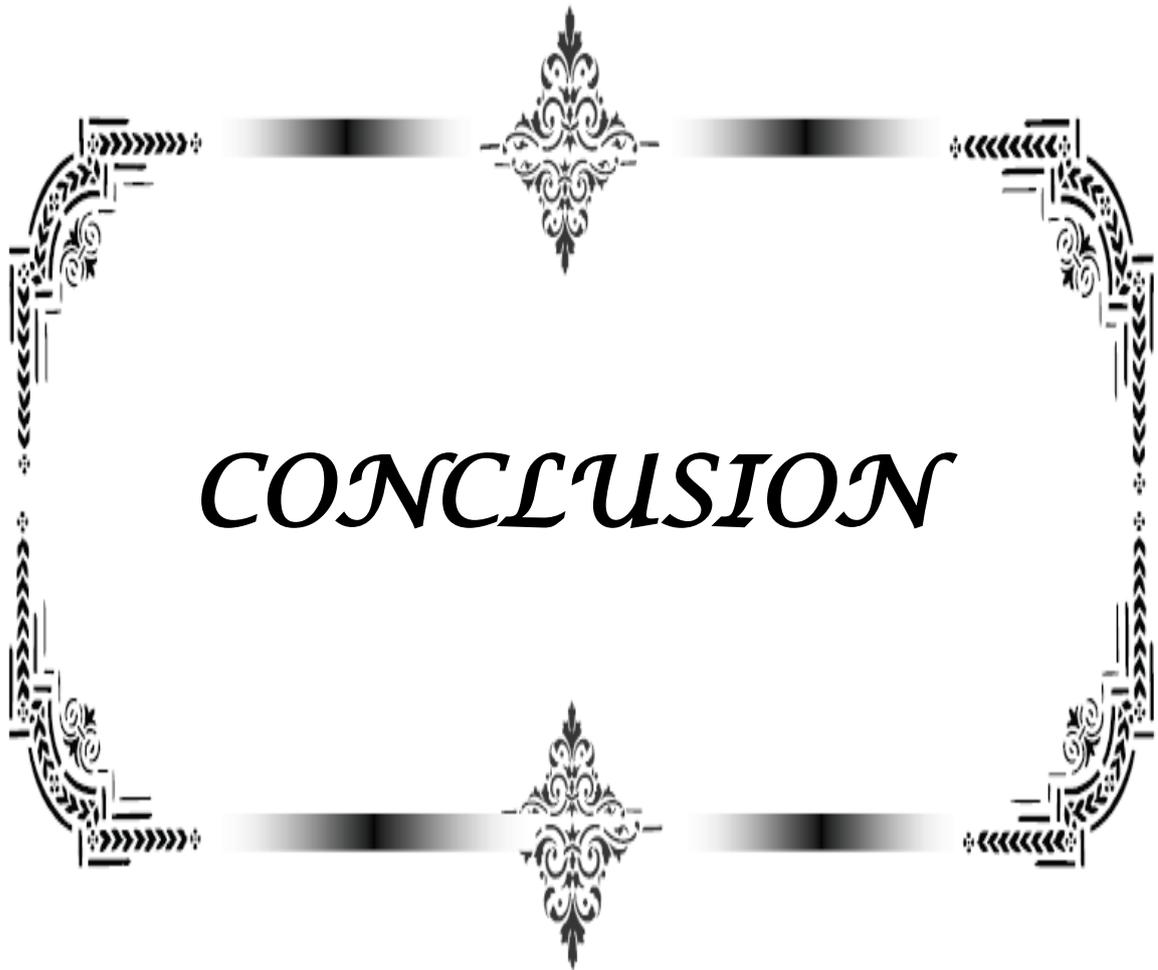
Une augmentation légère du pH de l'horizon de surface est en fonction de la concentration de la solution du sol, le premier sel à précipiter est la calcite (CaCO_3). Où l'alcalinité de la solution est supérieure à la teneur en ions calcium, l'alcalinité augmente, menant à des valeurs de pH élevés, rapidement 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).

Parallèlement, les teneurs en calcium dissoutes dans la solution s'effondrent même si l'on observe fréquemment des précipitations de calcite dans les profils du sol (IRD, 2009).

Nous avons enregistré une augmentation très hautement significative ($F^{1,58}=13,579$, $P=0,0005$) du pH de l'horizon superficiel avec une moyenne de TVA-pH de $0,05 \pm 0,08$. Cela est dû à l'intensification agricole.

La modélisation géostatistiques montre l'efficacité de l'échantillonnage choisi, ainsi, la variation est en fonction de la distance parcourue dans l'intervalle de 30 à 64m, au-delà, la variation du pH est indépendante de la distance.

Les cartes réalisées par Krigeage confirment la variation faible calculée à partir des coefficients de variation du pH dans les deux parcelles.



CONCLUSION

Conclusion

L'étude de l'impact de l'intensification agricole (céréaliculture) sous pivot sur le pH et le taux de calcaire total du sol dans la région de HASSI EL-F'HEL (Ghardaïa) permet d'étudier l'évolution de ces deux paramètres dans deux parcelles l'une cultivée et l'autre non cultivée.

Les analyses du taux de calcaire total dans le site d'étude ont montré que le sol variée entre peu à modérément calcaire,

Une augmentation non significative du taux de carbonate de calcium dans l'horizon superficiel a été enregistrée dans le site étudié avec un TVA-CaCO₃ de 0,15±0,48 %/an. Ce qui montre une tendance vers la stabilité du taux de calcaire total dans le site d'étude après 04 campagnes agricoles.

L'étude de la variabilité spatiale montre l'existence d'une variabilité modérée dû à l'homogénéisation du sol suite aux pratiques de l'agriculture intensive à savoir, l'irrigation et le travail du sol.

Le pH du sol des deux parcelles est alcalin avec des valeurs plus élevées dans la parcelle cultivée par rapport à celle non cultivée.

L'étude de l'évolution de pH par l'analyse de taux de variation annuelle a révélé une augmentation très hautement significative, ce qui est liée a forcément à l'intensification agricole, donc l'intensification agricole augmente le pH du sol.

La modélisation géostatistiques à montré, à partir des variogrammes expérimentaux la validité et la fiabilité du pas d'échantillonnage choisi pour l'étude de ces deux paramètres.

L'étude de l'impact de la céréaliculture sous pivot sur le pH et le taux de calcaire total du sol dans la région de Ghardaïa, menée pour la première fois par le présent travail demeure insuffisante et mérite d'être poursuivi en tenant compte de :

- L'analyse complète de l'eau d'irrigation afin de déterminer le faciès dominant.
- La caractérisation morpho-analytique des sols.
- Le choix des parcelles cultivées pendant une période supérieure à 04 ans afin de confirmer les résultats obtenus pour le pH et le calcaire.
- L'étude de l'impact de la céréaliculture sur d'autres paramètres du sol.



Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

A.N.R.H., 1994-2007 -Rapport de l'Agence National Des Ressources Hydriques, Ghardaïa.

ABDESSELAM S., 1998 - Contribution à l'étude des sols gypseux au Nord-est du Sahara Algérien: Caractérisation et genèse. Cas des oasis de Tolga (région de Zebane). Mém Magister. INA, EL Harrach. Alger, 147p.

AUBERT G., 1960 - Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. Projet majeur relatif aux recherches scientifiques sur des terres arides, colloque général sur les problèmes de la zone aride N°5, UNESCO/NS/AZ/514, Paris, 30 p.

AUBERT G., 1962 - Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. Edit. Service des sols de l'ORSTOM, UNESCO, Paris, pp127-150.

AUBERT G., 1970-Transformations des sols de la zone aride sous l'influence des irrigations, O.R.S.T.O.M.n° 14266, Paris, pp 75-82.

BACI L., 1982 – Contribution à l'étude de la salinisation des sols du Hodna (Wilaya de M'Sila). Mém Ing. I.N.A., Alger, 100 p.

BADRAOUI M., SOUIDI B., FAHAT A., 1998 – Variation de la qualité des sols : une base pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc , étude et gestion des sols 5(4),1988,pp227-234.

BAIZE D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie. Édit. INRA, Paris, 171 p.

BAIZE D. et JABIOL B., 1995- Guide pour la description des sols. Édit. INRA, paris, 375 p.

BAIZE D., 2000. Guide des analyses en pédologie. Choix. Expression. Présentation. Interprétation. 2^{ème} Ed. INRA. Paris. 257p.

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, université Kasdi Merbah, Ouargla-Alger, 158 p.

- BELAID N., 2010** - évaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'elhajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phyto-absorption des éléments métalliques. Thèse doctorat .université de Sfax, Tunisie, 188 p.
- BEN BRAHIM K., 2009** - Composition et structure de la végétation des périmètres céréaliers abandonnés dans la région d'Ouargla. Mém Magister, Ouargla, 61 p.
- BEN DHIA M H., 1983** - Les tufs et encroûtements calcaires en Tunisie et dans le monde. Édit. ENSET, service des études et recherches internationales laboratoire centrale des ponts et chaussées, pp14.
- BENAOMAR E A., 2010** - Etude des processus d'adsorption et de désorption de produits phytosanitaires dans des sols calcaires. Thèse doctorat, université de Reims Champagne. Ardenne, 189 p.
- BENCHETRIT M., 1956** - Les sols d'Algérie. Revue de géographie alpine. Tome 44 N°4. .Persée, pp 749-761.
- BENMAHDI F., 2008** - Etude de la rétention d'un herbicide dans un sol agricole. Mém Magister. Batna, Alger, 115p.
- BENNAI M et BENABBAS B., 2007** - L'amélioration des rendements des céréales par une fertilisation adaptée aux conditions pédoclimatiques algériennes, Constantine. Alger. Édit, PROFERT, 33p.
- BENSAID R., 1999** – Les sols à accumulation gypso- calcaires de la région de Ain Ben Naoui (Biskra). Annales de l'I.N.A El Harrach. Vol, 20 n°1 et 2. Pp1-8.
- BONNEAU M et SOUCHIER B., 1979**- Constituants et propriétés du sol. Tome2, Paris. 455p.
- BOUMAARAF B., 2003**- Contribution à l'étude de la répartition spatiale des propriétés physico-chimiques et minéralogiques des sols dans la vallée de l'Oued Righ. Mém Magister. Inst Agro Batna .162 p.
- BOUSSARD J.M et CHABANE M., 2011** - La problématique des céréales en Algérie Défis, enjeux et perspectives. Communication dans le cadre de la 5èmes Journées de recherches en sciences sociales à Agro Sup Dijon, les 8 et 9 décembre 2011, pp16.

- BOUZERZOURE H., 2007** - Contribution à l'étude de l'exploitation à double fin de l'orge *Hordeum Vulgare L* en zones semi arides d'altitude. Mém Magister en protection végétal, université de Sétif- Alger, 102 p.
- BOYER, 1978**- le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides. Initiations - documentations techniques N° 35. Edit O.R.S.T.O.M. Paris. France.173p.
- C.P.C.S., 1967** - Classification des sols. Laboratoire de géologie, pédologie de l'E.N.S.A, Paris. Grignon, 87 p.
- CAMUZARD., 2000** - sols en gref le fonctionnement du système sol, Paris, 154 p.
- CHOUËIRI E., 2003** – stratégie et politique agricole analyse de filière la céréaliculture. Projet "Assistance au Recensement Agricole" République Libanaise, Ministère de l'Agriculture, Direction des Etudes et de la Coordination, FAO, pp69
- COYNE A., 1989**- Le M'Zab. Ed. Adolphe Jourdon, Algérie, 41p.
- D.P.A.T., 2004** - Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, 142 P.
- D.P.A.T., 2011, 2013**- Atlas de la Wilaya de Ghardaïa, 14p.
- DELAUNOIS A, FERRIE Y, BOUCHE M, COLIN C et RIONDE C., 2008**- guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols, destiné aux agriculteurs et aux agronomes. Chambre d'agriculture TARN, INRA. Montpellier .Paris .pp1-37.
- DESPAGNE W., 2006**- Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. Mém Master., Univ Bretagne Sud, 68 p.
- DJAOUTI M., 2010** - renforcement des capacités des acteurs de la filière céréale en Algérie dans le cadre d'un partenariat nord- sud .cas de wilaya de Sétif. Mém Master, science n°106. Montpellier, CIHEAM- IAMM, 137p.
- DJERMOUN A., 2009** - La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Revue Nature et Technologie. N° 01, Université de Hassiba Ben Bouali de Chlef-Alger, pp 45- 53.
- DJILI B., 2004** - Etude des sols alluviaux en zones arides.Cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique, Mém Magister, Agronomie Saharienne, université Kasdi Merbah– Ouargla, 81 p.

DJILI K et Daoud Y et AYACHE N., 1999 - Analyse de la distribution vertical et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie septentrionale . I.N.A.département de science des sols, 16200, El-Harrach, Alger. pp 201- 214.

DJILI K., 2000 - Contribution à la connaissance des sols du nord de l'Algérie, Création d'une banque de données informatisée et utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la valorisation des données pédologiques. Thèse doctorat, d'Etat, I.N.A, Alger, 243p.

DSA, 2013-Direction des services agricoles, rapport des cultures en wilaya, p 6.

DUCHAUFOR F, 2001- introduction à la science du sol, végétation, environnement. 6^{émé} Édit DUNOD, Paris, France, 331 p.

DUCHAUFOR PH, BONNEAU M., 1962 - étude expérimentale de l'influence du calcaire sur la nutrition et la croissance d'un résineux acidiphile. Faculté des sciences de Nancy. 413 p.

DURAND J.H., 1983 - Les sols irrigables. Etude pédologique. Édit imprimerie Boudin. Paris. 339 p.

DURAND J.H., 1958 -Les sols irrigable. Étude pédologique. Ed .Imbert, Alger, 190p.

EL IDRISSE R M., 1992- différenciations des sols du plateau de Meknès. Relations avec le modèle et le substrat calcaire. Thèse doctorat. Pédologie (science des sols). Paris. 322 p.

FAO., 2012 - Perspectives de récolte et situation alimentaire. N°2.1p.

FAO., 2005- Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO, Rome, 61 p.

GAGNON A., 2007- la fertilization calcique.article du magazine zoom pommes de Terre, CRAAQ.QUÉBEC. 7p.

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

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

HAMDI A.B., 2001- Le fonctionnement actuel et passé de sol du sud Sahara (cuvette d'Ouargla) approche micro morphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse doctorat. I.N.A Paris Grignon. 281 p.

HAMOUNI M., 2006 - Contribution à la détermination des unités homogènes du sol par différentes approches de cartographie numérique .Mém Magister. Université Hassiba BENBOUALI .EL Harrach .Alger.132p.

HANNACHI A., 2006- Système calco-carbonique et phénomène d'entartrage. Reconsidering water scaling tendency assessment. ELFIL .N°52/10, 13 p.

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

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

INRA., 2012 - Rapport sur l'étude du sol de la région d'Aigrefeuille-sur-Maine (Loire-Atlantique) à partir de la base de données des analyses de terre .INRA. France, p5

IRD (institut de recherche pour le développement), 2009- Les sols, des milieux vivants très fragiles. Les dossiers thématiques de l'IRD. 21p.

JEGO G., 2008 - Influence des activités agricoles sur la pollution des eaux souterraines par les ions nitrate. Analyse par modélisation des impacts des systèmes de grande culture sur les fuites de nitrate dans les plaines alluviales. Thèse doctorat, l'université de Toulouse. France. 221 p.

KELLIL H., 2009 - Contribution a l'étude du complexe entomologique des céréales dans la région des hautes plaines de l'est algérien. Mém Magister. Université El Hadj Lakhdar-Batna Alger, 188 p.

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

KOULL N., 2007 - Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla. Mém Magister .Université Kadi Merbah Ouargla-Alger. 98 p.

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, Edit CIRAD. France.19 pp.

LAHMAR R et AL., 1992 - Intensification céréalière dans les Hautes Plaines Sétifiennes: quelques résultats. Vol. 2, n° 1 .Université de Sétif (Algérie).Cahiers Options Méditerranéennes, pp93-97

LARCHER J L, GELGON T, 2005- Aménagement et maintenance des surfaces végétales .édit LAVOISIER, TEC et DOC .Paris .France. 482p.

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

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

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

LEGROS J. P., 2007- les grands sols du monde .1^{ére} édit presses polytechniques et universitaires Romandes, Espagne .261 p.

LETACON F., 1976 - la présence de calcaire dans le sol. Influence sur le comportement de l'épicéa commun (*piceaexce/salink.*) et du pin noir d'Autriche (*pinusnigra nigricans host.*). L'institut national polytechnique de Lorraine, NANCY, 174 p.

LOZET J ET MATHIEU C., 1990- Dictionnaire de science du sol. 2^{émé} édition. Lavoisier, 266 p

MAANAN M., 2003 - Etude sédimentlogique du remplissage de la lagune de sidi moussa (côte atlantique marocaine) caractérisations granulométrique, minéralogique et géochimique .Mém doctorat en géologie. Univ Chouaib Doukkali, El Jadida. 119p.

MADANI D, 2008 - Relation entre la couverte végétale et les conditions édaphiques en zone a déficit hydrique. Mém Magister, université EL Hadj Lakhdar, Batna .ALGER .148p.

MADR. , 2012 - Rapport de ministère d'agriculture et développement rurale.

MADR., 2003 - Recensement général de l'agriculture 2001, rapport général des résultats définitifs. Direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information, ministère de l'agriculture et du développement rural, Alger. 125p.

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

MESSEN N. GAOUAR A. HAMDI-AISSA B. HACINI M. YUCEF-ETTOUMI F., 2004- Etude du climat paléolithique dans un bassin sédimentaire du sud algérien .Journal Algérien pour les Zones Arides.

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. Université Kasdi Merbah Ouargla, 85p.

MIHOUB A., 2012 - Dynamique du phosphore dans le système sol-plante en conditions pédoclimatiques sahariennes .Mém Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla, 101 pp,

MOREL R., 1996- Les sols cultivés. Lavoisier. 2^{ème} édition. Paris, 378 p.

MOSTEPHAOUI T. BENSALIM R. 2011 -Apport des statistiques spatiales et le SIG dans la caractérisation des sols gypseux dans les régions arides, Cas de la région d'El Hadjeb dans le sous bassin versant d'oued Djedi. SIG 2011. La Conférence Francophone ESRI. Versailles. France. P10.

MOUHOUCHE D, SMADHI B, MOUHOUCHEE L, ZELLAA M, SEMIANI., 2008- Pluviométrie et céréaliculture dans le système agro- économique de l'Algérie .Université Mentouri Constantine, .Sciences & Technologie C – N°29 juin (2009). INA, El-Harrach. Alger. pp56-62.

NEDJRAOUI D., 2001 - Document profil fourrager Algérie .université h Boumediene (USTHB) d'Alger. Unité de recherche sur les ressources biologiques terrestres (URBT). Alger. 36 p.

NOLIN M.C., CAILLER M.J., WANG C., 1991- Variabilité des sols et stratégie d'échantillonnage dans les études pédologiques détaillées de la plaine de Montréal. Can. J. soil Sci. 71 : 439-451 pp.

ONM., 2013-donnée météorologique de la wilaya de Ghardaïa, 2p

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. Université KASDI MERBAH, 30000 Ouargla, Algérie. pp128-131

OZENDA P., 1991 - Flor du Sahara .édit centre national de la recherche scientifique (C.N.R.S). Paris .625p.

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, 271p.

PLASSARD C., 1996 - La mycorhization des plantes forestières en milieu aride et semi-aride : nutrition minérale en terrains calcaires .Options Méditerranéennes n° 20, Edit INRA-ENSAM, CIHEAM, France, pp32.

POUGET M., 1973 - Une manifestation particulière et méconnue de la salure dans les steppes du sud-algérois : les plages de salure sur les globes quaternaires a croute calcaire. Extrait du bulletin de la société naturelle de l'Afrique du nord, tome 64 - fascicules 1 et 2. Pp 15 – 24.

PREVOST PH., 2006 -les bases de l'agriculture.3^{ème} édition TEC et DOC, New York. Paris.290 p.

QUEZEL et SANTA., 1962 - Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Édité CNRS. Paris. tomes2. Pp 565- 605.

RAHAJAHARITOMPO R L., 2004 - Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar. Thèse doctorat. Université d'Antananarivo.199p.

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.

RUELLAN A., 1971 -Les sols de la base Moulouya (Maroc oriental). Cah.ORSTOM. N°54, 302p.

RUELLAN A., 1973 - Morphologie et répartition des sols calcaires dans des régions méditerranéennes et désertiques .soils bulletin n°21, rapport of the FAO/UNDP régional science ou réclamation and ravagèrent of calcareuse soils. Cairo. Egypte. pp272-300.

TASSIER D., 2002 –Le sol, lieu d'échanges et de transferts .conséquences de leur utilisation par l'homme : un exemple Français. Revue des sciences de l'eau. Rev. sci.eau.n°15. P9- 26.

TIR CH., 2007-Génèse des sols à accumulation gypso-calcaire et salines dans la région d'Ain Ben Naoui. Biskra. Mém Magister, institut national agronomique El-Harrach. 142 p.

U.S.D.A., 1999- Soil Quality Test Kit Guide.Pub.united States Département of Agriculture, Agricultural, Research Service, Natural Resource Conservation Service, Soil Quality Institute, 82p.

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

WALTER Ch., 2002- analyse spatiale des sols en vue de leur gestion précise et de leur surveillance.Mém d'habilitation à diriger des recherches (Mém scientifique) .université Henri Poincaré de Nancy, (ENSAR).94p .



Annexes

Annexe 1. Statistiques descriptives du pH et taux du calcaire total

Tableau I. Statistiques descriptives de taux calcaire total en parcelle cultivé.

calcaire -cultivé	
Moyenne	5,1793333
Écart-type	1,5619858
Minimum	2,29
Maximum	10,18
Nombre d'échantillons	30
Coefficient de variation	26,403361

Tableau II. Statistiques descriptives de pH en parcelle cultivé.

pH-cultivé	
Moyenne	9,045333333
Écart-type	0,17968331
Minimum	8,675
Maximum	9,375
Nombre d'échantillons	30
Coefficient de variation	2,1802508

Tableau III. Statistiques descriptives de taux calcaire total en parcelle témoin.

calcaire total -témoin	
Moyenne	4,5804333
Écart-type	1,2928198
Minimum	2,5
Maximum	7,771
Nombre d'échantillons	30
Coefficient de variation	28,22484

Tableau IV. Statistiques descriptives de pH en parcelle témoin.

pH-témoin	
Moyenne	8,82366667
Écart-type	0,26992634
Minimum	8,11
Maximum	9,335
Nombre d'échantillons	30
Coefficient de variation	3,0591117

Annexe 2. Les échelles d'interprétation du pH et taux de calcaire total.

Tableau V .Echelle du Calcaire total (BAIZE, 1988)

CaCO₃ (%)	Horizon
≤ 1	Non calcaire
$1 < \text{CaCO}_3 \leq 5$	Peu calcaire
$5 < \text{CaCO}_3 \leq 25$	Modérément calcaire
$25 < \text{CaCO}_3 \leq 50$	Fortement calcaire
$50 < \text{CaCO}_3 \leq 80$	Très calcaire
> 80	Excessivement calcaire

Tableau VI. Echelle du pH (BAIZE, 1988).

Valeurs de PH	significations
$< 3, 5$	Hyper-acide
$3, 5-5$	Très acide
$5-6, 5$	Acide
$6, 5-7, 5$	Neutre
$7, 5-8, 5$	Basique
$> 8, 5$	Très basique

Annexe 3.la céréaliculture dans la région de Ghardaïa.

Tableau VII. Production de céréale dans la région de Ghardaïa (DSA, 2013).

	1963/ 1967	1968/ 1972	1973/ 1977	1978/ 1982	1983/ 1987	1988/ 1992	1993/ 1995	2001	2002	2003	2004
Blé dur	56,65	56,44	42,34	41,67	36,58	39,95	40,99	46,62	48,74	42,27	49,65
Blé tendre	16,01	26,07	29,98	25,26	19,74	15,86	15,99	30,11	28,22	27,26	18,08
orge	27,01	25,55	24,84	29,43	40,13	45,31	40,12	21,62	21,32	28,65	30,06
avoine	0,3	1,94	2,84	3,64	3,55	2,85	2,9	1,65	1,72	1,82	2,21
total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tableau VIII. Superficie cultivé par céréale dans la région Ghardaïa (DSA, 2013).

espèce	1994 1995	1995 1996	1996 1997	1997 1998	1998 1999	1999 2000	2000 2001	2001 2002	2002 2003	2003 2004	2004/ 2005	2005 2006	2006 2007	2007 2008	2008 2009	2009 2010	2010 2011	2011 2012
Blés dur	29,6 5	17,1 5	25,3 8	25,9 8	29,5 4	25,9 7	16,9 9	41,4 8	49,9	48,7 8	48,2	46,5 6	48,3 6	41,9 5	46,63	34	42,1 9	40,6
Blés tendre	/	23,5 7	26,1 1	26,6 6	33,3 3	29,4 8	20,6 6	33	30	/	/	/	/	/	/	/	/	/
orage	26	12,5	23,6 9	17,1	30	25,2 4	22,2 9	26,8	25,5 6	26,7 8	20,43	24,1 2	24,1 1	30,3 6	31,02	26,5	31,0 5	29,0 8
avoine	23	0	0	23	20,5 5	22,1 6	/	27,8	/	/	/	/	/	10	/	/	/	/
totale	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tableau IX. Rendement de la céréaliculture dans la région de Ghardaïa (DSA, 2013).

espèce	1994 /1995	1995/ 1996	1996/ 1997	1997 /1998	1998 /1999	1999/ 2000	2000/ 2001	2001 /2002	2002 /2003	2003/ 2004	2005	2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009 /2010	2010/ 2011	2011 /2012
Blés dur	29.65	17.15	25.38	25.98	29.54	25.97	16.99	41.48	49.9	48.78	48.2	46.56	48.36	41.95	46.63	34	42.19	40.6
Blés tendre	/	23.57	26.11	26.66	33.33	29.48	20.66	33	30	/	/	/	/	/	/	/	/	/
orage	26	12.5	23.69	17.1	30	25.24	22.29	26.8	25.56	26.78	20.43	24.12	24.11	30.36	31.02	26.5	31.05	29.08
avoine	23	0	0	23	20.55	22.16	/	27.8	/	/	/	/	/	10	/	/	/	/
totale	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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)

L'étude de la durabilité et de la performance de l'agriculture céréalière dans les zones arides passe par l'étude des systèmes de production agricoles, de leur dynamique d'évolution et des impacts de l'activité agricole sur le sol.

Notre travail réalisé dans la région de HASSI EL F'HEL (Ghardaïa) a pour objet l'étude de l'évolution du pH et du taux de calcaire total suivant un échantillonnage systématique sur une maille régulière en comparant les données d'une parcelle exploitée pendant 4 ans à une parcelle non cultivée. Les résultats obtenus ont révélé une augmentation très hautement significative du pH et non significative du taux de calcaire avec une variation spatiale modérée.

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

Mots clés: Céréaliculture, pH, calcaire total, variation spatiale, Ghardaïa.

Impact of agricultural intensification (cultivation of cereals under pivot) on the variation of pH and total calcareous rate of soil at Ghardaïa (case of HASSI EL F' HEL).

The study of durability and performance of cereal agriculture in arid regions passes by the study of the agricultural systems of production, of their dynamics of evolution and the impacts of agricultural activity on soil.

Our work realized in the area of HASSI EL F' HEL (Ghardaïa) has as an object the study of the pH and total calcareous rate evolution following a systematic sampling on a regular mesh by comparing data of a plot exploited during 4 years with a not cultivated one.

The results obtained revealed a very highly significant increase of pH and non significant of the calcareous rate with a moderate space variation.

Geostatistic modeling showed, from experimental variogrammes, the efficiency of selected sampling.

Key words: Cultivation of cereals, pH, total limestone, space variation, Ghardaïa.

تأثير التكتيف الزراعي (زراعة الحبوب تحت الري المحوري) على التباين في درجة الحموضة والنسبة المئوية للكلس الكلي في منطقة غرداية (دراسة حالة حاسي لفحل).

دراسة استدامة وفعالية زراعة الحبوب في المناطق الجافة تتم من خلال دراسة نظم الإنتاج الزراعي، تطورها الديناميكي وتأثيرات الأنشطة الزراعية على التربة.

العمل المنجز بمنطقة حاسي لفحل (غرداية) يهدف إلى دراسة تطور الحموضة والنسبة المئوية للكلس الكلي باستخدام عينة منتظمة على شبكة منتظمة و من خلال مقارنة البيانات لقطعة ارض مستغلة لمدة 4 سنوات بقطعة أخرى غير مزروعة.

النتائج المحصل عليها أظهرت زيادة معتبرة جدا في درجة الحموضة ولكن ضئيلة في النسبة المئوية للكلس الكلي مع تباين مكاني معتدل.

وأظهر النموذج الإحصائي الجيولوجي، من خلال مقياس التباين التجريبي، فعالية نظام العينة المختار.

الكلمات الدلالية: زراعة الحبوب، درجة الحموضة، والنسبة المئوية للكلس الكلي ، التباين المكاني، غرداية