



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE BATNA 1 – HADJ LAKHDAR



INSTITUT DES SCIENCES VETERAINAIRES ET SCIENCES AGRONOMIQUES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

THESE

Pour l'obtention du Diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Option : Pédologie

Présentée par

ZAABOUBI Siham

Thème

Elaboration des indices de santé et de durabilité

des sols à vocation céréalière

Soutenue le 07 juin 2021

DEVANT LE JURY :

Président :	BEGHAMI Yassine	Prof	Université Batna 1
Directeur de thèse :	ABDESSELAM Salah	Prof.	Université Batna 1
Co-directeur de thèse :	KHIARI Lotfi	Prof.	Université Laval Canada
Examineur :	MASMOUDI Ali	Prof	Université Biskra
Examineur :	BOUMAARAF Belkacem	MCA	Université Biskra
Examineur :	MOSTEFAOUI Tawfik	Maitre de recherche	CRAT Constantine

Année universitaire : 2020 / 2021

Remerciements

Au terme de ce travail, je voudrais exprimer toute ma reconnaissance à ceux qui, au long de mon travail m'ont apporté leurs aides, leurs conseils et leurs encouragements.

Je dois remercier en premier lieu mon premier encadreur Mr. SAADOUN Tahar, Maitre de Conférences, avec qui j'ai commencé ce travail. Il est parti en retraite et n'a pas pu voir achever cette thèse. Je lui exprime ici ma profonde reconnaissance pour la confiance qu'il m'a témoignée.

Je tiens à remercier Mr ABDESSELAM Salah, Professeur à l'université Batna1 qui a accepté de prendre en charge l'encadrement de cette thèse. Je le remercie infiniment pour la confiance qu'il m'a accordée, pour les maints conseils et les orientations qu'il m'a prodigué durant ce parcours de thésard. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Je remercie Mr. KHIARI Lotfi, Enseignant-Chercheur à l'université Laval -Canada et Co-directeur de cette thèse qui a cru en moi et pour m'avoir encouragée tout au long de ces années de thèse. Il a stimulé la discussion scientifique et il m'a accompagné dans la synthèse des résultats. Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans sa contribution.

Je suis très sensible à l'honneur que me fait Monsieur BEGHAMI Yassine, Professeur à l'université Batna1 et Directeur de l'institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques, qui, malgré ses lourdes tâches a bien voulu juger ce travail et présider le jury.

Je remercie Monsieur MASMOUDI Ali, Professeur à l'université de Biskra, d'avoir accordé un intérêt à mes travaux et accepter d'examiner cette thèse. Qu'il trouve ici le témoignage de mon profond respect.

Mes remerciements vont également à Monsieur BOUMARAF Belkacem, Maitre de Conférences à l'Université de Biskra d'avoir accepté de juger ce travail. Je le prie de trouver ici, l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie aussi Monsieur MOSTEFAOUI Toufik, Maitre de Recherche au Centre de Recherche en Aménagement du Territoire (CRAT) de Constantine d'avoir accepté de juger ce travail. Je lui exprime ici toute ma reconnaissance.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des agriculteurs du groupe PRODEG en tout premier lieu le directeur général de SMID Tell Mr KIRAGHEL ; ce groupe dynamique et chaleureux qui m'a accueilli comme une famille. Je n'oublierai pas les superbes rencontres que j'y ai faits. Plus précisément je tiens à remercier Mr MEHNANE Saïd, Monsieur BOURAS Mohamed Mr BOUKHLIF Rachid et Mr YAHIAOUI Mohamed qui ont pu m'assister dans les différentes sorties sur le terrain.

Je tiens également à remercier sincèrement toute l'équipe de l'ITGC Sétif ; Monsieur le directeur SERSOUB Djamel, l'ingénieur chercheur Monsieur HARKATI Bachir ainsi que le reste du personnel et ouvriers. De m'avoir accueilli et mis à ma disposition les moyens nécessaires et indispensable pour mener à bon terme mes essais. Je les remercie tous considérablement.

Mes sincères remerciements vont également à Mr ZERARI Abbes pour son aide dans la réalisation des différentes analyses au niveau de laboratoire FERTIAL.

Mr Jacques Gallichand, vous avez su me faire découvrir le monde de l'analyse de données. Merci pour votre patience, votre aide et votre collaboration.

Bien plus que des collègues, j'ai la chance d'avoir rencontré de véritables anges mes trois enseignantes M^{me} BOULALOUAH Nadia, M^{me} ABDENEBI Nedjma et M^{me} KHERCHOUCHE Dalila, qui ont toujours répondu favorablement pour toute sollicitation. Elles m'ont réservé des moments précieux de conseils, de discussion et m'ont aidé de dépasser tout obstacle pour mener à bien ce travail. Je n'oublierai jamais vos précieux conseils et Je garderais toujours un bon souvenir de vos grandes qualités humaines.

Je remercie également Monsieur SAHRAOUI Abdellali, M^{lle} SAHNOUNE Yamina, M^{me} AMEUR Doria et toute l'équipe de Laboratoire de recherche LAPAPIZA, pour leurs aides, et leurs disponibilités. Leurs encouragements ont été pour moi d'une grande importance dans le développement de cette recherche.

Mr CHIOUKH Seddik, Je vous remercie pour vos conseils et vos encouragements.

La préparation d'une thèse nécessite aussi un environnement agréable. A ce titre je tiens à remercier toutes et tous les collègues de l'université de Batna pour leurs encouragements et soutien moral dont j'ai ressenti tout le long de mon parcours de thésard.

Par peur d'afficher une liste non exhaustive de tous ceux que le destin a mis sur mon chemin et qu'ils n'ont pas hésité à apporter leur touche, qu'elle soit, dans ce modeste travail ; je leur dis merci infiniment.

SIHAM

Dédicace

Je dédie cette thèse à ...

A la mémoire de mon cher papa ZAABOUBI Tayeb, Je ne saurais exprimer mon grand chagrin en ton absence. J'aurais aimé que tu sois à mes côtés ce jour. Que ce travail soit une prière pour le repos de ton âme.

A MA TRES CHERE MERE Source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice. Ta prière et ta Bénédiction m'ont été d'un grand secours tout au long de ma vie. Quoique je puisse dire et écrire, je ne pourrais exprimer ma grande affection et ma profonde reconnaissance. J'espère ne jamais te décevoir, ni trahir ta confiance et tes sacrifices. Puisse Dieu tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et Bonheur. Je t'aime maman

A MON FRERE UNIQUE RAFIK, tu es mon deuxième papa, de tous les frères tu es le meilleur, tu as été et tu seras toujours un exemple pour moi, par tes qualités humaines, ta persévérance et perfectionnisme. En témoignage de brut d'années de sacrifices, de sollicitudes, d'encouragement et de prières. Pourriez-vous trouver dans ce travail le fruit de toutes vos peines et tous de vos efforts. En ce jour, j'espère réaliser l'un de tes rêves mon frère. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes respects, ma reconnaissance et mon profond amour. Puisse Dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur.

A ma belle-sœur Wassila, tu as été pour moi la sœur et l'amie, ton amour, ta gentillesse, et ta bonne écoute m'ont permis de surmonter les moments difficiles

A mes sœurs AICHA, NAIMA, NORA, En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

A mes adorables nièces, mes belles roses, AYA, DANIA et TAHANI, je vous exprime à travers ce travail ma grande affection, mon grand amour et mon profond attachement. Je vous souhaite une vie heureuse pleine de joie de bonheur et de succès.

A mes neveux HANI, AYMENE, ABDELBASSET et OUSSAMA, Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.

*A mes chères ami(e)s LILIA *LOULOU* HANENE, IMANE, SAMAH, NORA et AMIRA, En souvenir d'agréables moments passés ensemble en témoignage de notre amitié. Je vous exprime par ce travail toute mon affection et j'espère que notre amitié restera intacte et durera pour toujours.*

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer ...

Un dédicace spécial à :

Une personne qui a battu pour plus de 20 ans pour arriver à son objectif et réaliser ce qu'elle voulait. Une personne qui a connu des hauts et des bas, de la joie et de la tristesse, l'échec et de la réussite, mais à la fin elle a arrivé à son but

À moi, je dédie ce travail.

Table Des Matières

Introduction Générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I

PRESENTATION DU MILIEU PHYSIQUE

I. Présentation générale de la zone d'étude	6
I .2. Le Climat	17

CHAPITRE II

EFFET DES PRATIQUES CULTURALES SUR LES PROPRIETES DU SOL

Introduction	20
I. Les principales pratiques culturales utilisées en système céréalier	20
I.1. Travail du sol	20
I.2. Le précédent cultural	22
I.3. La fertilisation	24
I.4. Irrigation	28
II. Matériel et méthodes	31
II.1. Matériel	31
II.1.1. Les sites d'échantillonnage	31
II.1.2. Prospection de la zone d'étude.....	31
II.1.3. Echantillonnage du sol sur terrain	31
II. 1.3.1 Phase de reconnaissance	31
II. 1.3.2 Phase d'échantillonnage.....	31
II.2. Analyse du sol.....	34
II.2.1. physique du sol.....	34
II.2.1.1. Texture du sol.....	34
II.2.1.2. La densité apparente du sol (Da)	34
II.2.1.3. Densité des particules réelle du sol (Dr).....	34
II.2.1.4. Porosité du sol	35
II.2.1.5. La stabilité des agrégats	35
II.2.1.6. Calcaire total	35
II.2.1.7. Le calcaire actif	35
II.2.2. Analyse chimique du sol	35
II.2.2.1. pH Eau	35

II.2.2.2. Conductivité électrique (C.E).....	35
II.2.2.3 Le phosphore assimilable.....	35
II.2.2.4. Bases échangeables.....	36
II.2.2.5. La capacité d'échange cationique	36
II.2.2.6. Matière organique.....	36
II.2.2.7. L'Azote disponible dans le sol.....	36
II.2.3. Analyses statistiques	37
III. Résultats et discussion.....	38
III.1. Effet des précédents culturaux sur les propriétés du sol.....	38
III.1.1. Effet des précédents culturaux sur les propriétés physiques du sol.....	38
III.1.2. Effet des précédents culturaux sur les propriétés chimiques du sol	47
III.2. Effet de travail du sol sur les propriétés du sol	53
III.2.2. Effet de travail du sol sur les propriétés physiques du sol.....	53
II.2.2. Effet de travail du sol sur les propriétés chimique du sol	57
II.3. Effet de la fertilisation et l'irrigation sur les propriétés du sol.....	62
II.3.1. L'effet de la fertilisation et l'irrigation sur propriétés physiques du sol.	62
II.3.2. Effet de la fertilisation et l'irrigation sur les propriétés chimique du sol	67
Conclusion.....	72

CHAPITRE III

EFFET DES PRATIQUES CULTURALES SUR LES RENDEMENTS EN BLE DUR (TRITIMUM DURUM DESF.)

Introduction	73
I. Aperçu sur la culture des céréales	74
I.1. Evolution de la filière céréalière en Algérie	75
I.2. Les contraintes de la production du blé.....	76
I.2.1. Les techniques culturales	76
I.2.2. Le matériel végétal.....	77
I.2.3. Les contraintes climatiques	78
I.2.4. Les contraintes édaphiques.....	78
II. Matériels et méthode	79
II.1. Enquête.....	79
II.2. Analyse des données	80
III. Résultats et discussion.....	82
III.1. Effet du précédent cultural sur le rendement du blé dur.....	82

III.2. Effet de travail du sol sur le rendement	83
III.3. Effet de la fertilisation sur le rendement de blé dur.....	85
III.4. Effet de l'irrigation sur le rendement de blé dur	87
Conclusion.....	90

CHAPITRE IV

INDICATEURS DE QUALITE DU SOL

Introduction	91
I. La qualité des sols agricoles.....	92
I.1. Concept de la qualité et de la santé des sols	92
I.2. Les indicateurs de la qualité et de la santé du sol	94
I.2.1. Indicateurs physiques des sols.....	95
I.2.2. Indicateurs chimiques des sols	96
I.2.3. Indicateurs biologiques des sols	97
I.3. Indice de la qualité des sols (SQI).....	98
I.4. Impact des pratiques culturales sur la qualité des sols.	98
II. Analyse compositionnelle pour l'amalgame des indicateurs.....	100
III. Elaboration des indicateurs de la qualité du sol.....	101
III.1. Matériel et méthodes.....	101
III.1.1. Matériel.....	101
III.1.2. Méthodes.....	101
III.2. Evaluation des indicateurs de la qualité des sols par analyse compositionnelle (CA)	102
IV- Résultats et discussion	104
IV.1. Développement d'indicateurs globaux de la texture des sols.....	104
Le résonnement.....	104
IV.2. Développement d'indicateurs globaux chimiques des sols	111
IV.2.1. Développement d'indicateur global de déséquilibre chimique à partir du simplex de cations échangeables	112
IV.2.2. Développement d'indicateur global de déséquilibre chimique à partir du simplex de la matière organique et calcaire (C, N et CaCO ₃).....	119
Conclusion.....	126
Conclusion Générale	127
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Répartition des surfaces céréalière (en ha) par espèce et par commune (BNEDER, 1998)	8
Tableau I.2 : Historique de rendement par espèce et par commune des céréales (DSA Batna, 1997)	8
Tableau I.3 : La répartition des terres dans la wilaya de Sétif (DSA, 2010).	13
Tableau I.4 : Terres utilisées par l'agriculture dans la wilaya d'Oum El Bouaghi (superficie en ha) (BNEDER, 1997).	16
Tableau II.1 : Différentes possibilités de travail du sol simplifié en grandes cultures (Viaux, 1999)	21
Tableau II.2 : Différents types de jachère (Laumont, 1946).	24
Tableau II.3 : Statistiques descriptives (Données qualitatives)	38
Tableau II.4 : Analyse de la variance des fractions granulométriques du sol.	39
Tableau II.5 : Estimation des paramètres du modèle des composantes granulométriques.	40
Tableau II.6 : Paramètres du modèle (cas de la porosité P %)	46
Tableau II.7 : Contribution des variables dans la définition des facteurs (ACM des paramètres physiques).	46
Tableau II.8 : Analyse de la variance des paramètres chimiques	51
Tableau II.9 : Corrélation entre les différents propriétés chimiques des sols étudiés sous l'effet des différents précédents culturaux (Au-dessous de la diagonale, les valeurs des coefficients de corrélation).	51
Tableau II.10 : Corrélation entre chaque précédent cultural et les différents propriétés chimiques des sols étudiés (Au-dessous de la diagonale, les valeurs des coefficients de corrélation et au-dessus les probabilités de signification).	52
Tableau II.11 : Corrélation entre le travail du sol et les propriétés physiques des sols.	57
Tableau II.12 : Corrélation entre le travail du et les propriétés chimiques des sols étudiés.	60
Tableau II.13 : Corrélation entre la fertilisation, l'irrigation et les propriétés physiques des sols étudiés	66
Tableau II.14 : Corrélation entre la fertilisation, l'irrigation et les propriétés chimiques des sols étudiés	70

Tableau III.2 : Modèles mixtes linéaires généralisés (GLMM) testant la variation des rendements en grains de blé dur suivant les systèmes de culture précédents, les pratiques de travail du sol, les traitements de fertilisation et d'irrigation dans les terres agricoles semi-arides de la région semi-aride de l'Algérie.	89
Tableau IV.1 : Fonction d'ajustement des fonction cumulative de variance Fci (VX) aux équations de Richards	106
Tableau IV.2 : Normes pour la sous-population de blé à rendement acceptable «supérieur» (20qx.ha-1), en supposant une proportion de sous-population à rendement moins acceptable de 52%	109
Tableau IV.3 : Indices de taille des particules critiques et seuil de rendement dans les échantillons de validation à l'aide de la procédure de partitionnement Cate – Nelson.	111
Tableau IV.4 : Fonction logistique généralisée ou courbe de Richards	115
Tableau IV.5 : Normes pour la sous-population de blé à rendement acceptable (20 qx ha-1), en supposant une proportion de sous-population à rendement moins acceptable de 52%	118
Tableau IV.6 : Fonction logistique généralisée ou courbe de Richards	121
Tableau IV.7 : Normes pour la sous-population de blé à rendement acceptable («supérieur») (20qx. ha-1), en supposant une proportion de sous-population à rendement moins acceptable de 52%	124

Liste des figures

Figure I.1 : Situation géographique des sites d'étude	10
Figure I.2 : Évolution des superficies emblavées en céréales d'hiver de 1996-2010 (DSA setif, 2011)	13
Figure I.3 : La répartition pluviométriques dans les trois zones d'études sur une période de 25 ans (1990/ 2015)	17
Figure I.4 : La répartition pluviométrique dans les trois zones d'études durant les deux campagnes agricoles 2014 et 2015	18
Figure I.5 : la répartition pluviométrique par saison sur une période de 25 ans (1990/ 2015)	19
Figure I.6 : La variation des valeurs de température dans les trois zones d'études sur une période de 25 ans (1990/ 2015)	20
Figure I.7 : la variation des valeurs de température dans les trois zones d'études durant les deux campagnes agricoles 2014 et 2015	21
Figure I.8 : La relation pluviométrie et température durant les deux campagnes agricoles 2014 et 2015	22
Figure I.9 : La variation des valeurs de température mensuelles des deux années expérimentales 2014 et 2015	23
Figure I.10 : Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger de la zone d'étude (Batna, Oum El Bouaghi et Setif).	25
Figure II.1 : Consommation en quantité des éléments fertilisant (FAO, 2019)	26
Figure II.2 : La répartition des échantillons prélevés.	32
Figure II.3 : Les échantillons des sols dans les trois régions	33
Figure II.4 : les étapes de travail (prélèvement, conservation, pesé, analyses, traitement)	36
Figure II.5 : Moyennes estimées pour chaque cellule du plan d'analyse. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95%.	41
Figure II.6 : Effet des précédents culturaux sur les propriétés physiques des sols.	45
Figure II.7 : Effet des précédents culturaux sur les propriétés chimiques du sol	50
Figure II.8 : Effet de travail du sol sur les propriétés physiques du sol	56
Figure II.9 : Effet de travail du sol sur les propriétés chimiques du sol	60

Figure II.10 : Classification des paramètres chimiques analyses en fonction de labour profond C1 (n = 2), C2 (n= 5) et C3 (n = 2)	61
Figure II.11 : Classification des paramètres chimiques analyses en fonction de labour superficiel C1 (n = 2), C2 (n= 5) et C3 (n = 2)	61
Figure II.12 : Effet de la fertilisation et de l'irrigation sur les propriétés physiques du sol	65
Figure II.13 : Effet de la fertilisation et l'irrigation sur les propriétés chimiques du sol.	70
Figure II.14 : Classification des observations et des paramètres chimiques étudiés dans le plan formé par l'ACP (avec fertilisation et irrigation).	71
Figure II.15 : Classification des observations et des paramètres chimiques étudiés dans le plan formé par l'ACP (sans fertilisation et sans irrigation).	71
Figure III.1 : Les étapes d'étude de l'effet des pratiques culturales sur le rendement en blé	80
Figure III.2 : Effet du précédent cultural sur le rendement	83
Figure III.3 : Effet de travail du sol sur le rendement de blé dur	85
Figure III.4 : Effet de la fertilisation sur le rendement de blé dur	86
Figure III.5 : Effet de l'irrigation sur le rendement de blé dur	88
Figure IV.1 : les principales étapes pour le suivi de la qualité des sols agricoles inspirées d'Arshad et Martin (2002).	102
Figure IV.2 : Etapes de l'analyse compositionnelle et de globalisation des indicateurs.	103
Figure IV.3 : Relation entre le rendement en blé et la fonction du rapport de variance cumulée.	106
Figure IV.4 : Comparaison entre la fonction cumulative du χ^2 et la fonction de distribution de l'indice global de déséquilibre (IGD) pour obtenir la valeur critique théorique $r_{granulo}^2$ (4.2) au seuil de rendement dans la population étudiée (n = 350)	107
Figure IV.5 : Relation entre l'indice global de déséquilibre granulométrique $r_{granulo}^2$ et le rendement en blé et tableau récapitulatif (en bas à droite) n : Nombre de points dans les différents quadrants ; Indicateurs de performance du	109

modèle de partition. Précision ; NPV : valeur prédictive négative ; PPV : valeur prédictive positive.	
Figure IV.6 : Relation entre le rendement en blé et les quatre fonctions cumulatives de la variance pour Ca, Mg, Na et K.	114
Figure IV.7 : Comparaison entre la fonction cumulative du chi carré et la fonction de distribution r^2 pour obtenir la valeur seuil théorique r_{echang}^2 (4.2) au seuil de rendement dans la population étudiée (n = 350)	116
Figure IV.8 : Relation entre l'indice des bases échangeables Composition (r_{echang}^2) et le rendement en blé et tableau récapitulatif (en bas à droite) n : Nombre de points dans les différents quadrants ; Indicateurs de performance du modèle de partition. Précision ; NPV : valeur prédictive négative ; PPV : valeur prédictive positive.	118
Figure IV.9 : Relation entre le rendement en blé et les trois fonctions cumulatives de la variance pour C, N et CaCO ₃ .	121
Figure IV.10 : Comparaison entre la fonction cumulative du chi carré et la fonction de distribution r^2 pour obtenir la valeur seuil théorique r_{MOC}^2 (3) au seuil de rendement dans la population étudiée (n = 350)	122
Figure IV.12 : Relation entre l'indice de MOC Composition (r_{MOC}^2) et le rendement en blé et tableau récapitulatif (en bas à droite) n : Nombre de points dans les différents quadrants ; Indicateurs de performance du modèle de partition. Précision ; NPV : valeur prédictive négative ; PPV : valeur prédictive positive.	124

Introduction Générale

Introduction Générale

Les céréales jouent un rôle dans l'agriculture nationale puisqu'elle occupe plus de 90% des terres cultivées. Une grande partie de la céréaliculture se concentre à l'intérieur du pays, sur les hautes plaines. Ces dernières se caractérisent par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, des gels printaniers très fréquents et des vents chauds et secs en fin de cycle de la culture. Tous ces facteurs influent sur la production céréalière qui se caractérise par une moyenne nationale très variable d'une année à l'autre (Selmi, 2000 ; Djekoun et *al.*, 2002 ; Mohammed Ammar, 2014). La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures, elle apparaît donc comme une spéculation dominante.

De nature essentiellement pluviale, donc fortement tributaire des conditions climatiques, la céréaliculture se caractérise par une conduite extensive aggravée par la pratique de techniques culturales inappropriées (Megherbi et *al.*, 2012 ; Benbelkacem, 2013 ; ITGC, 2014). Cela se traduit d'une année à l'autre par des variations importantes de la SAU, de la production et du rendement.

Les solutions fournies pour augmenter la production des céréales et diminuer la dépendance de l'importation, pour assurer les besoins de la population, sont peu nombreuses, dont entre autres l'augmentation de la surface réservée aux céréales, l'intensification de l'itinéraire technique dont le travail du sol, la rotation culturale, le choix de la variété, la fertilisation et l'irrigation (Hannachi, 2013 ; Rebulard, 2015). Quoique ces pratiques soient le premier responsable de l'amélioration et l'augmentation de la production céréalières, elles peuvent affecter considérablement les sols en modifiant les propriétés physiques, chimiques et biologiques (Fauci et Dick, 1994). La gestion intensive a entraîné, dans certains cas, un dommage irréversible compromettant cette ressource non renouvelable pour les générations futures (Lal et *al.*, 1998).

Comment préserver les ressources en sols et améliorer la qualité et la santé des sols ?

C'est là une des questions d'actualité. Ainsi, la caractérisation du fonctionnement du sol sous différentes pratiques culturales s'impose comme une approche indispensable pour mieux orienter les hypothèses de travail durable des agronomes. L'approche implique la

connaissance des indicateurs de qualité des sols. De cette manière, la qualité des sols est devenue un outil d'évaluation de la durabilité des systèmes de gestion des sols (Schloter et *al.*, 2006). La réussite des techniques de gestion de la qualité des sols dépend de notre compréhension de la façon dont les sols réagissent à l'utilisation des différentes pratiques agricoles (Gregorich et *al.*, 1994). Cependant, la qualité du sol ne peut être mesurée directement à partir du sol seul, mais elle est déduite des caractéristiques et du comportement du sol dans des conditions définies et en fonction des pratiques culturales. De plus, il n'existe pas de mesure unique permettant de quantifier la qualité du sol Stewart (1992), mais certaines propriétés du sol pourraient constituer de bons indicateurs si l'on les considère ensemble (Yakovchenko et *al.*, 1996 ; Mursec, 2011).

Comprendre la réponse des sols aux pratiques agricoles au fil du temps permet d'évaluer si les pratiques étudiées maintiennent ou améliorent la qualité des sols. Les bons indicateurs de la qualité des sols doivent être suffisamment sensibles à la gestion des terres et permettre un accès analytique et une utilité pratique aux spécialistes de l'agriculture, aux producteurs, aux défenseurs de l'environnement et aux décideurs (Doran et Parkin, 1996).

Dans notre recherche, des propriétés particulières du sol ont été choisies comme indicateurs potentiels en fonction de différentes pratiques agricoles adoptées en Algérie. Cependant l'amélioration de la production des céréales en Algérie notamment dans les zones arides et semi-arides doit être basé sur la recherche de la résistance de ces sols aux pratiques agricoles intensive afin d'arriver à une meilleure qualité et production des sols.

Les pratiques culturales de production appliquées aux cultures des céréales en Algérie engendrent des menaces sur la biodiversité, la fertilité et la qualité des sols à cause de l'érosion (Cadi, 2005 ; Boulal et *al.*, 2007 ; Djermoun, 2009 ; Benniou, 2012 ; Bessaoud et *al.*, 2019). en effet la surface agricole utile est passée de 0.75 hectare en 1962 à 0.25 hectares en 2012 (Belaid 2013).

Les systèmes de culture sont basés sur une rotation céréale/jachère. Depuis plus de 30 ans, la part de la jachère reste très importante, elle a continué d'occuper plus que 40% de la SAU de la zone céréalière en Algérie (Bedrani et *al.*, 2001 ; Abbas et Abdelguerfi, 2005). Ce système est considéré comme responsable d'une baisse du rendement de céréale. (Belaid, 2016), Le travail du sol et la jachère sont les deux premiers responsables de la dégradation des terres agricoles. Les terres labourées sont plus exposées aux risques d'érosion qui diminue en parallèle le rendement des cultures. Une faible teneur en matières organiques caractérise les sols dégradés. Cette matière organique a en effet un rôle bénéfique et cela à différents

niveaux ; elle est responsable de la libération d'éléments minéraux essentiels à la croissance des végétaux, la stabilisation de la structure du sol, la stimulation de l'activité biologique du sol mais surtout par l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol. Menad et Ould-said, (2003), montrent que la fertilisation est l'un des moyens qui peut améliorer la production, surtout dans les sols pauvres en matière organiques surtout dans les régions semi-aride. Elle est la pratique culturale la plus courante mise en œuvre par les agriculteurs. La mauvaise gestion avec l'emploi intensif d'engrais risque la salinisation des terres fertilisées, provoquant ainsi la stérilisation des sols et leur désertification. En Algérie, l'utilisation des engrais reste inconnue, sauf pour certains agriculteurs chargés du programme d'intensification des céréales et pour les agriculteurs cultivant la pomme de terre (FAO, 2005). Kelly, (2006) ; Nono et *al.*, (2010), rapportent que l'utilisation des engrais en Afrique est faible par rapport aux pays développés.

L'utilisation des engrais demande des quantité importante d'eau pour assurer une bonne assimilations des éléments fertilisants ; dans ce contexte et mis à part la zone de l'extrême Nord-est de l'Algérie, durant leur cycle végétatif, toutes les cultures pluviales sont soumises à des déficits de consommation en eau, parfois très importants, provoquant ainsi une mauvaise nutrition des végétaux et des rendements faibles. Les directions agricoles déclarent des surfaces importantes comme non productives après une année sèche, à cause du stress hydrique terminal qui représente le principal facteur de limitation des niveaux du rendement des cultures céréalières non irriguées. Pour obtenir des rendements stables dans le temps, et comparables aux besoins de la population algérienne, il faut combler partiellement ou totalement le déficit hydrique par des irrigations qui permet de se prémunir des aléas climatiques (Baldy, 1986 ; Bilgehan, 1998; Merabet et Boutiba, 2005 ; Radhouane et Jamil Mellouli, 2007).

De ce qui précède, nous notons que les technologies agricoles et les pratiques actuelles malgré leur effet positif sur la production agricole, provoquent un grave problème de dégradation des caractéristiques et de qualité du sol par l'impact anthropique en modifiant les capacités fonctionnelles du sol selon La Commission européenne (2002).

Les objectifs visés dans cette thèse sont (1) le choix de quelques propriétés particulières du sol comme indicateurs potentiels de qualité du sol en fonction de différentes pratiques agricoles par la méthode de l'analyse compositionnelle développée par Aitchison, (1986).

(2) étude de l'interaction pratique culturale rendement de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) et enfin la relation entre indicateurs de qualité des sols et pratiques culturales.

La problématique

La zone semi-aride de l'Algérie est caractérisée par une production du blé dur faible. Les rendements n'ont pas significativement évolué dans le temps. On a imputé cette faible production aux conditions climatiques, et à la sécheresse agricole (Smadhi et *al.*, 2002 ; Smadhi et *al.*, 2009 ; Smadhi et Zella, 2012). cependant, le fait d'expliquer la faiblesse et les fluctuations des rendements par le seul facteur climatique ne peut fournir qu'une réponse partielle à cette vision (Smadhi et *al.*, 2009 ; Samadhi e Zella, 2009). ; elle est liée aussi aux politiques agricoles adoptées, à l'irrigation, à la fertilisation, au travail du sol et aux autres pratiques agricoles (Merouche et *al.*, 2014).

Qu'en est-il du facteur sol ?

Comment les caractéristiques du sol influencent elles la conduite de la céréaliculture ?

Quelles sont les caractéristiques du sol ayant le plus d'influence sur les rendements ?

Quel sont les paramètres les plus essentiels pour faire des recommandations sur l'utilisation des céréales en Algérie ?

Quels sont ceux qui ont une influence sur les rendements ?

On se propose dans ce travail d'aborder cette question sous deux angles :

Dans un premier temps, on s'intéresse aux différentes pratiques culturelles dont le but est d'essayer d'évaluer l'effet de ces pratiques sur les propriétés du sol ainsi que sur le rendement du blé dur (*Triticum durum*). Dans ce cas, on se demande quelles sont les pratiques culturales qui ont un impact significatif ?

Dans un deuxième temps, on s'intéresse à l'effet du facteur sol dans ce système céréalier. On se demande ainsi si le facteur sol a une influence sur cette production ? Cette question nous amène à :

- Identifier les indicateurs physiques pertinents de la qualité des sols les mieux adaptés pour classer les zones de meilleure productivité céréalière dans l'est de l'Algérie.
- Identifier des indicateurs chimiques pertinents de la qualité des sols les mieux adaptés pour classer les zones de meilleure productivité céréalière dans l'est de l'Algérie.

Pour répondre à toutes ces questions l'approche utilisée comporte deux volets complémentaires :

- Il s'agit dans un premier temps de voir l'impact des différentes pratiques culturales sur le rendement et leur interaction avec les caractéristiques du sol. Ce travail est conduit en faisant recours aux enquêtes sur terrain.
- Dans un deuxième temps, il sera question d'appliquer pour la première fois l'analyse compositionnelle des données pour déterminer les indicateurs pertinents de la qualité du sol qui ont une influence sur les rendements des cultures, dans notre cas le blé dur.

Pour cela, cette thèse est scindée en quatre chapitres.

Après une introduction et présentation de la problématique de cette thèse, le premier chapitre aborde la présentation du milieu physique de la zone d'étude.

Le deuxième chapitre traite l'effet des pratiques culturales sur les propriétés physiques et chimiques du sol.

Le troisième chapitre concerne l'effet des pratiques culturales sur le rendement de blé dur.

Le quatrième présente l'élaboration des indicateurs physiques et chimiques des sols étudiés.

Nous terminons enfin par une conclusion générale

Chapitre I
Présentation du milieu
physique

Chapitre I

Présentation du milieu physique

I. Présentation générale de la zone d'étude

Notre travail s'est déroulé dans la zone céréalière de l'est Algérien. Les parcelles étudiées sont localisées dans les régions de Sétif, Batna et Oum El Bouaghi (**Figure I.1**). Dans ce qui suit, on présente les caractéristiques générales de chaque région.

➤ **Région de Batna**

La wilaya de Batna est située au milieu des Aurès, dans la partie Est de l'Algérie entre les points 4° et 7° de longitude Est et 35° et 36° de latitude Nord. Elle regroupe 61 communes et 21 daïra avec une superficie de 12011,21 Km² et une population qui dépasse 1006680 habitants.

La wilaya de Batna est composée de 6 grands ensembles morphologiques (BNEDER, 1998).

- Les monts du Hodna au Nord-Ouest de la wilaya
- Au centre les monts de Belezma
- Le massif des Aurès tout autour de la wilaya
- La plaine de N'gaous
- La plaine d'Ain Djasser
- La plaine de Seggana

La géologie de la région de Batna montre une grande variété de structure géologique allant du tertiaire inférieur jusqu'au quaternaire récent et qui entrent en totalité ou partiellement dans les limites régionales qui présentent des caractéristiques hydrogéologiques très variables le Trias, le Jurassique, le Crétacé, l'Eocène et le Miocène inférieur.

Selon le type de roches mères (calcaires, marno-calcaires, dolomies et grés calcaires et grés siliceux) et l'altitude, les sols se répartissent comme suit : En hautes altitudes et sur pentes, les sols peu évolués bruns calcaires dominant, ils sont caractérisés par une faible profondeur et souvent riches en calcaires. Les pentes sont souvent abruptes. Entre les altitudes 550 et 900 mètres, les pentes s'adoucissent légèrement favorisant ainsi

l'apparition des sols plus ou moins profonds de la classe des sols calcimagnésiques caractérisés par l'accumulation du calcaire sous différents états. Dans les glacis d'accumulation à une altitude inférieure à 550 mètres les sols deviennent plus profonds et les croûtes et les encroûtements calcaires apparaissent ; ceux-ci sont caractérisés par des accumulations : Calcaires avec apparition de croûtes et d'encroûtements, argileuses avec début d'apparition de caractères vertiques et organiques avec apparition des ébauches d'isohumisme et des dépôts de gypse (Hannachi et Fellahi, 2010). Plus on s'approche de la dépression et plus la salinité augmente pour atteindre un point culminant dans les Sebkhass (Halitim et *al.*, 2006).

Les ressources en eau de la région de Batna rencontrent une diminution progressive de la pluviométrie ces dernières années. Les ressources en eau disponible estimées à partir des débits des oueds, des sources et des forages s'élèvent à environ 400691,59 millions m³ / an. Les terres agricoles dans la région occupent une superficie de 851745 ha avec un pourcentage de 70,66% de la surface totale de la wilaya. La surface agricole utile couvre une superficie de 422965 ha dont 48,32 % est destinée aux céréales et les terres mise en jachère occupe 44,19%, ces deux pourcentages montrent que l'utilisation du système céréales-jachère prend une grande place entre les systèmes agricoles pratiqués (BNEDER, 1998).

Le blé et l'orge sont les cultures les plus dominantes car, elles sont les plus rémunératrices qui s'adaptent bien aux conditions du milieu aride et semi-aride (**Tableau I.1**).

Les assolements qui répondent le mieux à l'espèce selon l'étude de BNEDER, (1998) sont de types :

- **Biennal** : 50% céréales ; Blé /Jachère
- **Quadriennal** : Blé / Fourrages / Blé / Légumes sec / Jachère travaillée, dont 50% est de type Blé / Fourrage.
- **Triennal céréalier** : Blé / Orge/ Jachère dont 66% est répartie entre blé et orge.

Tableau I.1 : Répartition des surfaces céréalières (en ha) par espèce et par commune (BNDER, 1998)

commune	Blé dur	Blé tendre	Orge	avoine	totale	%
Ayoune el assafir	2300	250	1200	100	3850	1,88
Tazoult	1480	95	880	110	2565	1,26
Seriana	1400	900	1850	50	4200	2,06
Barika	1500	500	8000		10000	4,89

Selon la direction des services agricoles de la wilaya de Batna, le rendement réel est difficile à compter puisque les superficies déclarées ne correspondent pas aux superficies réelles (**Tableau I.2**) ; l'autoconsommation et les pertes aux champs ne sont pas déclarées par l'agriculteur.

Tableau I.2 : Historique de rendement par espèce et par commune des céréales (DSA Batna, 1997)

commune	Blé dur		Blé tendre		Orge		avoine		totale
	P (qx)	Rdt (qx/ha)	P (qx)	Rdt (qx/ha)	P (qx)	Rdt (qx/ha)	P (qx)	Rdt (qx/ha)	P (qx)
Ayoune el assafir	23000	10	3500	14	16800	14	1000	10	44300
Tazoult	14800	10	1140	12	12320	14	1100	10	29360
Seriana	16000	12	9800	11	22200	12	500	10	49300
Barika	12000	8	4000	8	80000	10			96000

P (qx) : la production en quintal ; Rdt (qx/ha) : le rendement en quintaux /hectar

Les agriculteurs de la région de Batna ne procèdent pas à toutes les techniques culturales, le labour se fait uniquement par le cover crop, chez la majorité des agriculteurs sans aucun apport ni d'engrais ni de fumure de fond.

Le semis se fait à la volée chez la majorité des agriculteurs, ce qui influe sur la répartition des espèces dans le champ. L'absence des traitements phytosanitaires explique la persistance de certaines maladies (charbon....)

Le système de culture suivi par les agriculteurs de la wilaya de Batna est de type céréale/jachère autrement dit le système de mono culture ce qui explique l'utilisation agressive des terres et la propagation des maladies ce qui donne en résultat des rendements faibles.

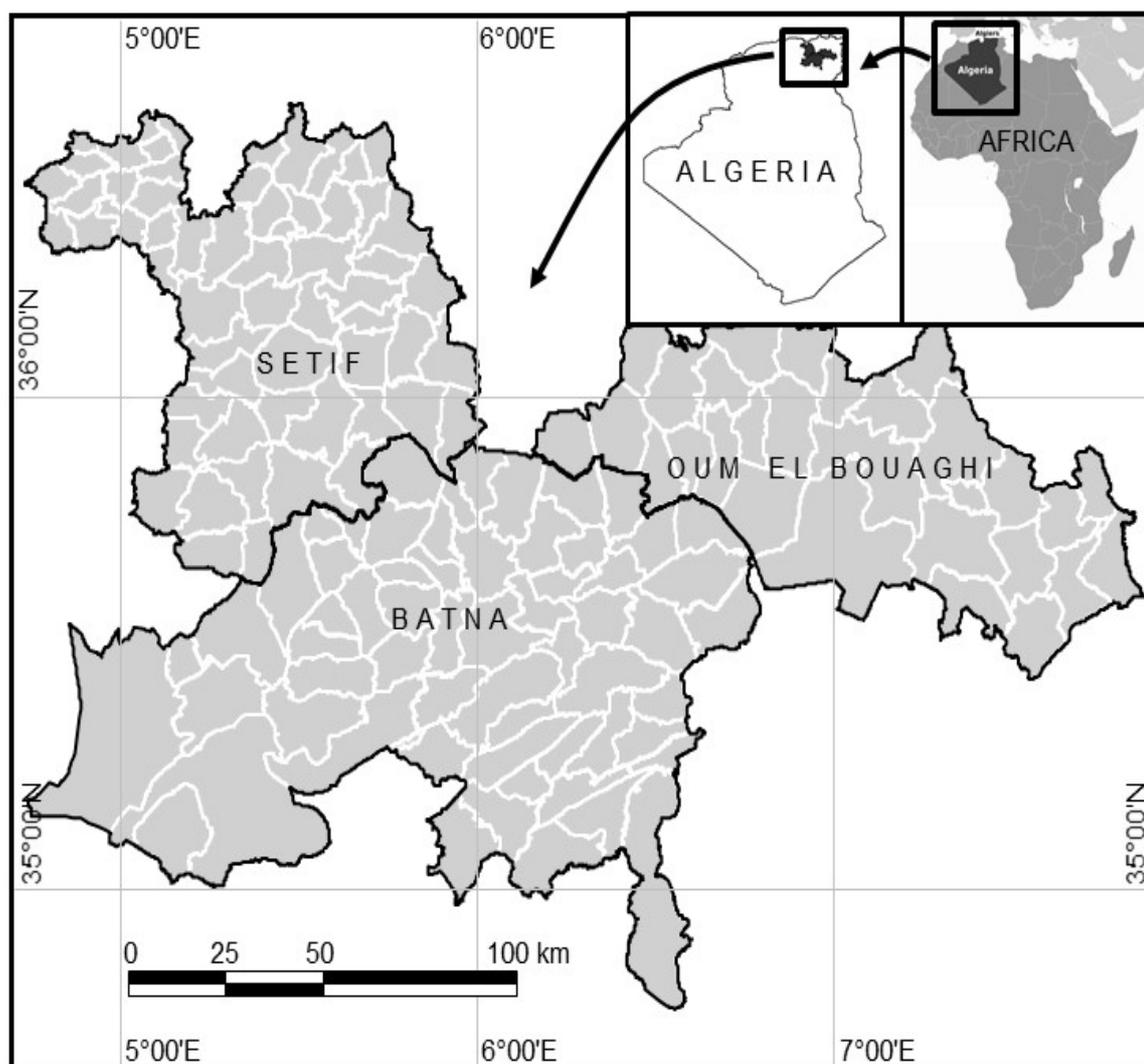


Figure I.1 : Situation géographique des sites d'étude

➤ **Région de Sétif**

Du point de vue géographique, la wilaya de Sétif est localisée dans l'Est algérien dans les Hauts-Plateaux. Elle est limitée : au Nord par les wilayas de Bejaia et Jijel, à l'Est par la wilaya de Mila, au Sud par les wilayas de Batna et M'Sila et à l'Ouest par la wilaya de Bordj Bou Arréridj. Elle occupe une superficie de 6.549,64 km² et comporte 60 communes réparties selon 20 Dairas.

La plaine de Sétif s'articule sur la chaîne montagneuse des Bibanes les massifs de Megriss et Babors au Nord. Les monts du Hodna au sud. À l'Est, elle est limitée par les monts du constantinois.

Les hautes plaines Sétifiennes appartiennent à la chaîne Alpine qui constitue les reliefs de toute l'Algérie septentrionale (Vila, 1980). Ces plaines sont de vastes étendues aplanies ou nivelées autour d'une altitude moyenne de 940 mètres. Les cartes géologiques (Vila, 1980) montrent une bonne distribution de la litho morphologie et la tectonique de la région d'étude. Les terrains quaternaires sont très hétérogènes et on y trouve du sable, des limons, des cailloutis et surtout des argiles. Parmi ces terrains, se trouvent les Chotts et sebkhas, où sont associées les formes classiques de l'endoréisme. Ces terrains sont représentés par l'ensemble allochtone Sud Sétifien, qui est formé par une série de massifs calcaires relevant de l'Eocène calcaire qui affleure à Oum Laadjoul, Djebel Tafourar, et Djebel Aghmarouel ; du Dogger calcaire qui affleure à Djebel Tafourar et enfin du Trias où il s'agit de dépôts lagunaires, riches en gypse, en halite et en argiles varicolores, qu'on rencontre à Djebel Garsa (Boudoukha, 1988). Le territoire de la wilaya de Sétif est composé par des glacis et des glacis terrasses généralement encroutés. Selon l'axe Ouest Est de la wilaya se localise des reliques d'anciennes terrasses alluviales et dépressions salines. Le sillon tellien et les formations para-autochtone s'étendent entre la petite kabylie au nord jusqu'aux monts du Hodna au sud. Il forme la zone tellienne proprement dite. Ces formations sont post triasiques notamment marneux calcaires et dolomitiques. Les argiles sont plus fréquentes dans la partie Nord de la wilaya, le Trias n'affleure que localement dans la partie Sud, il est gypso salifère.

La croute calcaire est très répandue dans le territoire setifien sous forme d'un horizon nodulaire avec une épaisseur de 1 m. Selon IUSS WRB, (1998), la majorité des sols des hautes plaines setifiennes sont des Calcisols qui sont développés sur alluvions colluvions et même sur les marnes. Les sols développés sur alluvions sont plus profonds

comparativement aux autres types des sols et se caractérisent par l'absence de la charge caillouteuse. La majorité de ces sols sont de nature carbonatés (carbonates de calcium surtout) où ils se trouvent sous forme des croutes et dalles calcaires, ces sols ne sont pas pauvre en matière organique où la teneur varié de 1,4 à 2,8 % dans les horizons de surface (O.T.I. 1974; Bechtel, 1975; Lahmar , 1993; BNEDER, 2000; Aliat, 2007). Les sols de la région de Sétif contient un taux d'argile qui varie de 30 à 42 % surtout pour les sols développés sur alluvion ou colluvion, le taux de limon varie entre 20 et 45% et le taux de calcaire total varie de 15 à 45% en revanche le calcaire actif peut atteindre jusqu'au 20%.

Sur le plan agronomique les sols des hautes plaines setifiennes posent un ensemble des contraintes vis-à-vis de développement des cultures surtout en ce qui concerne la partie racinaire. La diminution de la longueur de système racinaire est due principalement à la présence d'une accumulation calcaire proche de la surface du sol où l'horizon de surface (35 à 45 cm) est un horizon limoneux très calcaire ce qui rend les semelles de labour très fréquentes. Cette structure empêche le bon enracinement de certaines cultures surtout les céréales.

En ce qui concerne les ressources en eau, la région de Sétif se résumant les eaux superficielles en un apport du barrage d'Ain Zada, deux petits barrages et douze retenues collinaires, dont la quantité mobilisée s'élève à plus de 29 millions m³. Les ressources sont alimentées par un réseau d'oueds dont les principaux sont: Oued Boussellam dans la partie Nord et Nord-ouest, oued Dehamcha et Oued Menaà dans la partie Nord-est et Oued Ftissa et Ben Dhiab dans la partie Sud de la région. L'agriculture mobilise aussi des ressources souterraines sous forme de puits et de forages dont les quantités dépassent 93 millions de m³ (D.H.A, 2011).

L'agriculture setifienne occupe près de 72 % de la surface totale de la wilaya. La superficie agricole utile (S.A.U) avec 361.363 hectares représente 55.17% de la superficie globale de la wilaya (**Tableau I.3**). La jachère s'étend sur 127641,49 ha soit 35,32 % de la SAU totale, Les prairies naturelles occupent 1932,5 ha, l'arboriculture 49769,81 ha, les parcours 57399,63 ha et les terres improductives 94 884,62 ha (DSA, 2010).

La céréaliculture constitue la principale activité agricole dans la wilaya. Elle occupe 48 % des terres cultivées avec presque 40000 exploitations agricoles. Le blé dur est la principale céréale cultivée dans les hautes plaines Sétifiennes puis l'orge avec un

pourcentage de 29,39 %, le blé tendre occupe 12,22% et en dernière classe l'avoine avec un pourcentage de 3,32 % (Figure I.2) (DSA, 2010).

Tableau I.3 : La répartition des terres dans la wilaya de Sétif (DSA, 2010).

Répartition des Terres			Superficies en hectares
Surface Agricole Utile (S.A.U)	Terres labourables (ha)	Culture herbacée	206029,22
		Jachère	127641,49
	Terre des cultures permanentes	Prairies naturelles	1932,5
		Vignobles	49,81
		(En masse) plantation d'arbres fruitiers	25710,3
		Arbres fruitiers (En Isolés) Equiv.(ha (non Inclus dans la SAU	24009,7
Total S.A.U			361363,32
Dont S.A.U irriguée			26147,71
Pacage et parcours			57399,63
Terres improductives des exploitations			41 084,38
Total des terres utilisées par l'agriculture			459 847,33
Superficie forestière			100 232,00
Terres improductives non affectées à l'agriculture			94 884,62
Superficie total de la wilaya			654 963,95

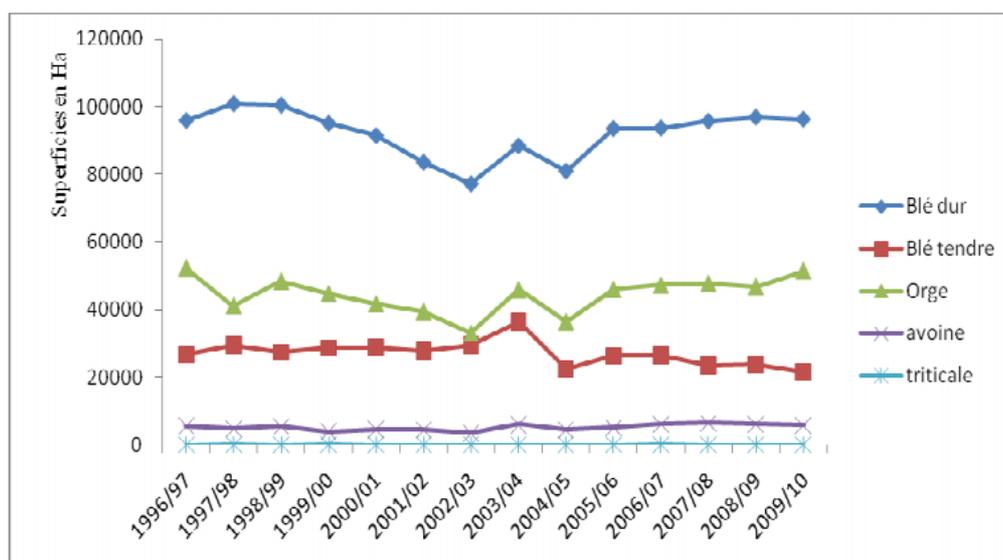


Figure I.2 : Évolution des superficies emblavées en céréales d'hiver de 1996-2010

(DSA setif, 2010)

➤ **Région d'Oum El Bouaghi**

La wilaya d'Oum El Bouaghi est située au nord Est de l'Algérie dans la partie des hautes plaines telliennes avec une superficie totale de 7130 km².

Elle est située entre les coordonnées géographiques 35°.24 et 35°.14 pour la latitude nord et 5°.59 et 7°56 pour la longitude Est. La wilaya forme un grand ensemble tendu d'Est en Ouest entre deux chaînes montagneuses du Tell au Nord et les Aurès au Sud.

La wilaya est située au contact du Tell et des Aurès. Au nord de la wilaya, on distingue les versants méridionaux du Tell. Au centre, la haute plaine, l'altitude varie de 700 mètres à 900 mètres et parsemée de petits massifs montagneux isolés qui se dressent au-dessus comme le djebel Sidi Rgheiss (1 635 mètres d'altitude), le djebel Rherour (1 273 mètres, djebel Amama 1 337 mètres), ceux-ci forment la partie est de l'Aurès. Au sud, elle est jalonnée par des dépressions endoréiques (Garet) ou Sebkha (lac salé). Les Garets sont moins salées que les Sebkhas. Le point culminant de la wilaya est le Djebel Guerioum, 1 729 mètres d'altitude près d'Aïn m'lila. La majorité des oueds sont endoréiques ; ils coulent en direction des lacs salés et non vers la mer Méditerranée, sauf Oued Settara et les affluents du Rummel.

Les sols des sebkhas occupent une superficie assez importante 54040 ha. Ces sols sont régulièrement inondés et ne contiennent aucune végétation sauf quelques plantes halophytes sur leur bordure. On trouve aussi des croutes calcaires massives sur des vastes espaces dans les zones de la wilaya avec une superficie de 51335 ha, ces croutes ou formations sont faciles à détecter par rapport aux formations précédentes. En conclusion, les formations calcaires dans la région d'Oum el Bouaghi sont fragmentées par l'érosion sous une forme feuilletée, leur localisation reste attachée avec le substratum calcaire et calcaro-marno (BNEDER, 1997).

Les terres arables dans cette région sont des formations avec pentes qui forment les alluvions anciennes plates où à faible pente avec une superficie de 159400 ha, ces sols sont à base de limons sombre (sols brun ou marrons) ce qui favorise la croissance des végétaux et donne les bons rendements. Ces alluvions anciennes occupent les vastes plaines de la partie sud de la wilaya. À côté de ces formations, on rencontre aussi les formations mio-pliocènes qui caractérisent la partie ouest de la région d'Oum el Bouaghi, les grès, les marnes et les calcaires gréseux caractérisent surtout la partie nord de la wilaya.

La superficie agricole de la wilaya d'Oum el Bouaghi est de 511800 ha soit 72% de sa superficie totale. La superficie agricole utile (SAU) couvre une superficie de 511000 ha dont 506000 ha en sec avec un pourcentage de 99% où les cultures dominantes sont les céréales associées à la jachère avec un pourcentage de 19% de la SAU.

Les terres en irriguée occupent une superficie de 5000 ha (1%). Ce pourcentage reste très faibles comparativement aux potentialités hydrique et édaphiques de la wilaya.

Les terres labourables occupent une superficie de 380000 ha avec un pourcentage de 74% de la surface agricole utile, elles sont réparties en deux groupes :

- Les terres cultivées avec un pourcentage de 44% de la SAU (223000 ha)
- Les terres en repos ou en jachère occupent une superficie de 157000 ha soit 31% de la SAU.

D'après le tableau ci-dessous la diminution de la superficie des céréales est due principalement aux imprévus climatiques et le non-respect de l'itinéraire technique par les agriculteurs de la région d'étude. La situation agricole de la wilaya d'Oum el Bouaghi montre une dominance de système de production assolement biennal avec une dominance de la monoculture céréale-jachère où la jachère est fortement représentée 63%. Les agriculteurs dans la wilaya d'Oum el Bouaghi pratiquent généralement un seul type d'assolement qui est céréale jachère, la jachère est utilisée toujours pour but d'améliorer la fertilité des sols et de maintenir la céréale qui lui succède.

Ce type d'assolement influence négativement sur le rendement des céréales qui reste faible malgré la pratique des céréales sur de bons sols. Il ne dépasse guère les 5 ou 6 qx/ha alors que vue la potentialité qui existe le rendement peut atteindre 15 à 20 qx/ha.

Tableau I.4 : Terres utilisées par l'agriculture dans la wilaya d'Oum El Bouaghi (superficie en ha) (BNEDER, 1997).

	Terres labourables											Production permanente (p.p)					Terres improductives (T.I)	SAUt	
	Cultures herbacées						Terres en repos					Fourage naturels			Parcours et pacages	Arboric-ultures fruitiere			Totale (P.P)
	Céréales	C.I	leg	CM	F artificiel	total	JN		JT	T	T T.L	prairies	JF	total					
JE							JP												
92/93	127700	1403	-	4064	17714	15000	-	107000	44000	150000	300000	600	-	6	56000	681	57300	73500	420000
93/94	46773	23	131	4549	12660	64000	30	135000	28000	163000	227000	600	30	630	7100	7100	57340	73500	340000
Moy	87237	713	131	4307	15187	107600	30	121000	36000	157000	250000	600	30	630	700	700	57300	73500	380000

Superficie sinistrée (92/93)= 98000 ha

Superficie sinistrée (93/94) = 164000 ha

Superficie sinistrée (moyenne)= 131000 ha

I.2. Le Climat

L'analyse des données pluviométriques récoltées sur une période de 25 ans (1990/2015) (**Figure I.3**), montre que les trois zones étudiées sont caractérisées par une faiblesse et irrégularité pluviométrique bien déterminée d'un mois à un autres.

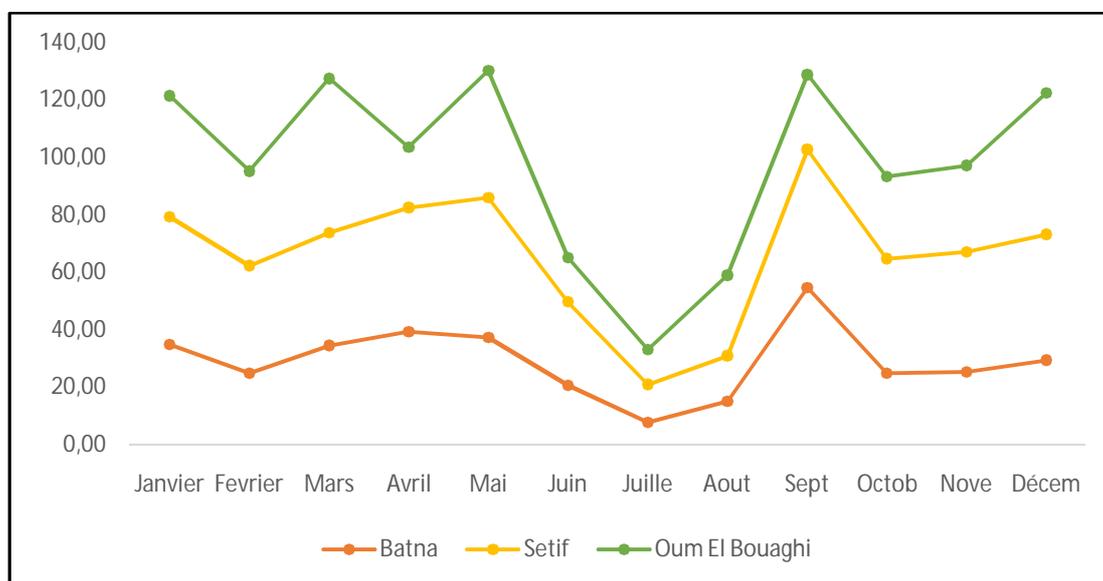


Figure I.3 : La répartition pluviométriques dans les trois zones d'études sur une période de 25 ans (1990/ 2015)

D'après la même figure ; les précipitations moyennes enregistrent un seul mois assez pluvieux c'est le mois de septembre avec une valeur de 53.07 mm, la valeur minimal est enregistrée pendant le mois de juillet avec 8.18 mm.

Le cumul des précipitations durant une période de 25 ans (1990/2015) est de 348.25 mm mais ceci peut vari d'une année à une autre (**Figure I.3**).

La valeur moyenne maximale des précipitations est notée durant l'année 1999 avec un cumul de 765.22 mm ; la plus faible valeur est enregistrée pendant l'année 2012 avec une moyenne de 176mm. En conclusion, et sur une période de 25 ans, on note que le climat actuel (2006-2015) est plus sec que celui de la période de 1990 – 2006.

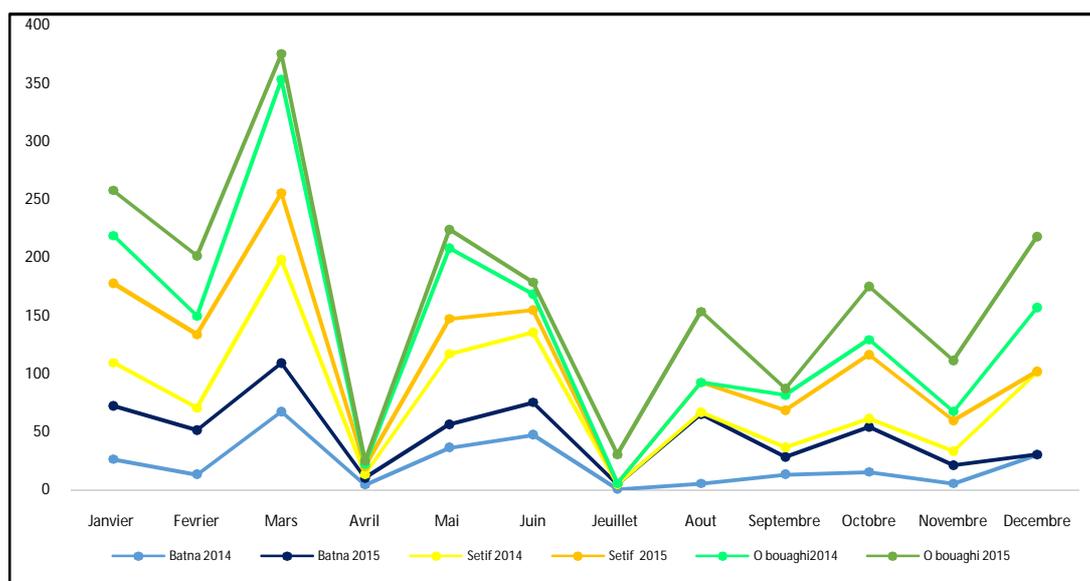
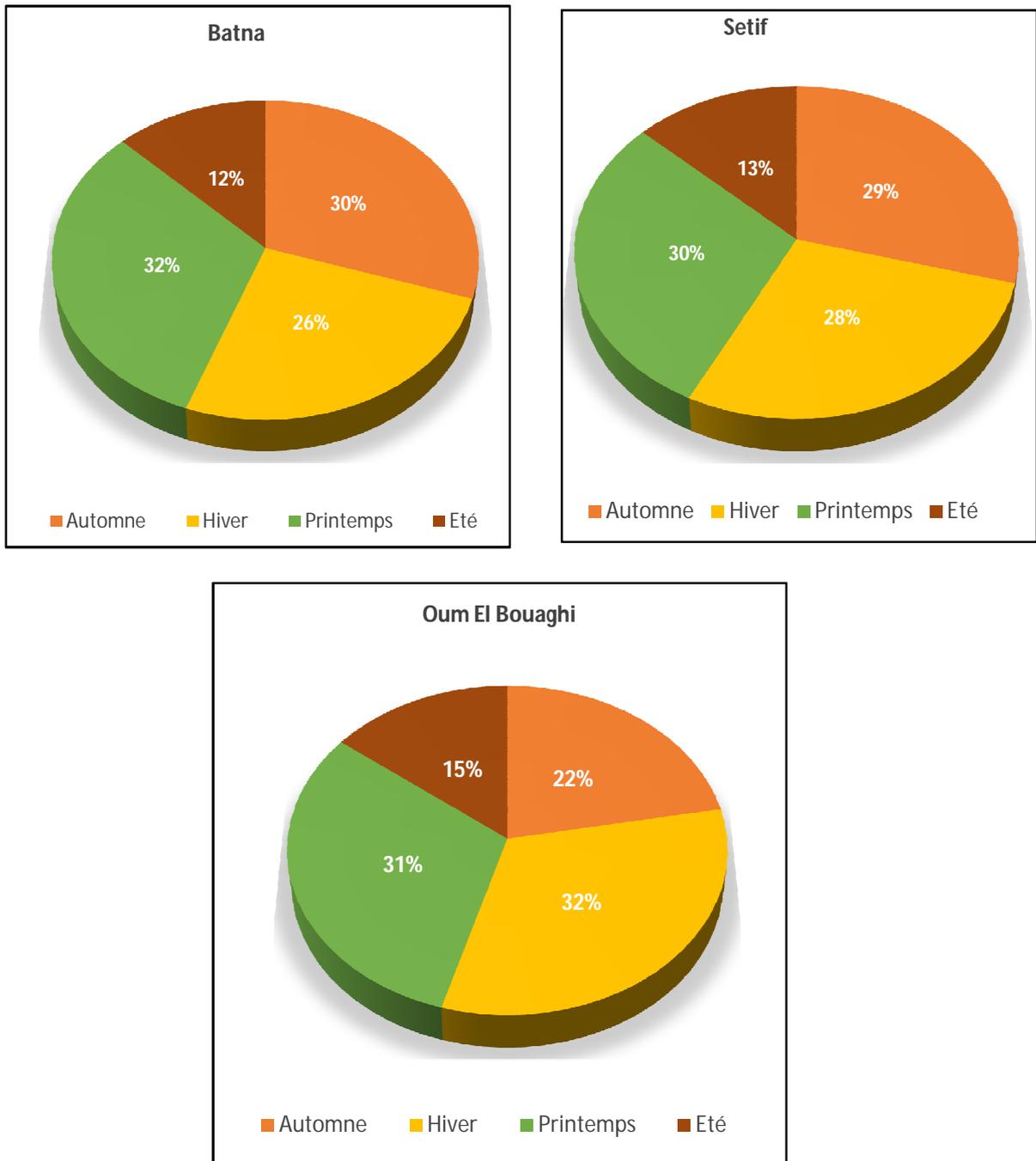


Figure I.4 : La répartition pluviométrique dans les trois zones d'études durant les deux campagnes agricoles 2014 et 2015

Les données climatiques pour les deux campagnes agricoles de notre étude sont présentées dans la figure I.4. On remarque que les plus faibles moyennes pluviométriques sont enregistrées durant le mois de juillet pour les trois sites ; la moyenne maximale est notée pendant le mois de mars.

Pour la relation précipitation végétation c'est la répartition des pluies qui interviennent fortement sur la croissance du végétal plus que sa quantité annuelle. Le climat de l'Est algérien est de type HPAE (Sétif), et PHAE (Batna et Oum El Bouaghi). Le printemps présente pour les céréales la période de pleine activité où l'eau est indispensable pour assurer une bonne croissance et un bon rendement en grain (Figure I.5).

La répartition des pluies durant la période de 1990/2015 confirme que les deux saisons les plus pluvieuses pour les trois sites d'étude sont l'automne et le printemps, c'est le climat qui caractérise la région méditerranéenne.



**Figure I.5 : la répartition pluviométrique par saison sur une période de 25 ans
(1990/ 2015)**

Les observations des données des températures moyennes mensuelles de la région d'étude durant la période de 25 ans, montrent que le mois de juillet c'est le mois le plus chaud de l'année ; alors que le mois de janvier est le mois qui enregistre les moyennes de températures les plus basses pour les trois sites d'étude (**Figure I.6**).

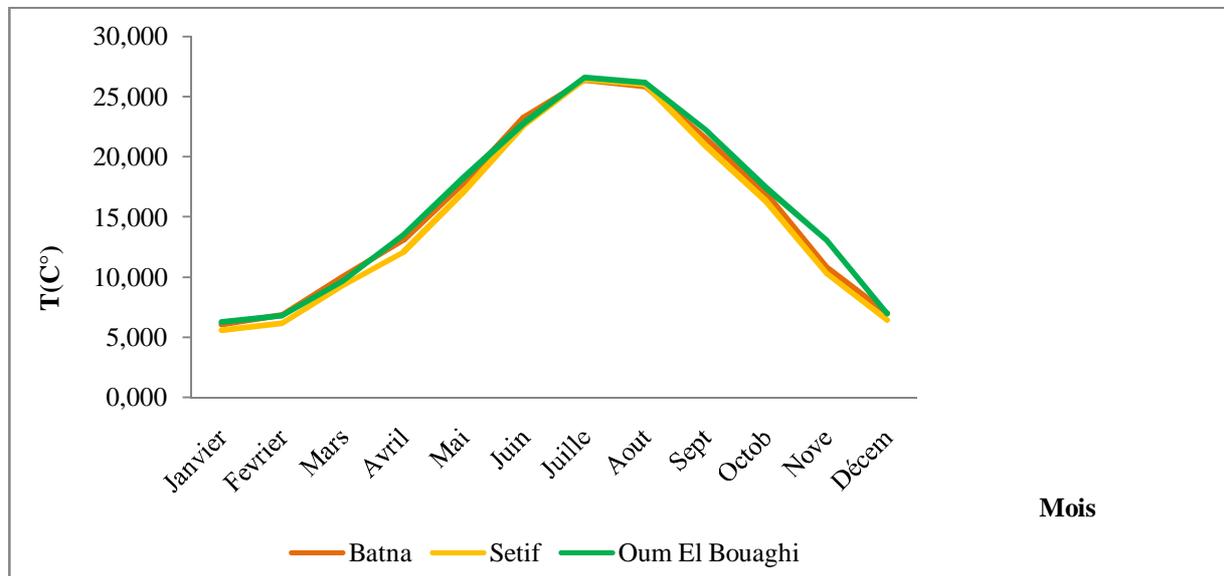


Figure I.6 : La variation des valeurs de température dans les trois zones d'études sur une période de 25 ans (1990/ 2015)

On ce qui concerne les deux campagnes agricoles (2014 et 2015), les données climatiques enregistrées sont présentées dans la **figure I.7**. On constate que, les deux mois les plus chaud sont le mois de juillet et le mois d'août pour les trois sites, par contre la plus faible moyenne mensuelle de température est enregistrée pendant le mois décembre.

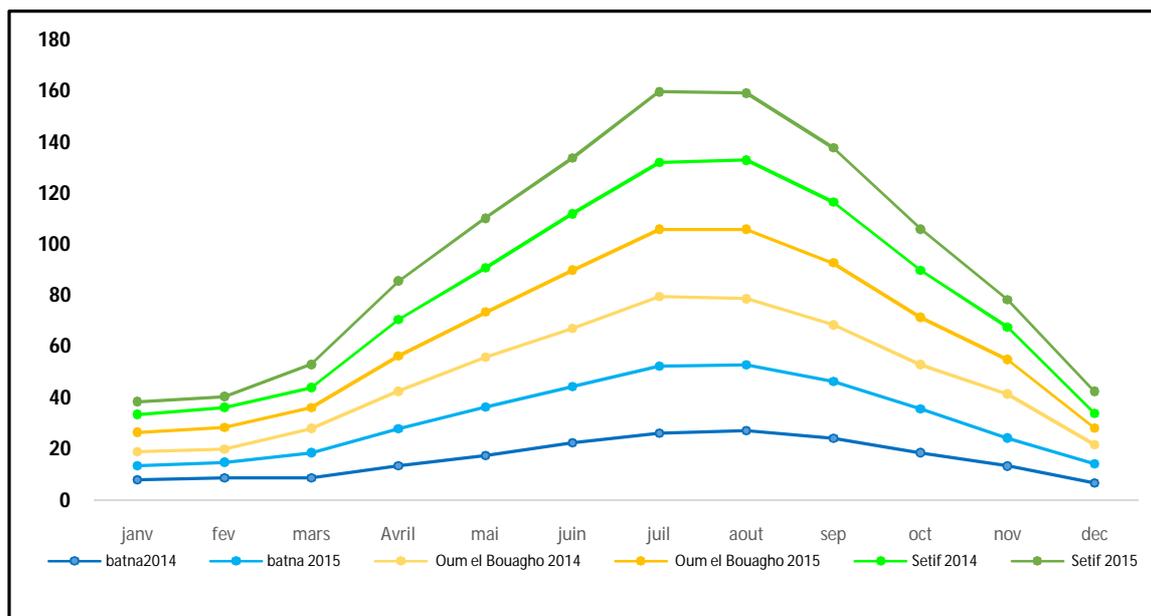


Figure I.7: la variation des valeurs de température dans les trois zones d'études durant les deux campagnes agricoles 2014 et 2015

La plupart des enquêtes sur le terrain ont été effectuées en 2014 et 2015. Pour cette période, les précipitations mensuelles et les températures de l'air sont présentées dans la **figure I.8**. La comparaison entre la moyenne pluviométrique durant la campagne agricole et celle de 25 ans montre qu'il y a une fluctuation dans la répartition pluviométrique au niveau de toute la période qui s'étale de 1990 à 2015.



Figure I.8 : La relation pluviométrie et température durant les deux campagnes agricoles 2014 et 2015

En comparant les précipitations de 2014 et 2015, une différence importante est observée : le mois d'été (juillet, août) en 2014 et 2015 était extrêmement secs. Juin 2014 est le mois le plus humide de l'année, avec une valeur bien supérieure à la moyenne (1990-2015).

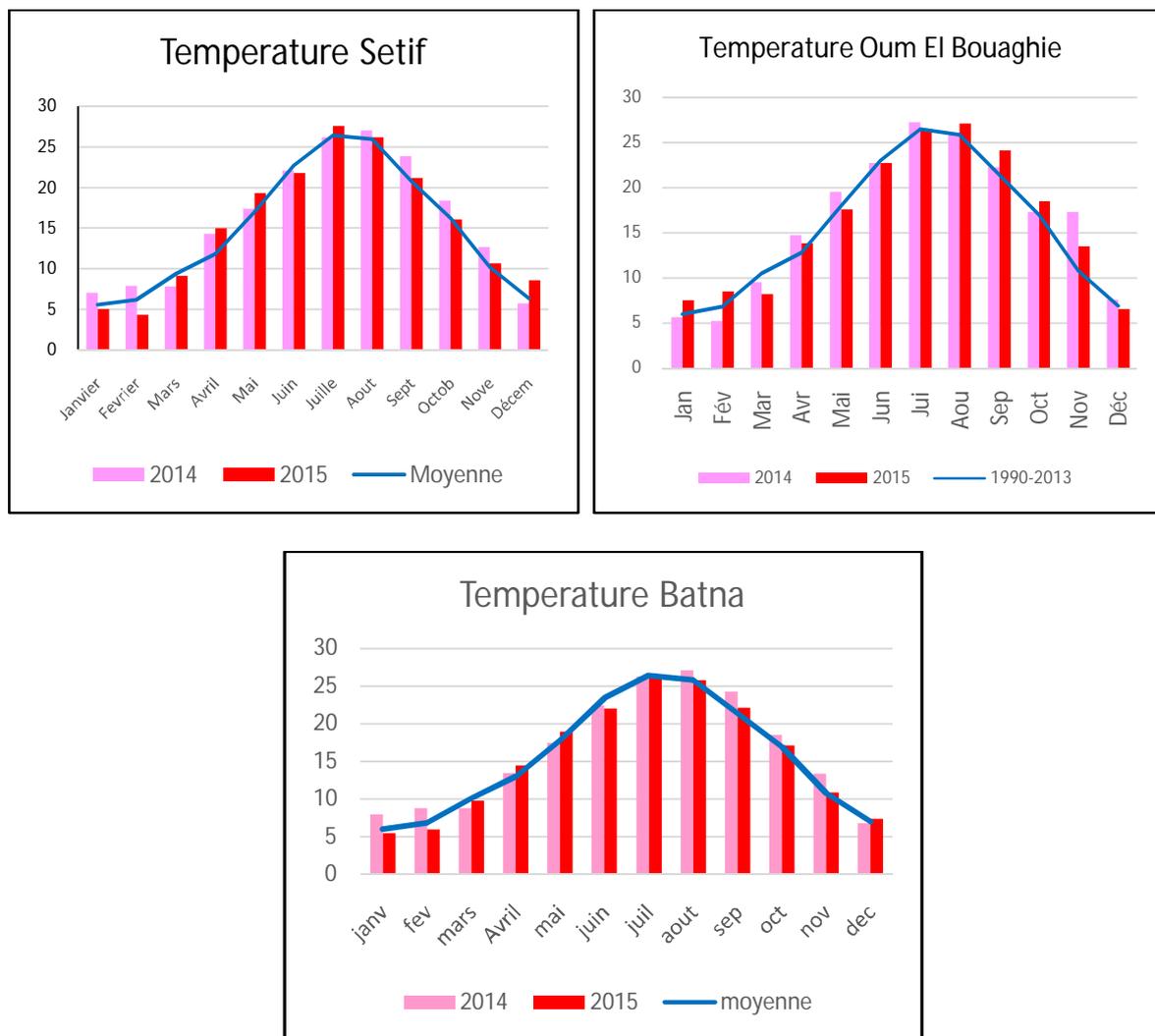


Figure I.9 : La variation des valeurs de température mensuelles des deux années expérimentales 2014 et 2015

Selon les températures mensuelles des deux années expérimentales, il n’y a pas de grands écarts par rapport aux conditions climatiques de longue durée (**Figure I.9**). En 2014, la température moyenne la plus élevée est enregistrée pendant les deux mois d’été (juillet et Aout) pour les trois sites d’étude, alors que pendant le mois de juin, aucune déférence significative n’est enregistrée entre les deux années 2014 et 2015.

Pour classer les différentes stations et déterminer leurs différents étages bioclimatiques, on a eu recours au calcul du quotient pluviothermique Q2 d’Emberger. Notons d’abord que ce quotient, mis au point par Emberger (1955) et amélioré par Daget en 1977, n’est applicable qu’aux climats de type méditerranéen. Le (Q2) est déterminé par la combinaison des 3 principaux facteurs du climat. Il est donné par la formule suivante :

$$Q = 3.43 \frac{P}{(M - m)}$$

Où :

P : Les précipitations annuelles en mm.

M : La température maximale du mois le plus chaud.

m : La température minimale du mois le plus froid.

Après l'application de la formule précédente sur les trois régions d'étude on obtient :

Q Batna = 62

Q Oum El Bouaghi = 63,23

Q Setif = 43.73

Donc, ces valeurs nous permettent de classer la région de **Batna** et **Oum El Bouaghi** dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver tempéré, alors que la région de **Setif** est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (**Figure I.10**)

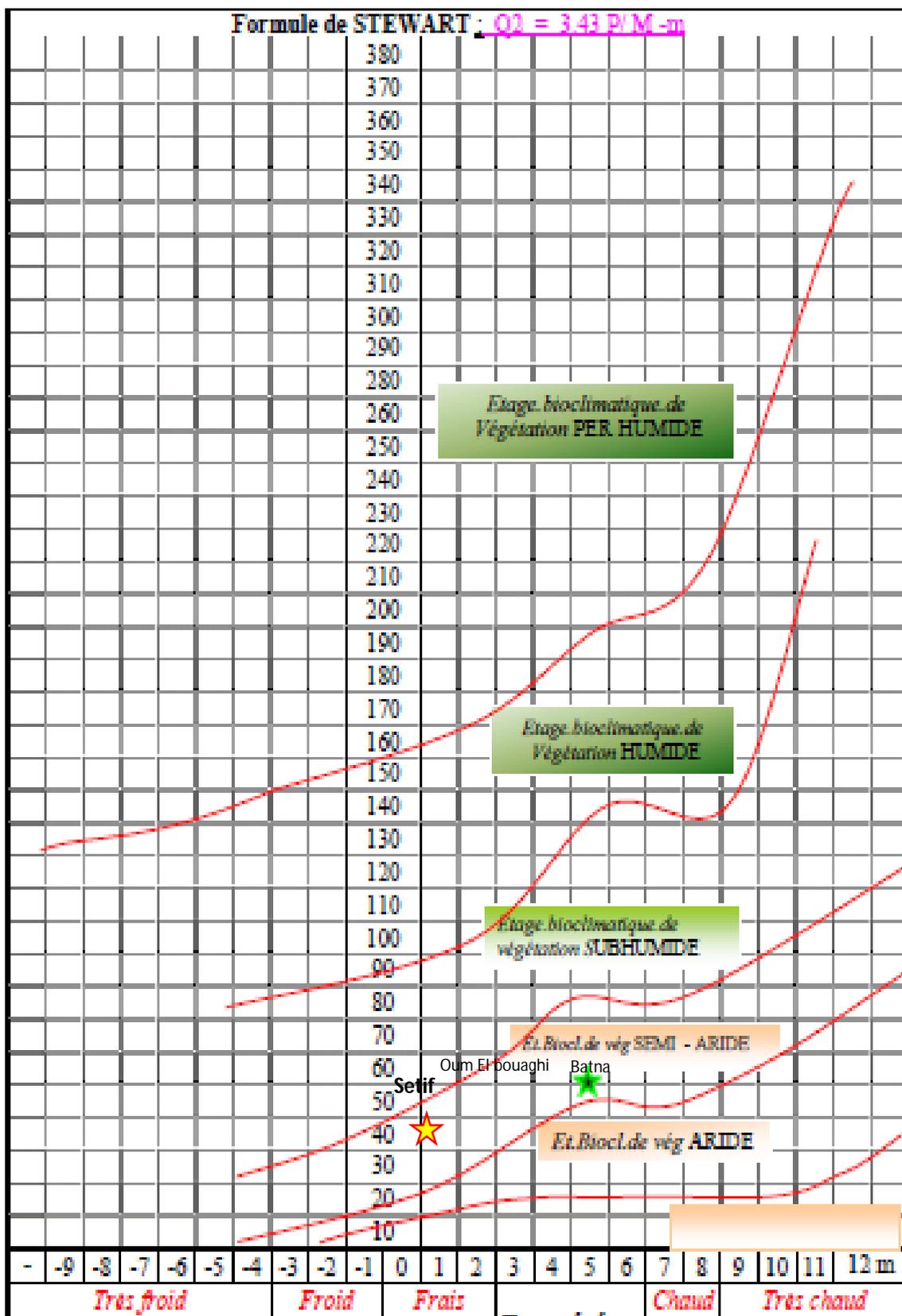


Figure I.10 : Quotient pluviothermique et climagramme d’Emberger de la zone d’étude (Batna, Oum El Bouaghi et Setif).

CHAPITRE II
EFFET DES PRATIQUES
CULTURALES SUR LES
PROPRIETES
DU SOL

CHAPITRE II

EFFET DES PRATIQUES CULTURALES SUR LES PROPRIETES DU SOL

Introduction

La production des céréales en Algérie reste tributaire des facteurs agro-climatiques d'une part et d'autre part des facteurs d'ordre technique tel que la rotation, la fertilisation l'irrigation et le travail du sol.

Dans ce chapitre, après avoir présenté les principales pratiques culturales utilisées en système céréalier, nous aborderons les effets de ces pratiques sur les propriétés et la durabilité du sol.

I. Les principales pratiques culturales utilisées en système céréalier

I.1. Travail du sol

Le travail du sol, selon Detraux et Oestger (1979), regroupe toute façon culturale qui maintient un état structural de la terre favorable à la croissance de la plante, facilite la germination et même l'installation et la croissance des racines. Les mêmes auteurs démontrent que le travail du sol ne s'effectue pas de la même façon selon le type de sol, et on ne prépare pas les sols après les céréales de la même manière que dans le cas d'une légumineuse ou une culture maraîchère.

La préparation du sol consiste à réaliser une ou plusieurs opérations culturales choisies dans un ensemble de techniques. Toutefois, la totalité de ces opérations ne sont pas indispensables, par exemple le labour dans certains cas est éliminé temporairement ou définitivement (labour simplifié : LS ou sans labour SL) et on peut, à l'extrême, planter une culture sans aucune préparation du sol (semis direct). Les décisions quant à l'opportunité de telle ou telle opération, le choix des dates d'intervention ou des outils à utiliser, dépendent d'une série de facteurs dont les principaux sont :

- La nature et l'état physique du sol à préparer,
- Les risques associés au climat,
- Les exigences propres de la culture à planter,

Viaux (1999), résume les types de travail du sol en trois formes essentielles (**tableau**

II.1)

- **Le travail profond (15-30 cm) :** il est basé sur l'utilisation de la charrue ou du chisel, il affecte l'ensemble de la couche travaillée sur une épaisseur de quelques

dizaines de centimètres. Le chisel a l'avantage d'effectuer un travail assez profond sans diluer la matière organique et surtout, en laissant assez de débris en surface pour assurer une protection contre l'action érosive de l'eau et du vent. C'est donc un instrument de premier choix dans le cas des sols légers où il s'avère souvent préférable à la charrue (Kelkouli, 2008).

- **Le travail simplifié (5-10 cm) :** il est pratiqué à la fois pour réduire le nombre de passages des machines (réduire les couts), pour une réduction de l'épaisseur de l'horizon travaillé et pour la protection du sol contre l'érosion. Le travail du sol simplifié développe un sol plus homogène avec une matière organique concentrée en surface sur 5 à 10 cm (Vandergeten et Roisin, 2004).
- **Le semis direct :** Dans le cadre de l'amélioration des techniques agricoles le « non labour », « agriculture sans labour » ou « zéro – labour » sont des synonyme du semis direct qui est un nouveau mode d'exploitation des ressources naturelles. Il consiste à implanter une culture sans travail préalable du sol tout en effectuant une ouverture dans le sol pour déposer la semence à la profondeur souhaitée. Ceci afin d'assurer à la graine les conditions les plus favorable à la germination, la levée et à la croissance pour obtenir des bons rendements (Séguy et *al.*, 2001 ; Ares, 2006 ; Grosclaude et *al.*, 2006 ; Lahmar, 2006 ; FAO, 2007 ; Almaric et *al.*, 2008 ; El Aissaoui et *al.*, 2009 ; Elbrahli, 2009 ; El Brahli et *al.*, 2009 ; Serpantié, 2009).

Tableau II.1 : Différentes possibilités de travail du sol simplifié en grandes cultures (Viaux, 1999)

Type de travail du sol		Profondeur de travail	Résidu de culture	Type d'outils
Profond	Avec retournement et mélange	20- 30 cm	Enfouis	Charrue
	Sans retournement	15- 25 cm	Partiellement enfouis	Outil type chisel
Superficiel	Sans décompactage	5- 10 cm	En surface	Outils classiques
	Avec décompactage	15- 25 cm	En surface	Comme précédemment + outils de décompactage
Non labour	Travail uniquement sur la ligne de semis	0	En surface	Outils de semis direct

En Algérie, la technique du travail du sol classique avec labour a atteint ses limites de développement dans certaines régions. Les terres labourées sont sujettes à l'érosion et à la baisse de fertilité impliquant des dégradations physiques parfois irréversibles (Abdellaoui et al, 2011). Les paramètres relevés de dégradation se démarquent sur les sols labourés par le tassement, la baisse des niveaux de la matière organique des sols, l'érosion et la mauvaise circulation de l'eau (Koller, 2003 ; Lal et al., 2007), suivis du coût énergétique et financier élevés du labour conventionnel (Monnier, 1994).

Le labour joue un rôle important soit au niveau du sol soit au niveau de la production végétale. Hoogmoed et Vlaar (1992) signalent, dans leurs travaux, que le travail du sol influence la structure du sol et provoque un ameublissement et un compactage du sol. En revanche, Klaij (1994) montre que le travail du sol assure la continuité du système spatial des pores et donc assure un bon transport d'air et de gaz et améliore la capacité d'infiltration. Chopart et Nicou (1989), dans leurs travaux, montrent que le travail du sol facilite la croissance des racines par la diminution de la résistance du sol à la pénétration des racines à travers l'amélioration des caractéristiques physiques du sol.

En ce qui concerne le rendement des cultures ; Il existe de nombreux résultats, dont certains déjà très anciens, permettant d'évaluer l'action globale de travail du sol sur le rendement végétal (Charreau et Nicou, 1971; Nicou, 1977; Nicou et al., 1993). Selon Abdellaoui (2011), l'effet du mode de travail du sol sur les composantes de rendement était marqué sur la densité des épis où le peuplement le plus élevé est compté sur les parcelles conduites en non labour, dépassant ainsi de 15% celui du conventionnel.

Les rendements ont varié significativement selon le mode de travail du sol, le mode conventionnel a exprimé le plus haut rendement par rapport aux techniques simplifiées et au semis direct, dans les zones semi arides en années sèches. Les mêmes résultats sont obtenus en Tunisie par M'hedhbi, (1995) et Bouhedjba, (1997). Contrairement, le même essai réalisé dans la région de Sétif sur différentes espèces de céréales a montré que le rendement en grains de non labour, a dépassé celui du conventionnel (Abdellaoui, 2011).

I.2. Le précédent cultural

La mise en place d'une rotation étant reconnue comme nécessaire dans de nombreuses régions, Marquette, (1986), dans ses études, souligne l'importance de la nature du précédent cultural sur la productivité des cultures de la rotation. En effet, la composition de la rotation est un facteur clé du système de production végétale (grandes cultures) pour piloter l'évolution des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol

(Sebillotte, 1990). Les mécanismes impliqués sont ceux liés au fonctionnement des sols, aux cycles biogéochimiques et aux rendements des cultures.

Selon Sebillotte (1991), la jachère est définie comme étant l'état de la terre d'une parcelle entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante.

De guiran et Castellanet (1988) révèlent que la jachère occupe une place importante dans les successions culturales. La jachère est une technique agricole utilisée pour renouveler les propriétés du sol et réserver le maximum d'eau surtout dans les régions où les précipitations sont irrégulières. La jachère consiste à laisser la terre sans culture ou en repos pendant une année ou plus. Elle est utilisée aussi comme une méthode contrôlée pour garder le sol en bon état pour bénéficier de période sans culture.

Elle se caractérise, entre autres, par sa durée, par les techniques culturales qui sont appliquées à la terre et par les rôles qu'elle remplit. D'après Lapeyronie (1982) et klaij (1994), la pratique de la jachère est considérée, depuis longtemps, comme un moyen efficace de gestion du sol surtout dans les régions aride et semi-aride où la mise en jachère contribue surtout à augmenter l'humidité du sol.

Dans les régions méditerranéennes, généralement dépourvues de grands potentiels hydriques, la jachère occupe annuellement de très grandes superficies (Abbas, 2004). En Algérie, la pratique de la jachère a été pratiquée la première fois dans les hautes plaines Sétifiennes en 1850 et la jachère intégrale dans le tell constantinois en 1925 (Laumont, 1952). Dans la période de colonisation, elle commence par un semés de blé puis un labour d'enfouissement léger pour conserver le maximum d'eau (Mazoyer, 1970). Avec le temps, les besoins de l'agriculture coloniale dépasse les besoins de consommation aux besoins de commercialisation pour gagner le plus d'argent, il faudrait alors développer la production agricole ; le labour devient plus profond par la charrue à versoirs, la jachère plus importante et donc le rendement sera plus intense même après dix ans de semés sans jachère (Belaid, 1996 ; Lahmar et Bouzerzour, 2011). La jachère est pratiquée durant 5 mois de la récolte des céréales en Juillet jusqu'au mois de Novembre, période de mise en place de la culture suivante (Hannachi et Fellahi, 2010).

L'amélioration des propriétés du sol par la jachère contribue à la conservation d'une quantité d'eau de 60 mm au niveau du profil cultural pour la culture suivante (Perrier, 1973). Dans les conditions des Hauts Plateaux Sétifiens, sous précédent cultural jachère, la quantité d'eau préservée est plus appréciable comparativement au précédent blé (Chennafi et *al.*, 2011a)

Les méthodes utilisées dans la jachère pour la céréaliculture sont inspirées directement des pratiques développées en Europe après la guerre (Kribaa, 2003) (**tableau II.2**) ; elles sont basées sur :

- Le ramassage des résidus de récolte
- Passage d'une charrue à disque, plus facile d'emploi sur les sols argileux que la charrue à socs ou passage d'une déchaumeuse qui travaille plus vite.
- Passage d'un pulvérisateur à disques afin de niveler le sol et de rompre les mottes de terre pour faciliter la germination.
- En cas des sols tassés, on utilise un scarificateur pour les décompacter.

Laumont et Martin (1952), dans leurs travaux en Algérie, révèle que le rendement obtenu après une jachère travaillée varie de 17 à 21 qx/ha par rapport au rendement de 1.8 à 6.6 qx/ha pour les terres mis en jachère nue après un labour simple d'automne.

Tableau II.2 : Différents types de jachère (Laumont, 1946).

Type		Entretien	Façons	
jachère	Nue	Inculte	Pâturage	Labour unique au moment des semailles
			Récolte de foin ou chaume et pâturage	Idem
			Préparé d'été (après un pâturage ou fauchage)	Labour d'été et façons superficielles
	Nue	Travaillée	Préparé de printemps	Plusieurs labours et façons superficielles avant les semis
			Intégrale	Labour et façons superficielles multiples échelonnées sur 4 à 16 mois
	Cultivée		Production de légumes secs en rangs espacés (8 à 100cm)	Labour après la récolte.

I.3. La fertilisation

L'utilisation des fertilisants organiques et inorganiques dans l'agriculture intensive moderne est primordiale si nous considérons leur contribution fondamentale dans l'augmentation des rendements des différentes cultures dans le monde (Amberger, 1995). Ce développement de l'agriculture entraîne, inmanquablement, l'exportation de quantités importantes des différents éléments nutritifs du sol dont la restitution devient impérative surtout dans les sols des régions arides et semi-arides d'Afrique du Nord (Rahmoune et *al.*, 2001).

En Algérie l'utilisation des engrais n'est pas une application nouvelle ; cependant, les bases de données et les publications se rapportant à la fertilisation d'une manière générale et à l'utilisation des engrais par culture en particulier sont peu disponibles sauf pour les agriculteurs chargés du programme d'intensification. La période 1971-1986 est marquée par une utilisation très régulière des engrais à des stades bien précis parce qu'ils ont été subventionnés et appliqués à des prix très réduits sur des terres appartenant à l'Etat (FAO, 2005 ; INRA, 2009). Selon les données collectées pour la période 1983-91 par Djenane (1992), les engrais les plus utilisés en système céréalier (zone nord et zone sud des hautes plaines Sétifiennes) sont ceux riches en P et N (NPK, Urée et TSP) ; les engrais PK et DAP sont d'usage aléatoire. Pour des raisons de disponibilité sur le marché et d'autres raisons dont le prix, le transport, etc.

Les données statistiques (FAO, 2005) montrent que la consommation d'engrais en Algérie, durant la période de 1987 à 1997, est très fortement chutée. A cause de la disparition des subventions et donc, de la hausse des charges supportées par les exploitations, un « ajustement structurel » a impliqué une redistribution des terres, la libération des marchés et, par conséquent, une augmentation des prix des engrais (Bedrani et *al.*, 2001).

Durant la période 1988-2002, l'application des engrais a baissé suite à une restructuration du secteur agricole qui a influencé sur l'obtention et l'utilisation des engrais (élévation des prix). En 1993, moins d'un kilogramme de blé dur suffisait pour l'achat d'un kilogramme d'azote ou de phosphate, puis deux kilogrammes étaient nécessaires en 1997 et trois kilogramme en 2004 (FAO, 2005). 75% des exploitations céréalières n'appliquant pas d'engrais ce qui a influé sur le rendement national durant la période 2001-2008 (10,5 qx /ha) même en années humides (Bellah et *al.*, 2010). Une reprise de la demande en engrais a été constatée passant pour la campagne 2009/2010 les 393 561 tonnes. La quantité utilisée en Algérie en 2013 n'a pas excédée 15,3 kilogrammes par hectare (Banque mondiale, 2015). Par conséquent, cette quantité reste en deçà des normes d'intensification des cultures et d'amélioration de la productivité.

L'apport des engrais est très important pour l'obtention de bon rendement chez le blé comme chez toutes les plantes cultivées. Les pourcentages de terres fertilisées ne montrent pratiquement que peu de changement pour l'élément P. Par contre, la consommation montre une utilisation meilleure au niveau de l'azote. L'utilisation de la potasse a changé dans la dernière décade, suite à une intensification des cultures

maraîchères et surtout de la pomme de terre et de la tomate industrielle. Malgré les efforts d'intensification, les pourcentages des terres fertilisées restent faibles (Africa Fertilizer, 2012 ; FAO, 2019).

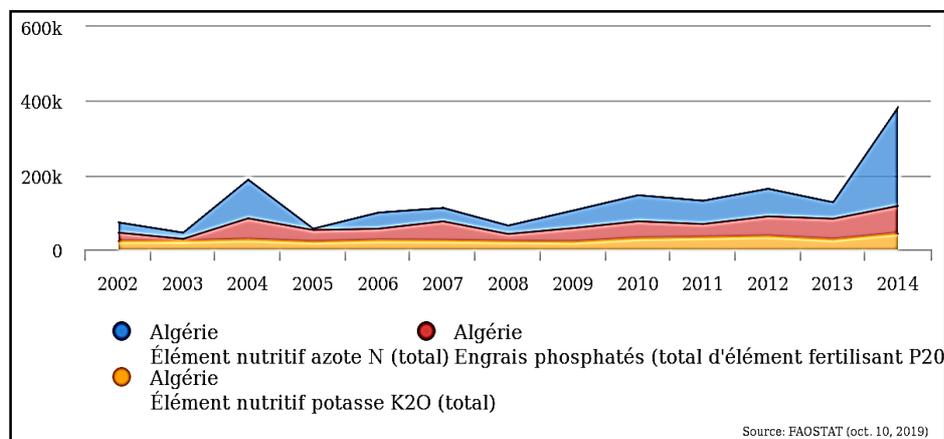


Figure II.1 : Consommation en quantité des éléments fertilisant (FAO, 2019)

Les engrais sont appliqués en l'absence de référentiels techniques, sans la connaissance des sols et sans tenir compte de la conduite de la culture (en sec ou en irrigué). On assiste alors à une utilisation uniforme des différents engrais chimiques. La pratique actuelle de la fertilisation est basée sur des recommandations d'ordre technique issues des travaux d'études et d'expérimentations menées depuis la période 1965- 1975 par un certain nombre d'institutions spécialisées dont l'INRAA, l'ITGC, l'ITAFV (INSID, 2009). Les référentiels, bien que très généraux, mis en œuvre à cette période et encore utilisés à ce jour, ont entraîné une orientation plus quantitative et uniforme que qualitative et économique - des fertilisants minéraux principalement- entraînant d'une part des gaspillages et d'autre part des risques potentiels de pollution des nappes phréatiques. Cette absence d'efficacité dans l'utilisation des engrais, trouve son explication, dans diverses raisons parmi lesquelles on peut citer :

- l'absence de données scientifiques concernant la fertilité des sols, permettant d'établir des formules de fertilisants adaptées ;
- les techniques d'incorporation des fertilisants sont, parfois inadaptées au milieu et aux exigences de la culture ;
- les apports d'engrais azotés sont souvent mal fractionnés selon les besoins réels de la culture à différents stades de la croissance ;

- l'indisponibilité d'engrais facilitant l'établissement d'une fertilisation rationnelle, les apports sont effectués soit par défaut, soit par excès, en raison de l'existence sur le marché d'une gamme assez réduite d'engrais minéraux ;

D'après Toutain (1979), les apports d'azote doivent être fractionnés suivants les stades du cycle végétatifs. Au tallage, l'influence de l'azote se manifeste sur la première composante du rendement ; où il augmentant le nombre de talles par plante (Belaid, 1986). Kouadria (1987) et Djar (1988), trouvent que l'apport de doses croissantes en engrais a une influence sur le degré de tallage où ils sont obtenus à un gain moyen en talle par plante par rapport au témoin sans azote. De plus, l'azote à un effet direct sur la biomasse aérienne où une plante bien alimentée croit rapidement, produit une grande masse végétative de couleur vert foncé due à l'abondance de la chlorophylle (Menad et Ould-Said, 2003). Un manque d'azote durant le tallage entraîne une diminution de celui-ci et aussi une réduction de la croissance des tiges et des feuilles, les plus jeunes étant les plus affectées (Bahloul, 1989).

Au stade montaison, l'azote apporté permet d'émettre des épis, dont le nombre est fortement influencé par la nutrition azotée, par contre un manque d'azote pourrait se traduire par l'apparition d'épis moins fertiles (Bensemra, 1990 ; Soltner, 1999). Durant cette période, le blé peut absorber jusqu'à 3 kg d'azote/ha/jour avec un maximum pendant la phase floraison (Bahloul, 1989).

Lorsque la fertilisation est excédentaire l'azote en surplus peut se trouver sous diverses formes : i) rester sous forme minéral dans le sol, mais il peut aussi ii) être organisé dans la matière organique du sol, iii) être transféré vers l'atmosphère sous forme gazeuse (dénitrification, volatilisation), ou enfin il peut iv) être transféré vers les eaux souterraines sous forme de nitrate (lixiviation).

Le phosphore est la deuxième carence la plus répandue en éléments nutritifs dans les systèmes de cultures céréalières à travers le monde (Balemi et Negisho, 2012 ; Saha et al., 2014). La carence en phosphore limite la croissance, le développement et la reproduction des végétaux (Czanecki et al., 2013). La déficience en phosphore est souvent grave et se manifeste par des symptômes typiques chez les plantes (retard de croissance, coloration vert foncé des feuilles des nécroses foliaires et chute de rendement) (Gutiérrez et Thomas, 1998; Dietz et Heilos, 1990; Prats et al., 1971; Sandaña et Pinochet, 2014).

Pour le blé, la pauvreté des sols en phosphore entraîne une diminution de la biomasse aérienne, en réduisant la surface foliaire où il y aura ensuite une faible demande pour les photo-assimilats au niveau de la partie aérienne, favorisant leur translocation vers les racines qui se développeront d'avantage en quête de phosphore (Amann et Amberger, 1989; Djadjaglo et Richter, 2008; Basirat et al., 2011). Selon Aslam et al., (2000) et Boukhalfa et al., (2015), la disponibilité du phosphore est influencée par différents facteurs, à savoir l'humidité du sol, le taux de matière organique, le taux d'argile, le pH de la solution du sol et le taux de calcaire. Ce dernier a une influence sur le pH du sol qui influe à son tour sur l'assimilation du phosphore.

I.4. Irrigation

Le problème de la sécheresse, la rareté et l'irrégularité des précipitations, ainsi que le souci d'atténuer le déficit hydrique ont abouti à un concept très important dans le monde de l'irrigation appelé l'irrigation complémentaire, ou "l'irrigation d'appoint" (Chamoun, 1999). Plusieurs études ont montré l'intérêt de cette technique d'irrigation pour corriger le déficit hydrique et la possibilité d'améliorer les rendements (Arar, 1992; Benchchlia, 1992; Caliandro et Boari, 1992 et Chamoun, 1999).

L'amélioration de la production du blé a longtemps été le but primordial des scientifiques à travers le monde plus spécialement dans les zones semi-arides. Dans ces zones, le blé est largement cultivé en pluviale. Face à des périodes de pénurie d'eau, à une forte évapotranspiration, au stress thermique et à la courte durée de la période de remplissage des grains, des pertes considérables de rendement ont été enregistrées ; ce qui perturbe l'équilibre de la sécurité alimentaire surtout dans les pays en voie de développement (Aissaoui, 2019).

Lorsque la teneur en eau du sol décroît, soit par évaporation soit par absorption par les racines, l'interface air/eau se rétractera dans l'espace capillaire compris entre les particules du sol (Hopkins, 2003). La répartition des besoins en eau est liée au matériel végétal, au stade végétatif, et aux propriétés du sol. Pour la culture du blé et au cours de son cycle végétatif ses besoins en eau variant de 450 mm à 702 mm (Baldy, 1974 ; Ollier et Poirée, 1981)

Cependant, de nombreux auteurs relèvent que la période du stade de montaison au remplissage du grain est la plus exigeante en eau (Zhang et Oweis, 1999; Zeghida et al., 2004 ; Chennafi et al., 2008b). Ce stade coïncide avec l'avènement du déficit hydrique

lié au déficit d'évaporation en eau de l'air (Madhava Rao et *al.*, 2006 ; Chennafi, 2012a). Le pilotage de l'irrigation doit donc concilier les faibles disponibilités hydriques et les besoins en eau d'une production relativement élevée (Daroui et *al.*, 2010).

En Algérie, les céréales occupent les grands terroirs des hauts plateaux algériens, naturellement déficitaires en ressources hydriques, tributaires du régime pluvial. La partie correspondant à une pluviométrie supérieure à 450 mm/an ne représente que 4.8 millions d'ha, dont presque la moitié, soit 2 millions d'ha sont annuellement non travaillés, en raison du manque de pluie et surtout de sa mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps (Smadhi et *al.*, 2002 ; Hammiche, 1993). Merouche et *al.*, (2014), montrent que la majorité des zones céréalières sont caractérisées par des précipitations annuelles inférieures à 450 mm en moyenne. Elles tombent en grande partie en hiver (hors besoin), De plus, ces régions sont souvent soumises à des risques climatiques tels que les faibles taux d'humidité de l'air, les vents chauds et les températures élevées qui engendrent des pertes dépassant les 50% de la récolte (Bouthiba et *al.*, 2008 ; Merouche et *al.*, 2014). Les céréales sont rarement cultivées sous irrigation complète dans ces régions, juste de petites quantités à des stades critiques pour prévenir l'échec de la culture (Perrier et Salkini, 1987 ; Zella et *al.*, 2015). En année sèche, des surfaces considérables sont déclarées non productives, à cause du stress hydrique qui représente le principal facteur de limitation des niveaux du rendement des cultures céréalières non irriguées (ITGC, 1997).

L'irrigation de complément permet de se prémunir des aléas climatiques, et d'obtenir des rendements relativement stables dans le temps (Baldy, 1986). La valorisation des eaux de pluie par des irrigations de complément est souvent importante, avec des variétés adaptées où le rendement peut augmenter de 12 à 35 qx/ha d'après l'étude effectuée par Baldy (1986).

Bouthiba et *al.*, (2010) montrent que, les variétés de blé répondent à l'irrigation de complément de manière différente d'une année à une autre et d'un environnement à un autre. Le nombre et le moment d'irrigation ont un effet très significatif sur l'élaboration du rendement. En effet, Xue et *al.*, (2003), ont obtenu un gain de rendement compris entre 41 et 46% avec une seule irrigation donnée au stade tallage. Une étude menée dans la région du moyen Chélif, sur quelques variétés de blé en irrigué, a montré qu'une quantité d'irrigation de 100 mm fractionnée au cours de l'épiaison et de la floraison a permis d'améliorer sensiblement l'indice de satisfaction des besoins en eau des cultivars utilisés ou une moyenne de 68% a été enregistré (Merabet et Bouthiba, 2006). L'irrigation donc

permet d'augmenter les surfaces cultivées, d'améliorer les rendements, et surtout, d'intensifier et de stabiliser la production.

Toutefois, l'irrigation non contrôlée provoque une dégradations importantes dans la qualité des sols et des eaux (Lahlou et *al.*, 2002). La présence des sels solubles dans l'eau d'irrigation et le pouvoir évaporateur de l'air dans les zones irriguées conduisent souvent à une dégradation plus rapide par la salinisation des sols et particulièrement en zones arides et semi-arides (Mathieu et Ruellan, 1980 ; Larson et Pierce, 1991 ; Robert, 1992 ; 1996 ; Umali, 1993 ; Badraoui et Merzouk, 1994 ; Farhat, 1995 ; Badraoui et *al.*, 1998a ; 1998b).

II. Matériel et méthodes**II.1. Matériel****II.1.1. Les sites d'échantillonnage**

La zone d'étude est localisé à l'Est Algérien limité par les coordonnées 4° et 7° de longitude Est et 35° et 36° de latitude Nord. Le choix des sites étudiés est effectués d'une manière aléatoire selon l'état du sol (labouré ou non) et l'occupation de la parcelle (céréales ou autres culture).

II.1.2. Prospection de la zone d'étude

Cette étape constitue une phase primordiale avant la prospection sur terrain afin d'acquérir le maximum d'informations utiles sur les caractéristiques du milieu relatif à la zone d'étude.

II.1.3. Echantillonnage du sol sur terrain**II. 1.3.1 Phase de reconnaissance**

Cette phase est essentielle ; elle a pour but de connaître le terrain et ses caractéristiques, de comprendre et d'élaborer la démarche à suivre. Dans cette phase, plusieurs sorties ont été effectuées pour les trois régions (Sétif, Batna et Oum El Bouaghi), ce qui a permis de déterminer et de choisir les parcelles à étudiées.

II. 1.3.2 Phase d'échantillonnage

Des échantillons du sol ont été prélevés chez 74 agriculteurs sur 135 parcelles (**Figures II.2 et II.3**) (350 échantillons avec les répétitions) durant la période d'automne sur deux campagnes agricoles 2013/2014 et 2014/2015. La détermination des unités d'échantillonnage dans chaque parcelle a été effectuée aléatoirement selon la méthode décrite par Pauwels et *al.*, (1992). Ces échantillons sont prélevés avant le labour à une profondeur de 0-30 cm (horizon travaillé). Environ cinq kg de sol ont été prélevés de chaque parcelles.

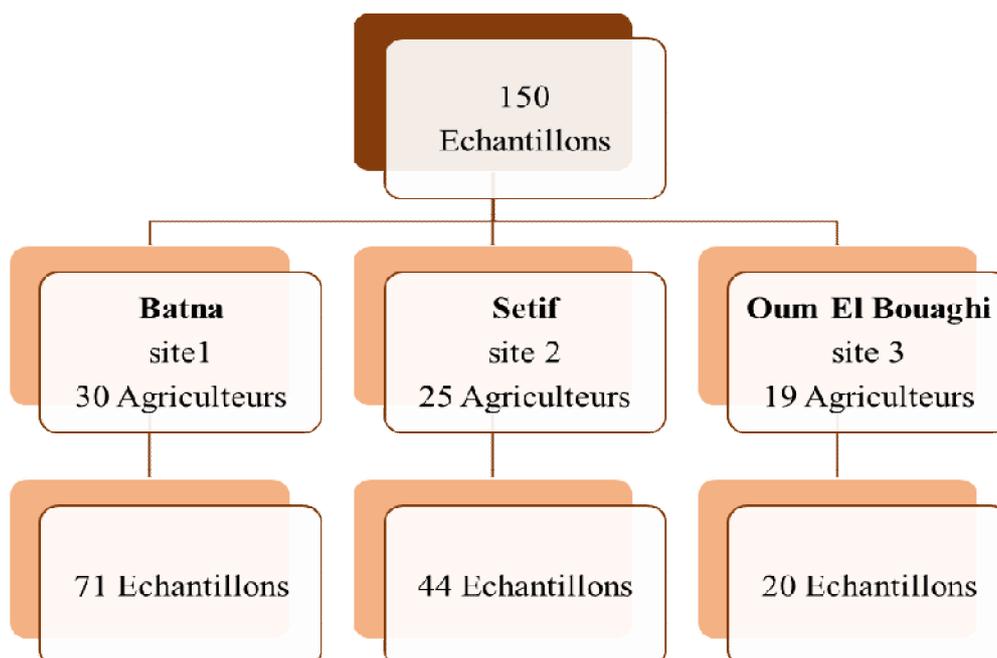


Figure II.2 : La répartition des échantillons prélevés.



Figure II.3 : Quelques parcelles des trois régions d'étude

Ces échantillons ont été séchés à l'aire libre, broyé manuellement et tamisés à travers un tamis de 2 mm et conservés dans des boîtes hermétiquement fermées dans le laboratoire de pédologie au département des sciences agronomiques université de Batna (**figure II. 4**). Les analyses physico-chimiques ont été effectuées aux :

- Laboratoires de science du sol du Département d'Agronomie et au laboratoire de recherche LAPAPEZA de l'Université Hadj Lakhdar (Batna1)
- Laboratoire des analyses des eaux et des sols du Bureau National d'Études pour le Développement Rural (BNEDER) Alger.
- Laboratoires Agronomique et Technique FERTIAL ANNABA

II.2. Analyse du sol

II.2.1. Analyses physiques

II.2.1.1. Texture du sol.

Tout d'abord, la matière organique du sol a été détruite par H_2O_2 . La méthode de la pipette Robinson (Klute, 1986) a été utilisée pour analyser la distribution granulométrique du sol. Sur la base de la loi de Stokes, les différentes tailles de particules ont été minutieusement collectées et mesurées à des intervalles de temps réguliers.

La fraction de sable (0,05-2 mm), de limon (0,002-0,05 mm) et d'argile (<0,002 mm) de l'échantillon de sol a été déterminée et calculée. Le triangle de texture USDA / Sol Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998) a été utilisé pour déterminer les classes texturales des sols.

II.2.1.2. La densité apparente du sol (D_a)

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol. Elle est, en effet, liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol (Chauvel, 1977). Elle a été calculée en poids de sol séché à 105 ° C en utilisant la méthode du cylindre calibré (Yoro et Godo, 1990).

II.2.1.3. Densité des particules réelle du sol (D_r)

Elle a été déterminée par un pycnomètre. La fraction de sol (<2 mm) a été séchée à l'étuve et un ballon pycnométrique de 50 ml a été utilisé pour analyser la densité réelle du sol (Petard, 1993).

II.2.1.4. Porosité du sol

Le pourcentage de porosité ou de volume total des pores a été déduit et calculé à partir de la densité apparente (D_a) et sa densité réelle (D_r).

II.2.1.5. La stabilité des agrégats

La stabilité des agrégats a été mesurée sur des échantillons de sol séchés à l'air en utilisant la méthode Henin ou test de stabilité structurale (Henin et al., 1958 et 1959).

II.2.1.6. Calcaire total

Il est déterminé au calcimètre Bernard (Bernard, 1892). Cela consiste à décomposer les carbonates du sol (essentiellement CaCO_3) par l'acide chlorhydrique (HCl : 6N) et à mesurer le volume de CO_2 dégagé selon la réaction suivante :



Ce volume de CO_2 dégagé est comparé au volume dégagé par une quantité connue de CaCO_3 pur.

II.2.1.7. Le calcaire actif

Sa détermination est réalisée selon la méthode Drouineau et Galet (Callot et Dupuis, 1980), qui utilise l'oxalate d'ammonium pour complexer le calcium sous forme d'oxalate de calcium insoluble. L'excès d'oxalate d'ammonium est dosé par le permanganate de potassium en milieu sulfurique.

II.2.2. Analyses chimiques**II.2.2.1. pH Eau**

La mesure du pH a été réalisée par la méthode électro-métrique à l'aide d'un pH mètre à électrode, sur une suspension de terre fine avec un rapport sol /eau 1/2,5 (USSL, 1954).

II.2.2.2. Conductivité électrique (C.E)

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre, selon un rapport sol /eau (1/5) (USSL, 1954). Elle est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ et rapportée à la température de 25° .

II.2.2.3 Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Olsen (1954), (Olsen et al., 1954)

II.2.2.4. Bases échangeables (Ca, Mg, Na et K) ont été déterminées par la méthode à l'acétate d'ammonium 1 M à pH 7 (Thomas, 1983 ; Baize, 2000).

II.2.2.5. La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée avec la méthode d'acétate d'ammonium à pH=7 dite Méthode Metson (Thomas, 1983 ; Baize, 2000).

II.2.2.6. Matière organique : Le dosage du Carbone organique est réalisé par la méthode Anne (Anne, 1945). La matière organique est obtenue par la formule suivante :

$$M O\% = C\% \times 1,72.$$

II.2.2.7. L'Azote disponible dans le sol, a été mesuré par la méthode de Kjeldhal avec distillation (Bremner, 1965).

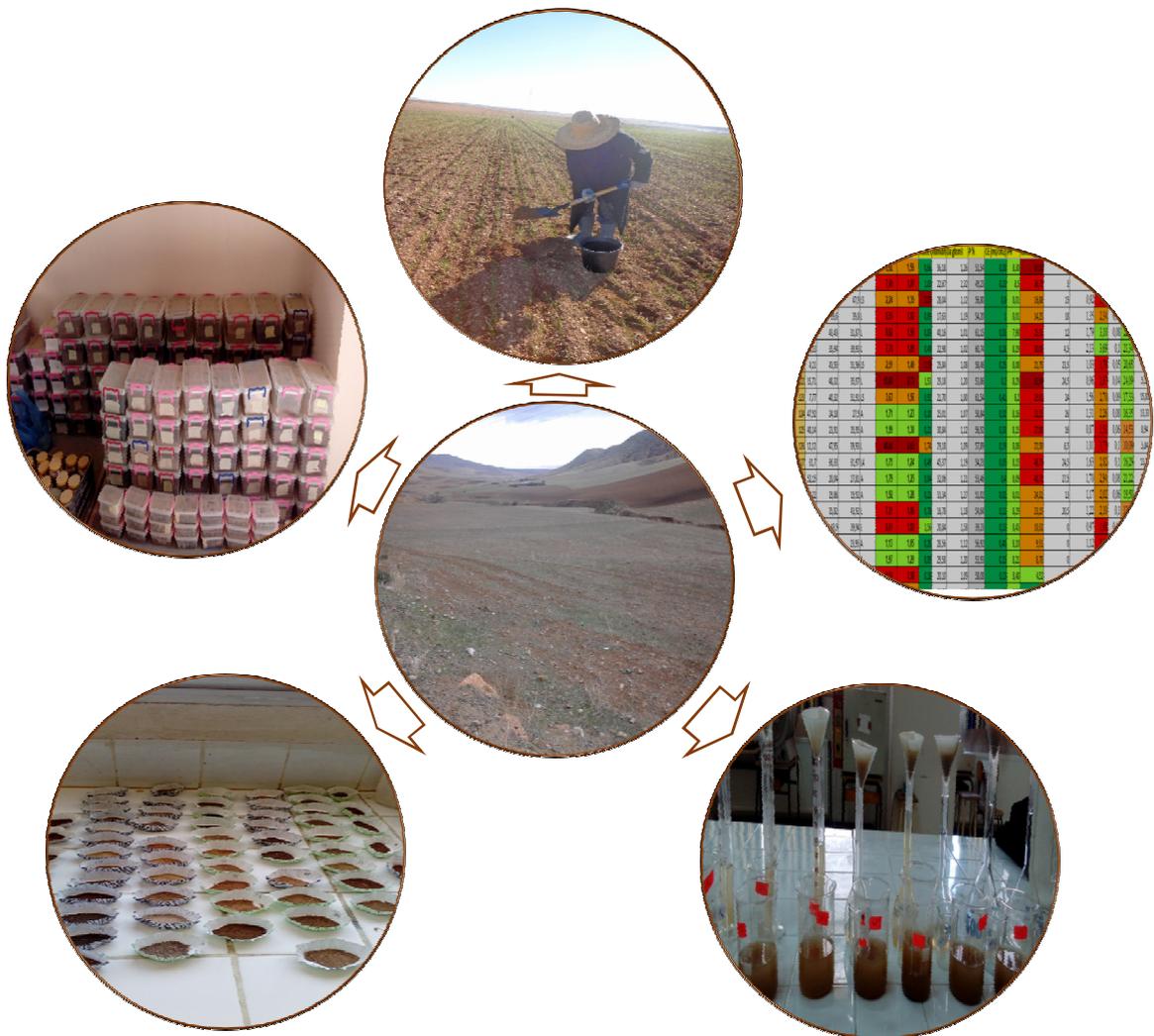


Figure II.4 : les étapes de travail (prélèvement, conservation, pesé, analyses, traitement)

II.2.3. Analyses statistiques

Les données collectées, à partir des mesures des analyses des différentes propriétés physiques et chimiques des sols étudiés dans les trois zones d'études, ont été analysées statistiquement à l'aide du logiciel xlstat (Version 2016.02.28451). La méthode d'analyse multi-variée correspond à une série d'analyses successives:

- Les différences entre les moyennes ont été comparées en utilisant l'analyse des correspondances multiples (ACM) qui permet selon Alain Baccini, (2010), d'analyser la liaison entre deux variables qualitatives. Dans son principe, l'A.C.M. est une A.F.C. particulière. La façon d'interpréter les résultats d'une A.C.M. sera donc analogue à la façon d'interpréter ceux d'une A.F.C. De plus, la présence d'un nombre plus important de variables rend l'interprétation plus délicate. Une bonne maîtrise de l'A.C.M. nécessite donc une grande pratique de cette méthode.
- La méthode d'analyse classique correspond à une analyse de variance (ANOVA) sur l'ensemble des données des 135 échantillons (population totale) pour comparer les différents traitements (*pratiques culturale*). le test de Newman et Keuls a permis de comparer les moyennes au seuil de 5%.
- l'analyse en composantes principales (ACP) est effectuée sur l'ensemble des données des traitements fertilisation et irrigation. Elle permet de générer une matrice de corrélation et de mettre en exergue les variables qui expliquent le mieux paramètres analysés ;
- la classification ascendante hiérarchique (CAH) est réalisée à partir du tableau des coordonnées des observations sur les axes factoriels obtenus de l'ACP. Elle permet de déterminer des sous populations ou classes des paramètres corrélés ;

III. Résultats et discussion

III.1. Effet des précédents culturaux sur les propriétés du sol

III.1.1. Effet des précédents culturaux sur les propriétés physiques du sol

Les zones semi-arides algériennes sont habituellement présentées comme un terroir dominé par les céréales pluviales blé et orge. Le système de culture dans ces régions est basé sur une rotation céréale/jachère (Abbas et Abdelguerfi, 2005). Nos résultats rentrent en conformité avec ces données bibliographiques (**tableau II.3**) et font remarquer que le précédent cultural le plus rependus dans la région d'étude est la rotation céréale /blé avec un pourcentage de 56 %, en deuxième classe on note la rotation jachère /blé avec un pourcentage de plus de 20 % ; par contre le précédent cultural (culture maraichère) enregistre les valeurs les plus faibles.

Tableau II.3 : Statistiques descriptives (Données qualitatives)

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Précédent Cultural	C BD	196	196	56%
	CM BD	33	33	9,429
	J BD	121	121	34,571

Le précédent cultural quel que soit sa nature à une grande influence sur la culture en cours (Combe et Picars, 1990). Selon les mêmes auteurs, les sols qui ont été des prairies puis cultivés en blé sont des sols à texture fine comparativement aux sols qui sont caractérisés par la monoculture. Dans le même sens Aziz et *al.*, (2011), montrent que les rotations culturales peuvent améliorer la structure du sol, réduire l'érosion et augmenter la capacité de rétention d'eau du sol. Dans ce contexte, cette étude a été menée pour déterminer la relation ou l'effet de précédent cultural sur certaines propriétés physiques des parcelles étudiées (**tableau II.4 et II.5**).

D'après la **figure II.6**, on remarque que la majorité des sols étudiés, avec les rotations jachère et culture maraichère et autre céréale, ont une texture fine, alors que les autres textures ne représentent que des pourcentages faibles.

Le test du F de Fischer est utilisé. Étant donné que la probabilité associée au F est dans ce cas inférieure à 0.0001, cela signifie que l'on prend un risque de se tromper de moins de 0.01 %. Le **tableau II.4**, fournit les détails sur l'effet des différents précédents culturaux sur la variation des composantes granulométriques (A, LF, LG, SF et SG). Nous

voyons que la variable explicative (précédent cultural) apporte une information significative pour les deux fractions fines (PA% = 0.003 et PLF%= 0.0244). Le tableau II.5 confirme ces résultats. On note que les cultures maraichères ont un effet significatif sur la repartition de la fraction argileuse dans les sols étudiés. Nous constatons d'après la figure II.5 qu'il existe une différence significative entre le précédent cultural (culture maraichère) et la répartition de l'argile.

Tableau : II.4 : Analyse de la variance des fractions granulométriques du sol.

	Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
A%	Modèle	12	13932,94	1161,078	34,224	< 0,0001
	Erreur	122	4139,00	33,926		
	Total corrigé	134	18071,94			
	pC	3	498,103	166,034	4,894	0,003
LF%	Modèle	12	5988,078	499,006	6,462	< 0,0001
	Erreur	122	9420,529	77,217		
	Total corrigé	134	15408,607			
	pC	3	325,843	108,614	1,407	0,0244
LG%	Modèle	12	467,328	38,944	0,838	0,612
	Erreur	122	5671,987	46,492		
	Total corrigé	134	6139,315			
	pC	3	80,654	26,885	0,578	0,630
SF%	Modèle	12	12547,934	1045,661	10,319	< 0,0001
	Erreur	122	12363,177	101,338		
	Total corrigé	134	24911,111			
	pC	3	834,036	278,012	2,743	0,046
SG%	Modèle	12	254,306	21,192	0,305	0,988
	Erreur	122	8488,777	69,580		
	Total corrigé	134	8743,083			
	pC	3	27,657	9,219	0,132	0,941

Tableau II.5 : Estimation des paramètres du modèle des composantes granulométriques.

	Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
A%	Constante	10,053	1,788	5,622	< 0,0001	6,514	13,593
	pC-C BD	-2,127	2,496	-0,852	0,396	-7,069	2,815
	pC-CM BD	-9,397	2,856	-3,290	0,001	-15,051	-3,743
	pC-J BD	0,000	0,000				
LF %	Constante	16,546	2,698	6,133	< 0,0001	11,206	21,887
	pC-C BD	0,845	3,766	0,224	0,823	-6,611	8,301
	pC-CM BD	-1,449	4,309	-0,336	0,0737	-9,978	7,081
	pC-J BD	0,000	0,000				
LG %	Constante	16,990	2,093	8,117	< 0,0001	12,847	21,134
	pC-C BD	-0,579	2,922	-0,198	0,843	-6,365	5,206
	pC-CM BD	3,293	3,343	0,985	0,327	-3,325	9,912
	pC-J BD	0,000	0,000				
SF%	Constante	44,692	3,090	14,461	< 0,0001	38,574	50,810
	pC-C BD	4,145	4,315	0,961	0,339	-4,396	12,686
	pC-CM BD	1,023	4,936	0,207	0,836	-8,748	10,795
	pC-J BD	0,000	0,000				
SG %	Constante	11,906	2,561	4,649	< 0,0001	6,837	16,976
	pC-C BD	-1,719	3,575	-0,481	0,632	-8,797	5,358
	pC-CM BD	0,530	4,090	0,130	0,897	-7,567	8,627
	pC-J BD	0,000	0,000				

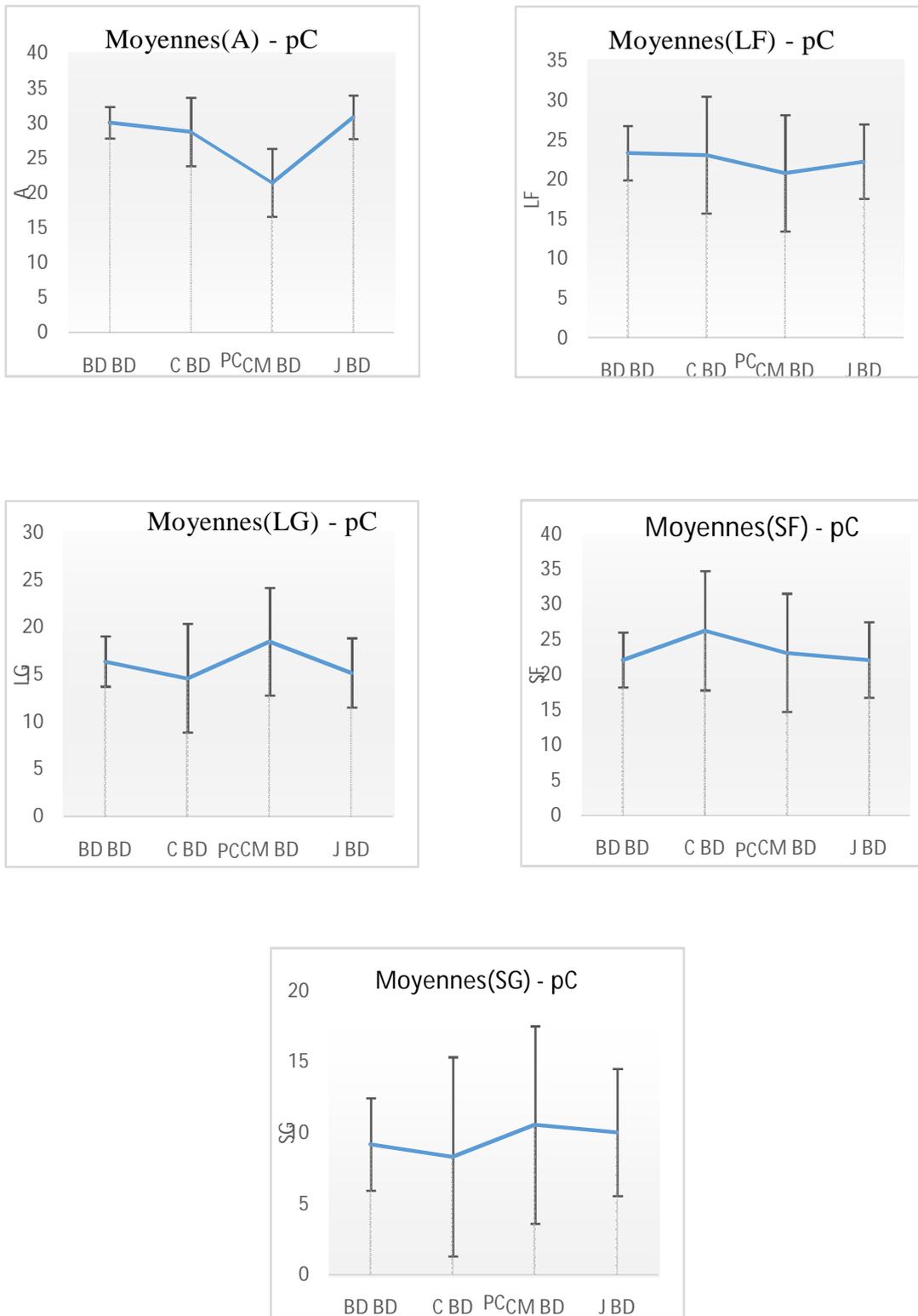


Figure II.5 : Moyennes estimées pour chaque cellule du plan d'analyse. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95%.

La **figure II.6** présente les propriétés des sols étudiés en relation avec le précédent cultural. Les parcelles en rotation blé/ culture maraichère ont une structure plus stable (86%) comparativement aux autres parcelles avec les deux autres précédents culturaux (jachère et céréale). Ces résultats sont significatifs (**tableau II.5**) et indiquent que les cultures maraichères ont une forte contribution dans la stabilité et l'équilibre de la structure des terres agricoles a vocation céréalière par l'enrichissement du sol en éléments chimiques essentiels dans la formation du complexe argilo-humiques (Thibault et Lecompte, 2018).

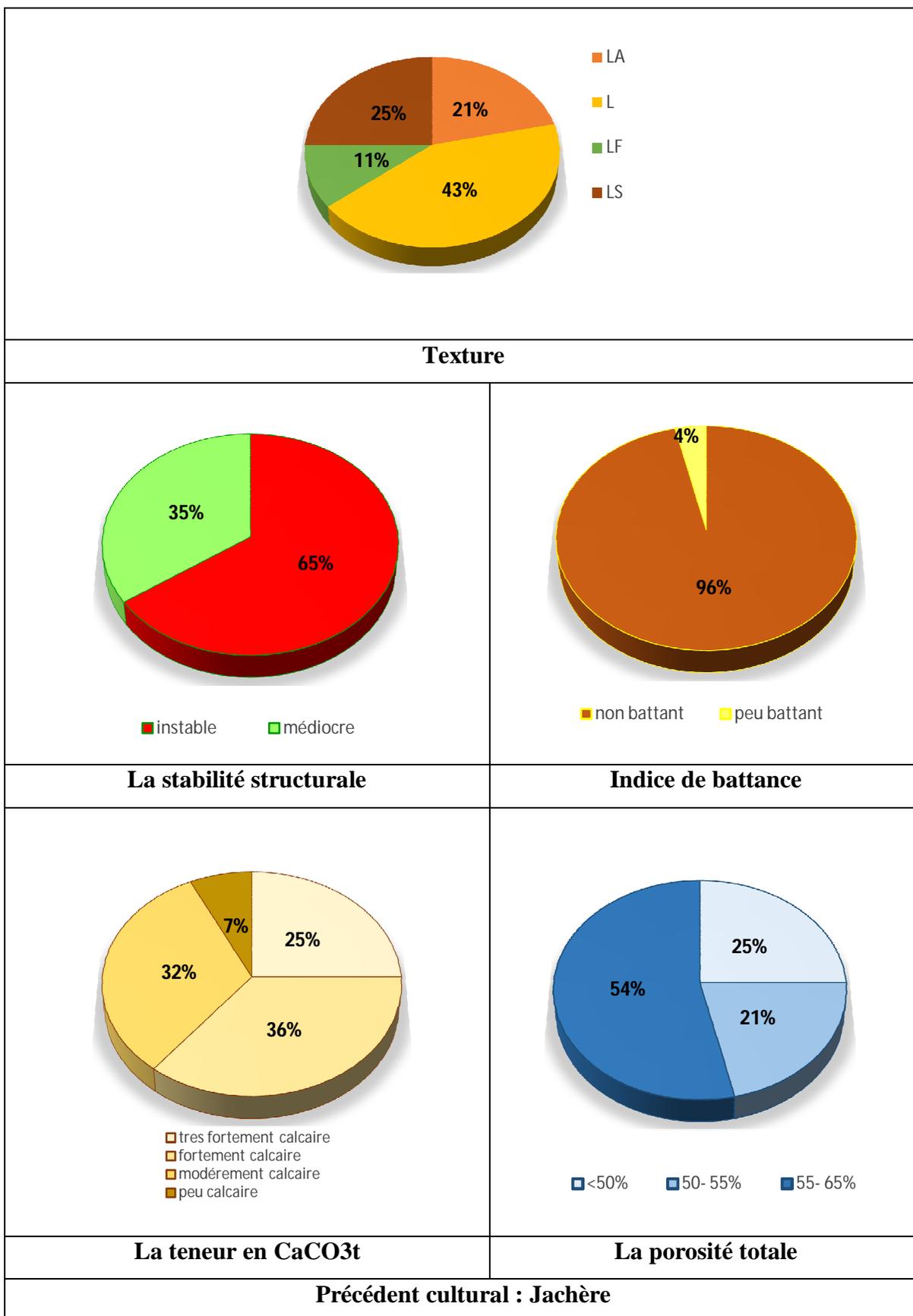
Le précédent cultural influence significativement la porosité du sol dans les parcelles étudiées. La porosité sous l'effet d'une culture maraichère est différente de celles observées sous l'effet des autres précédents culturaux. 100% des sols cultivés en blé après une culture maraichère ont une porosité supérieure à 55%, pour les deux autres précédents culturaux (jachère et céréales) la porosité totale varie de 20% à 65 %.

L'analyse des correspondances multiples et l'analyse de la variance (**tableaux II.6 et II.7**) confirment ces résultats et indiquent que les deux précédents culturaux qui ont un effet sur la variation des différents paramètres physiques étudiés sont les céréales et les cultures maraichères. Stevenson et *al.*, (1994) ; Chenu et *al.*, (2000) ; Alletto et *al.*, (2010) ont montrés que les résidus des cultures sont des indicateurs importants de la stabilisation de la structure du sol.

Les résultats de cette étude indiquent que la majorité des sols étudiés sont des sols non battant quel que soit le précédent cultural adopté ce qui confirme l'effet du précédent cultural sur l'amélioration de la structure du sol. Le tableau de l'analyse des correspondances multiples confirme ces résultats où on remarque qu'aucun précédent cultural n'intervient dans le compactage des sols. La présence de certains sols peu ou très battant pourrait être expliqué par la nature texturale de ces sols là ou sa réaction vis à vis une autre pratique culturale.

Les sols calcaires en Algérie sont localisés préférentiellement dans les zones intérieures du pays. Ils sont dans leur majorité faiblement à fortement calcaires (Djili, 2000), Les résultats obtenus rejoignent ce constat et font remarquer que les sols varient de peu calcaires à très fortement calcaires quel que soit le précédent cultural. Les analyses statistiques indiquent qu'aucune contribution des précédents culturaux n'intervient dans l'augmentation ou la diminution du taux de calcaire dans les sols étudiés.

<p style="text-align: center;"> ■ A ■ LF ■ AS </p>	
Texture	
<p style="text-align: center;"> ■ stable ■ tres instable </p>	<p style="text-align: center;"> ■ non battant ■ peu battant </p>
La stabilité structurale	Indice de battance
<p style="text-align: center;"> ■ tres fortement calcaire ■ fortement calcaire ■ modérément calcaire </p>	<p style="text-align: center;"> ■ 50- 55% </p>
La teneur en CaCO₃t	La porosité totale
Précédent culturel : culture maraichère	



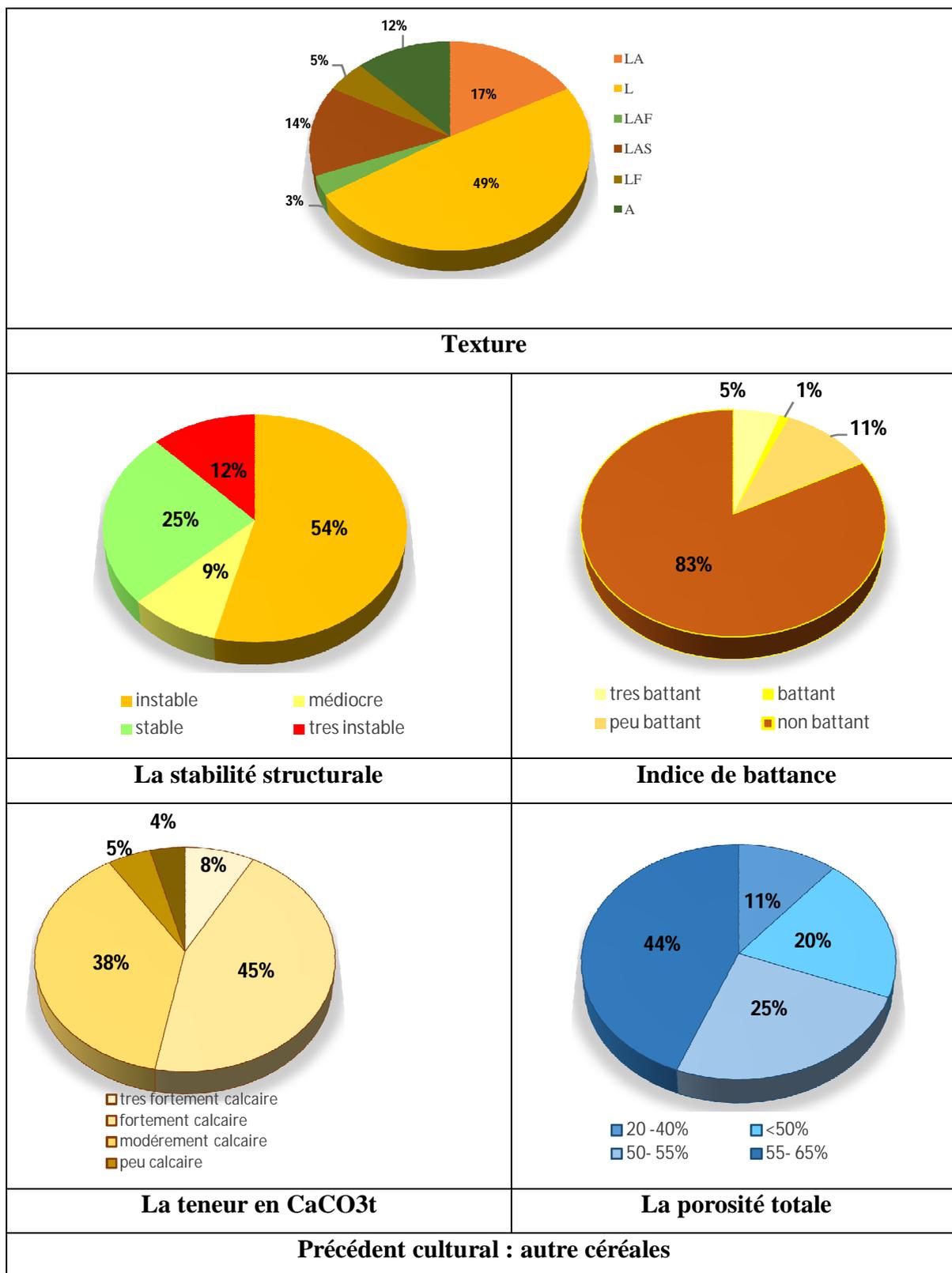


Figure II.6 : Effet des précédents culturaux sur les propriétés physiques des sols.

Tableau II.6 : Paramètres du modèle (cas de la porosité P %)

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (90%)	Borne supérieure (90%)
Constante	0,000					
pC-BD BD	50,338	3,544	14,202	< 0,0001	44,465	56,211
pC-C BD	46,571	9,544	4,880	< 0,0001	30,758	62,385
pC-CM BD	58,562	7,214	8,118	< 0,0001	46,609	70,516
pC-J BD	0,000	0,000				

Tableau II.7 : Contribution des variables dans la définition des facteurs (ACM des paramètres physiques).

	Poids	Poids (relatif)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
C /BD-1	23	0,007	0,002	0,114	0,001	0,034	0,086	0,000	0,004	0,010	0,023	0,107
C /BD-0	112	0,036	0,000	0,023	0,000	0,007	0,018	0,000	0,001	0,002	0,005	0,022
CM BD-0	109	0,035	0,012	0,001	0,032	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001	0,002	0,044
CM BD-1	26	0,008	0,052	0,005	0,135	0,009	0,000	0,001	0,010	0,005	0,009	0,182
J BD-0	49	0,016	0,038	0,080	0,081	0,003	0,038	0,001	0,013	0,000	0,001	0,008
J BD-1	86	0,028	0,022	0,046	0,046	0,002	0,022	0,001	0,007	0,000	0,001	0,004
T argileuse-0	118	0,038	0,010	0,000	0,000	0,015	0,000	0,005	0,005	0,000	0,000	0,026
T argileuse-1	17	0,005	0,069	0,001	0,001	0,107	0,000	0,034	0,035	0,000	0,001	0,178
texture AS-0	134	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
texture AS-1	1	0,000	0,011	0,001	0,020	0,001	0,002	0,032	0,029	0,193	0,051	0,042
T limoneuse-0	74	0,024	0,093	0,000	0,028	0,002	0,005	0,006	0,001	0,000	0,010	0,001
Tlimoneuse-1	61	0,020	0,112	0,000	0,034	0,002	0,006	0,008	0,001	0,000	0,012	0,001
Texture LA-1	26	0,008	0,026	0,065	0,098	0,019	0,011	0,007	0,034	0,002	0,046	0,064
Texture LA-0	109	0,035	0,006	0,015	0,023	0,005	0,003	0,002	0,008	0,001	0,011	0,015
Texture LAS-0	131	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,006	0,002	0,004
Texture LAS-1	4	0,001	0,012	0,001	0,007	0,003	0,001	0,054	0,000	0,212	0,080	0,133
Texture Lf-0	126	0,041	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,011	0,008	0,001	0,006	0,001
Texture Lf-1	9	0,003	0,000	0,001	0,019	0,008	0,048	0,150	0,118	0,010	0,089	0,009
Texture LS-0	118	0,038	0,001	0,018	0,001	0,011	0,003	0,002	0,011	0,002	0,001	0,000
Texture LS-1	17	0,005	0,006	0,126	0,009	0,075	0,018	0,015	0,079	0,011	0,010	0,000
Très instable-0	122	0,039	0,001	0,001	0,007	0,002	0,013	0,014	0,004	0,000	0,002	0,000
Très instable-1	13	0,004	0,005	0,007	0,065	0,017	0,120	0,129	0,034	0,002	0,018	0,003
instable-1	71	0,023	0,110	0,005	0,005	0,000	0,010	0,006	0,004	0,001	0,000	0,001
instable-0	64	0,021	0,122	0,006	0,006	0,001	0,012	0,006	0,004	0,001	0,001	0,002
médiocre-0	117	0,038	0,003	0,008	0,002	0,026	0,001	0,002	0,016	0,000	0,000	0,001
médiocre-1	18	0,006	0,017	0,051	0,012	0,166	0,003	0,012	0,101	0,001	0,001	0,004
stable-0	102	0,033	0,038	0,004	0,011	0,020	0,004	0,012	0,000	0,001	0,000	0,001
stable-1	33	0,011	0,119	0,013	0,035	0,063	0,012	0,038	0,001	0,002	0,001	0,004
porosité 55 à 62-0	68	0,022	0,020	0,078	0,020	0,003	0,023	0,016	0,044	0,014	0,003	0,009
porosité 55 à 62-1	67	0,022	0,020	0,079	0,020	0,003	0,024	0,016	0,045	0,014	0,003	0,010
porosité 46 à 54-0	94	0,030	0,009	0,004	0,022	0,032	0,026	0,005	0,004	0,009	0,002	0,013
porosité 46 à 54-1	41	0,013	0,022	0,009	0,051	0,074	0,060	0,011	0,010	0,021	0,004	0,030
porosité 40 à 46-0	122	0,039	0,001	0,002	0,008	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000	0,001	0,001
porosité 40 à 46-1	13	0,004	0,006	0,018	0,073	0,000	0,003	0,000	0,222	0,005	0,008	0,007
porosité moins de 40-1	14	0,005	0,000	0,102	0,034	0,102	0,001	0,010	0,025	0,003	0,021	0,000
porosité moins de 40-0	121	0,039	0,000	0,012	0,004	0,012	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002	0,000
très fortement calcaire-0	118	0,038	0,000	0,001	0,004	0,011	0,000	0,003	0,006	0,032	0,002	0,005
très fortement calcaire-1	17	0,005	0,000	0,008	0,026	0,079	0,000	0,020	0,043	0,221	0,015	0,034
fortement calcaire-0	77	0,025	0,001	0,003	0,000	0,012	0,090	0,097	0,014	0,004	0,019	0,001
fortement calcaire-1	58	0,019	0,002	0,004	0,000	0,016	0,120	0,129	0,018	0,005	0,025	0,001
modérément calcaire-0	86	0,028	0,005	0,011	0,014	0,006	0,076	0,040	0,000	0,000	0,000	0,008
modérément calcaire-1	49	0,016	0,009	0,020	0,024	0,010	0,134	0,070	0,000	0,001	0,000	0,015
peu calcaire-1	7	0,002	0,000	0,030	0,001	0,034	0,000	0,028	0,000	0,193	0,004	0,008
peu calcaire-0	128	0,041	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,011	0,000	0,000
non calcaire-0	131	0,042	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000
non calcaire-1	4	0,001	0,017	0,023	0,018	0,000	0,003	0,005	0,010	0,000	0,490	0,001

III.1.2. Effet des précédents culturaux sur les propriétés chimiques du sol

L'effet de différents précédents culturaux sur la variation des propriétés chimiques du sol sous l'effet de différents précédents culturaux est représenté par la figure **II.7**.

On remarque que les sols cultivés après une culture maraichère sont moyennement riches en matière organique. Les résidus des cultures maraichères stimulent l'activité minéralisatrice dans ces sols, cette teneur va donc permettre d'augmenter la capacité d'échange cationique. La teneur en phosphore assimilable est assez importante dans ces parcelles, ceci peut être expliqué par des apports irréguliers des engrais.

Les mêmes constatations sont enregistrées pour le cas de la jachère travaillée avant chaque culture de blé. Il a été remarqué que les parcelles sont moyennement pourvues en matière organique avec un rapport C/N acceptable (43% normal et 25% élevé) ce qui explique la présence d'une bonne activité biologique avec une bonne minéralisation de la matière organique (**Figure II.7**). Gnahoua et *al.*, (2008) ont montré que la jachère permet le relèvement de la fertilité des sols par l'accumulation de la matière organique, l'augmentation de l'activité biologique dans le sol ce qui permet sa remontée dans les horizons superficiels sous les cultures. La pratique de la jachère dans une suite d'une culture permet de régler la couche superficielle. Elle rompt les cycles biogéochimiques dans le sol ce qui explique la variation de la courbe de la capacité d'échange cationique par rapport à la matière organique (Calla et Army, 1961).

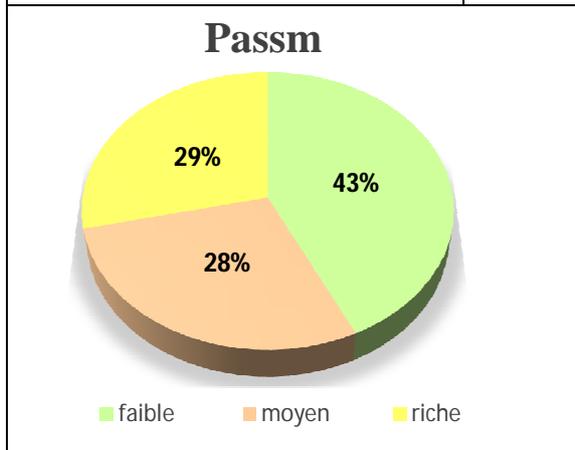
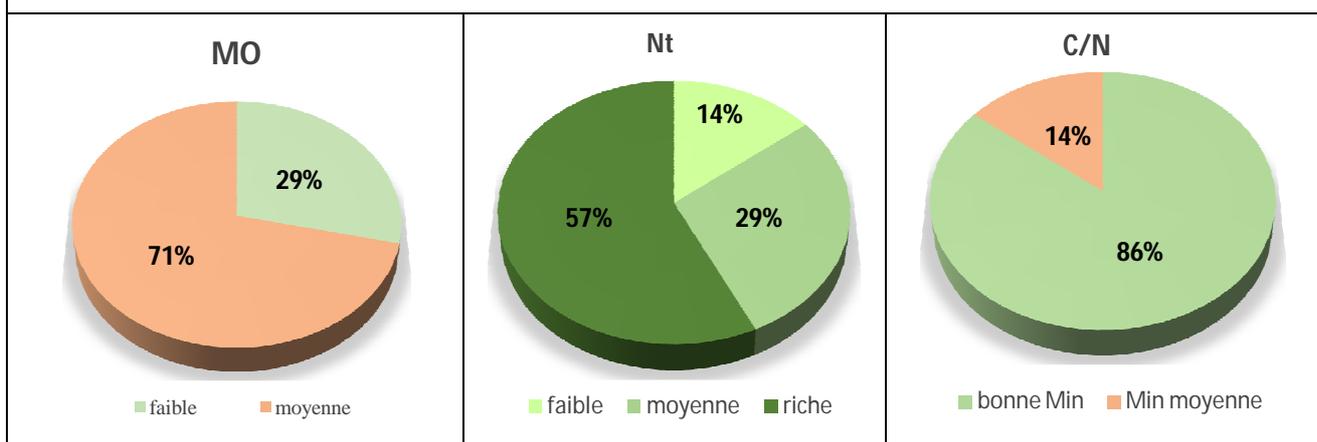
Pour les parcelles soumises à la rotation autre céréale sur blé, les teneurs en matière organique et l'azote total sont acceptables avec un C/N ≈ 10 ceci engendre une diminution remarquable dans l'activité biologique dans ces sols. D'après la même figure, on remarque que le taux de phosphore assimilable dans ces sols est faible comparativement aux deux autres précédents culturaux (jachère et culture maraichère). Ceci se traduit par l'utilisation intensive du phosphore par les céréales (**Figure II.7**).

En ce qui concerne la capacité d'échange cationique, Bockman et *al.*, (1990) ont indiqué qu'un apport de matière organique contribue à l'augmentation de cette capacité dans le cas des sols particulièrement non argileux à faible CEC. Les résultats obtenus sont en accord avec ces études. On note que la capacité d'échange cationique varie faiblement avec les teneurs en matière organique pour la majorité des sols étudiés. Ceci peut être expliqué par l'effet de la monoculture sur l'appauvrissement des sols en éléments chimiques. Dans ce contexte plusieurs auteurs notent qu'il existe une forte dégradation de

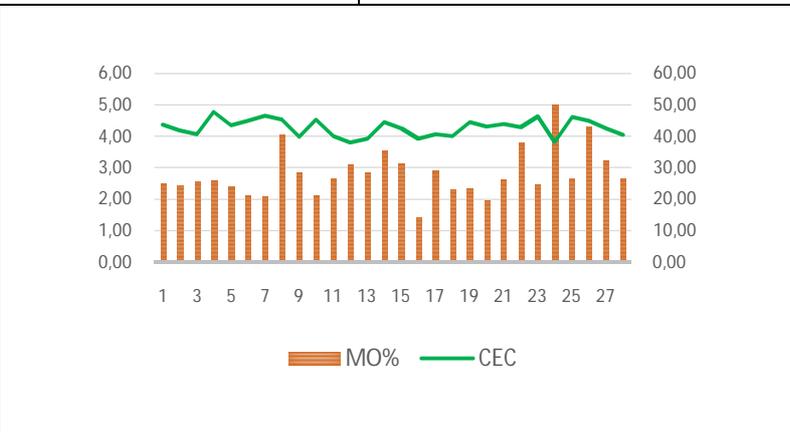
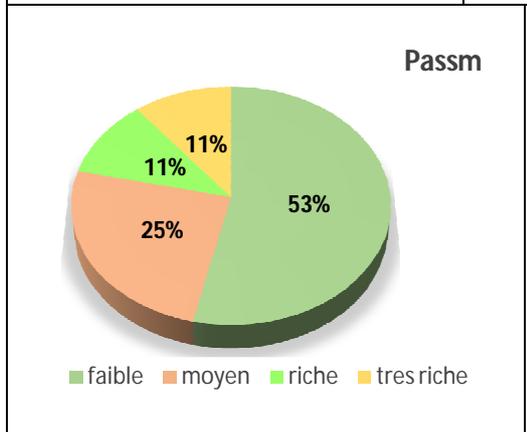
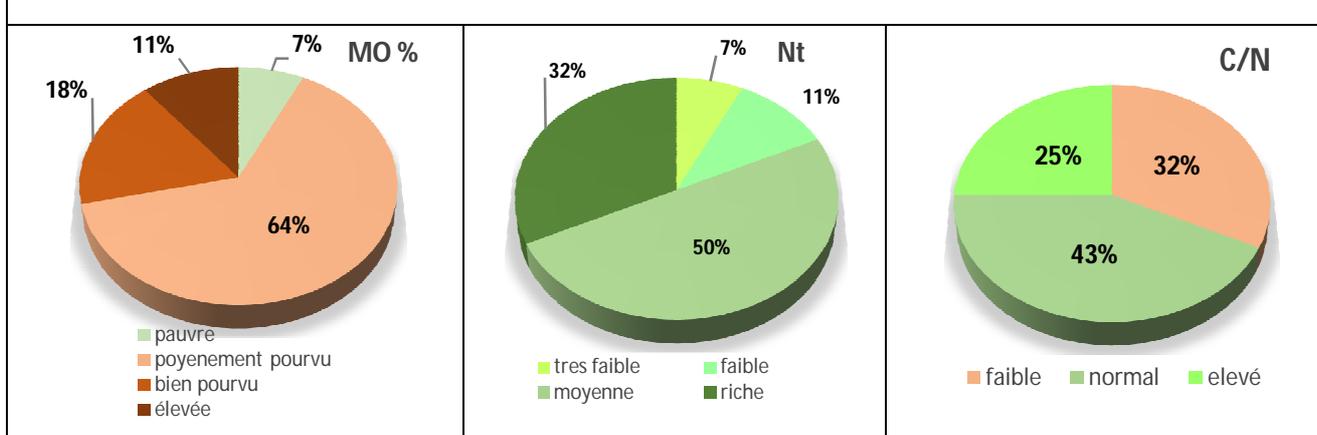
la fertilité du sol suite à une succession d'une même culture (Coulibaly et *al.*, 2012 ; Koulibaly et *al.*, 2017).

L'analyse de la variance confirme les résultats obtenus. En effet, le précédent cultural quel que soit son type à un effet significatif ($P < 0.0001$) sur les propriétés chimiques des sols étudiés surtout la matière organique (**tableau II.8, II.9 et II.10**). Cette réaction positive liée à son rôle important dans la variation de nombreuses propriétés du sol permet de justifier son utilisation comme un des indicateurs de la fertilité du sol (Feller 1995, Mechri et *al.*, 2016)

Précédent culturel : culture maraichère



Précédent culturel : Jachère



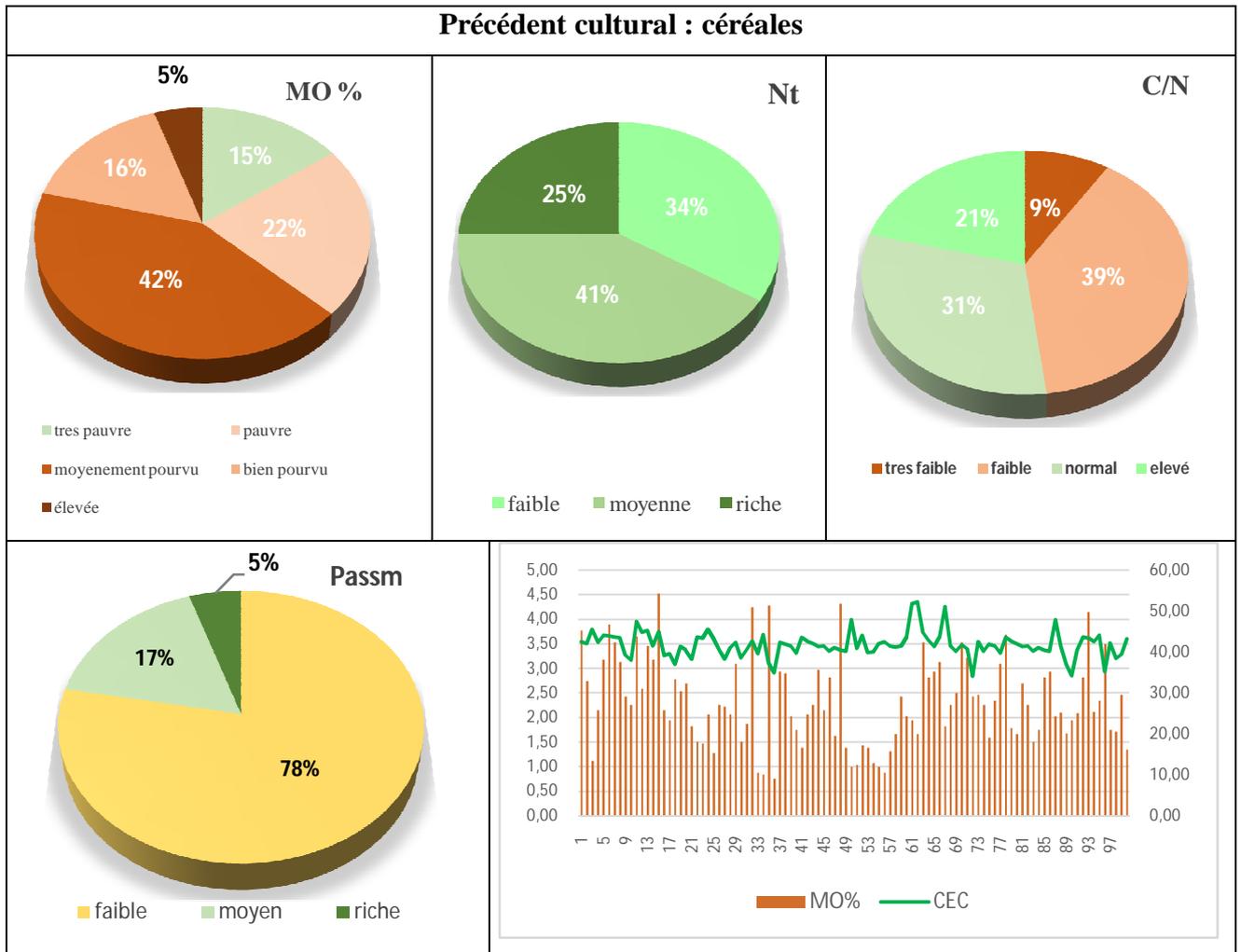


Figure II.7 : Effet des précédents culturaux sur les propriétés chimiques du sol

Tableau II.8 : Analyse de la variance des paramètres chimiques

	Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
MO%	Modèle	2	588,668	294,334	125,375	< 0,0001
	Erreur	133	312,234	2,348		
	Total corrigé	135	900,902			
Nt	Modèle	2	1,929	0,965	132,414	< 0,0001
	Erreur	133	0,969	0,007		
	Total corrigé	135	2,898			
C/N	Modèle	2	13655,528	6827,764	118,559	< 0,0001
	Erreur	133	7659,397	57,589		
	Total corrigé	135	21314,925			
Passm	Modèle	2	63427,720	31713,860	2,236	0,111
	Erreur	133	1886689,674	14185,637		
	Total corrigé	135	1950117,394			
Ca échang	Modèle	2	164024,611	82012,305	248,418	< 0,0001
	Erreur	133	43908,365	330,138		
	Total corrigé	135	207932,976			
Mg échang	Modèle	2	369,335	184,668	74,274	< 0,0001
	Erreur	133	330,676	2,486		
	Total corrigé	135	700,012			
Na échang	Modèle	2	21,805	10,903	32,167	< 0,0001
	Erreur	133	45,079	0,339		
	Total corrigé	135	66,884			
K échang	Modèle	2	9685,011	4842,506	20,410	< 0,0001
	Erreur	133	31555,875	237,262		
	Total corrigé	135	41240,886			
CEC	Modèle	2	172510,071	86255,035	248,807	< 0,0001
	Erreur	133	46107,765	346,675		
	Total corrigé	135	218617,836			

Tableau II.9 : Corrélation entre les différents propriétés chimiques des sols étudiés sous l'effet des différents précédents culturaux (Au-dessous de la diagonale, les valeurs des coefficients de corrélation).

Variables	PC	CE	PH	MO%	Nt	C/N	Pass	Ca éch	Mg éch	Na éch	K éch	CEC
PC	1											
CE	-0,027	1										
PH	0,278	0,183	1									
MO%	0,202	-0,094	0,042	1								
Nt	0,172	-0,049	0,029	0,344	1							
C/N	0,007	-0,054	-0,003	0,514	-0,529	1						
Pass	-0,009	0,041	-0,054	-0,039	-0,042	-0,015	1					
Ca éch	-0,081	-0,163	0,060	0,010	0,021	0,116	0,211	1				
Mg éch	0,140	-0,002	-0,043	-0,074	0,113	-0,256	-0,120	-0,271	1			
Na éch	0,022	0,063	0,050	-0,178	-0,092	-0,109	-0,077	-0,094	0,362	1		
K éch	-0,224	-0,039	-0,102	-0,034	-0,237	0,333	0,211	0,564	-0,498	-0,079	1	
CEC	-0,081	-0,163	0,060	0,010	0,021	0,116	0,211	1,000	-0,271	-0,094	0,564	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

PC : precedent cultural ; CE : conductivité électrique ; MO : matière organique ; Nt : Azote total ; Pass : Phosphore assimilable ; Ca : calcium échangeable ; Na : sodium échangeable ; K : Potassium échangeable ; CEC : Capacité d'échange cationique.

Tableau II.10: Corrélation entre chaque précédent cultural et les différents propriétés chimiques des sols étudiées (Au-dessous de la diagonale, les valeurs des coefficients de corrélation et au-dessus les probabilités de signification).

	pC-C C	pC-CM BD	pC-J BD	CE	PH	MO%	Nt	C/N	P assm	Ca éch	Mg éch	Na éch	K éch	CEC
pC-C C	1	-0,395	-0,865	0,093	-0,309	-0,230	-0,156	-0,023	0,015	0,072	-0,139	-0,055	0,241	-0,048
pC-CM BD	-0,395	1	-0,120	0,114	0,096	0,157	0,129	-0,026	0,006	-0,066	0,081	-0,053	-0,095	0,024
pC-J BD	-0,865	-0,120	1	-0,162	0,282	0,218	0,098	0,039	-0,019	-0,042	0,107	0,089	-0,208	0,065
CE	0,093	0,114	-0,162	1	0,183	-0,094	-0,049	-0,054	0,041	-0,163	-0,002	0,063	-0,039	-0,191
PH	-0,309	0,096	0,282	0,183	1	0,042	0,029	-0,003	-0,054	0,060	-0,043	0,050	-0,102	0,093
MO%	-0,230	0,057	0,218	-0,094	0,042	1	0,344	0,514	-0,039	0,010	-0,074	-0,178	-0,034	0,085
Nt	-0,156	0,129	0,098	-0,049	0,029	0,344	1	-0,529	-0,042	0,021	0,113	-0,092	-0,237	0,160
C/N	-0,023	-0,026	0,039	-0,054	-0,003	0,514	-0,529	1	-0,015	0,116	-0,256	-0,109	0,333	-0,196
P.assm	0,015	0,006	-0,019	0,041	-0,054	-0,039	-0,042	-0,015	1	0,211	-0,120	-0,077	0,211	-0,065
Ca éch	0,072	-0,066	-0,042	-0,163	0,060	0,010	0,021	0,116	0,211	1	-0,271	-0,094	0,564	0,508
Mg éch	-0,139	0,081	0,107	-0,002	-0,043	-0,074	0,113	-0,256	-0,120	-0,271	1	0,362	-0,498	0,358
Na éch	-0,055	-0,053	0,089	0,063	0,050	-0,178	-0,092	-0,109	-0,077	-0,094	0,362	1	-0,079	0,263
K éch	0,241	-0,095	-0,208	-0,039	-0,102	-0,034	-0,237	0,333	0,211	0,564	-0,498	-0,079	1	0,105
CEC	-0,048	0,024	0,065	-0,191	0,093	0,085	0,160	-0,196	-0,065	0,508	0,358	0,263	0,105	1

III.2. Effet de travail du sol sur les propriétés du sol.

III.2.2. Effet de travail du sol sur les propriétés physiques du sol

En Algérie, la céréaliculture repose sur des techniques conventionnelles ce qui provoque une baisse de rendement des céréales (Bouzerzour *et al.*, 2006). Le même auteur signale que l'utilisation de ces techniques, notamment le travail du sol, engendre des phénomènes d'érosions, de la détérioration de la structure des sols et un changement dans certaines propriétés. Dans le même sens Belagouz (2013) signale que les effets liés au travail du sol sont : la réduction de la fertilité du sol, les bas rendements et l'exploitation abusive des ressources naturelles.

La **figure II.8** montre la relation entre le labour et certaines propriétés physiques du sol. L'analyse granulométriques montre que la majorité des sols étudiés ont une texture limoneuse, alors que la texture argileuse n'apparaît que dans 10% de la totalité des sols étudiés. Ces textures donnent une idée sur le comportement des sols vis-à-vis des différentes pratiques culturales notamment le travail du sol (labour profond ou simplifié).

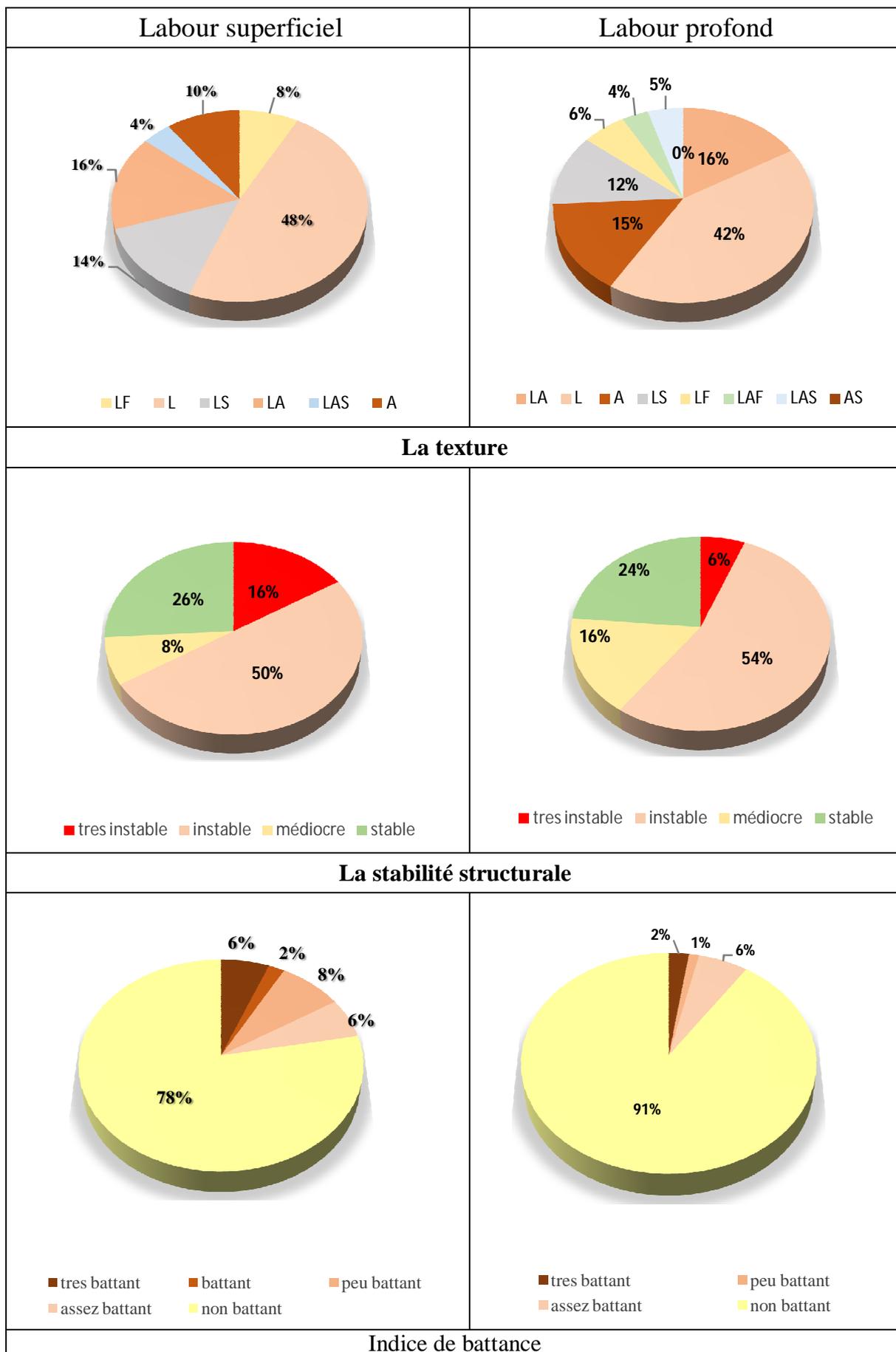
On note que plus de 70 % des sols cultivés en céréales dans la région étudiée sont des sols instables quel que soit le mode de labour profond ou simplifié. Cet état de fait pourrait être expliqué d'une part par la nature de la texture du sol qui ne favorise pas la formation des liaisons avec la matière organique pour assurer une bonne stabilité structurale, et d'autre part par la pauvreté aussi de ces sols en matière organique ainsi qu'à la forte dégradation de ces sols sous l'effet de son travail intensif pendant plusieurs années. Dans le même sens, plusieurs travaux (Bertrand (1967) ; Pieri (1967) ; Valentin, (1981b) ont montré que la granulométrie est modifiée par le travail du sol. En effet, ce dernier favorise la création d'agrégats qui sont fondus après les premières pluies. L'impact des gouttes de pluies sur les sols nus, contribue au départ des éléments fins du milieu (limon et argile) par le ruissellement et provoque la dégradation des sols.

Concernant l'indice de battance, on remarque que la majorité des sols étudiés sont des sols non battants, ceci pourrait être expliqué par l'effet du précédent cultural ou le travail minimum du sol. Selon certains auteurs (Tebrügge et Düring, (1999) ; Klaij, (1994) ; Mrabet *et al.*, (2001) N'dayegamiye (2007), le travail du sol crée artificiellement une grande proportion (50%) de pores supérieurs à 120 µm, ces pores permettent une bonne circulation de l'air et de l'eau ce qui diminue la battance en surface du sol.

Le travail du sol à un effet négatif sur la durabilité des sols agricoles. La perte d'intégrité des unités structurales du sol, la diminution du volume du sol, l'augmentation de la densité apparente, la diminution de la porosité sont les principales conséquences de la dégradation des sols (Newell-Price et *al.*, 2013).

La majorité des sols de l'Algérie sont pourvus en calcaires. Dans cette étude, il a été constaté que plus de 50 % des échantillons sont très fortement à fortement calcaire, le reste est caractérisé par un taux de calcaire modéré à faible. Le travail du sol n'a pas d'effet significatif sur le taux de calcaire.

La relation entre le travail du sol et les différentes propriétés physiques sont reportées dans le (**tableau II.11**). On remarque que le labour profond présente une corrélation négative avec la majorité des composantes granulométrique, avec la stabilité structurale, la battance des sols et la porosité. Cependant, le labour simplifier a un effet positif sur la distribution des composante granulométrique ce qui augmente en revanche la stabilité structurale et la porosité des parcelles.



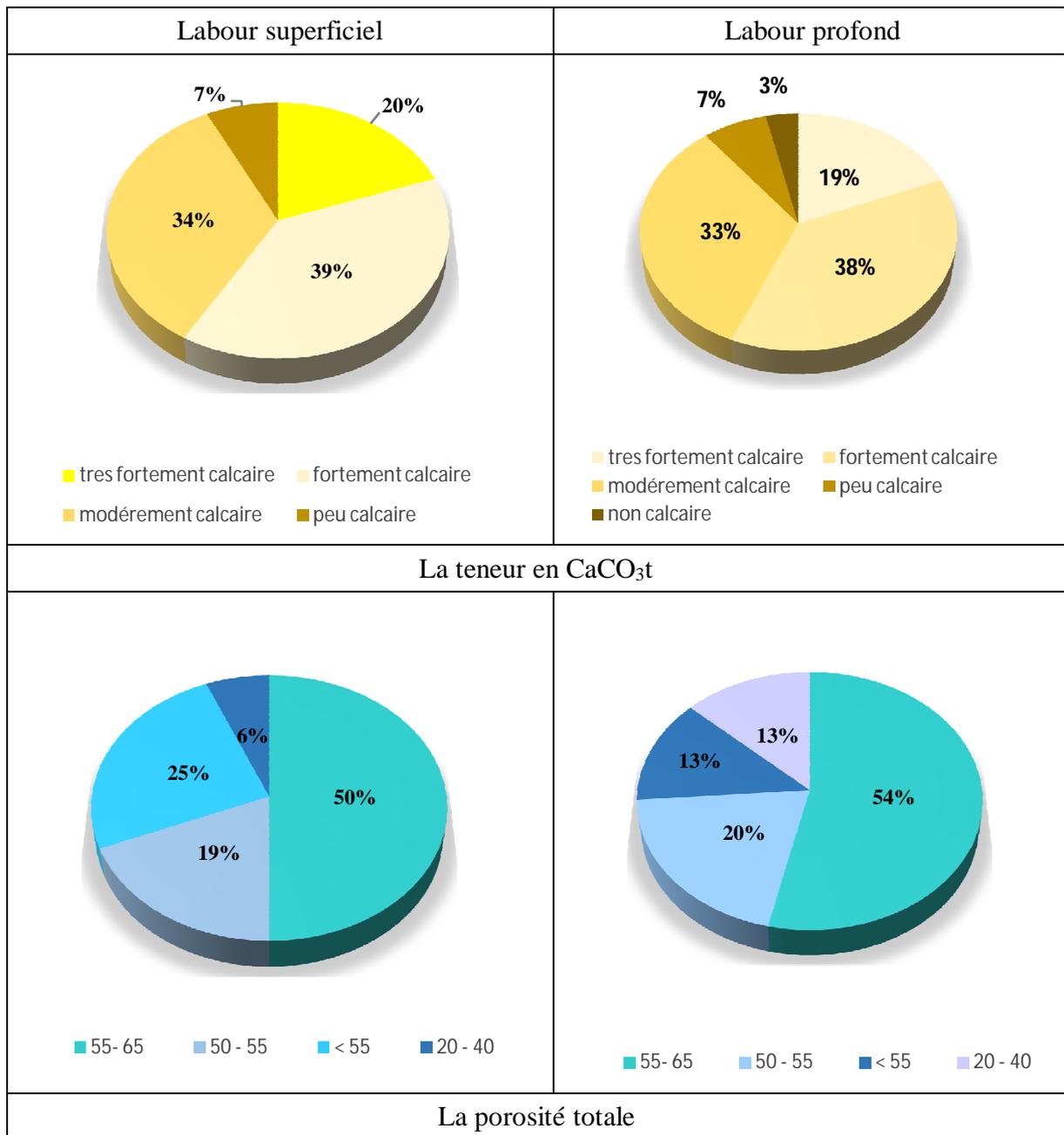


Figure II.8 : Effet de travail du sol sur les propriétés physiques du sol

Tableau II. 11 : Corrélation entre le travail du sol et les propriétés physiques des sols .

	labour superficiel	labour-profond	A %	LF	LG	SF	SG	SS	IB	P %	CaCO3t %
labour-superficiel	1	-1,000	-0,114	0,026	0,023	0,058	-0,004	0,172	0,285	0,023	-0,124
labour-profond	-1,000	1	0,114	-0,026	-0,023	-0,058	0,004	-0,172	-0,285	-0,023	0,124
A %	-0,114	0,114	1	-0,214	-0,114	-0,601	0,019	-0,401	-0,668	-0,158	0,026
LF	0,026	-0,026	- 0,214	1	-0,509	-0,262	0,027	0,100	0,635	-0,254	0,108
LG	0,023	-0,023	- 0,114	-0,509	1	0,117	-0,248	0,250	-0,080	0,117	-0,032
SF	0,058	-0,058	- 0,601	-0,262	0,117	1	-0,522	0,207	0,172	0,170	-0,048
SG	-0,004	0,004	0,019	0,027	-0,248	-0,522	1	-0,106	-0,024	0,042	-0,002
SS	0,172	-0,172	- 0,401	0,100	0,250	0,207	-0,106	1	0,464	0,048	-0,028
IB	0,285	-0,285	- 0,668	0,635	-0,080	0,172	-0,024	0,464	1	-0,040	-0,085
P %	0,023	-0,023	- 0,158	-0,254	0,117	0,170	0,042	0,048	-0,040	1	-0,088
CaCO3t %	-0,124	0,124	0,026	0,108	-0,032	-0,048	-0,002	-0,028	-0,085	-0,088	1

A% : Argile ; LF : Limon fin ; LG : Limon grossier ; SF : Sable fin ; SG : Sable grossier ; SS : Stabilité structurale ; IB : Indice de battance ; CaCO3t% : Calcaire total ; P% : Porosité totale

II.2.2. Effet de travail du sol sur les propriétés chimique du sol

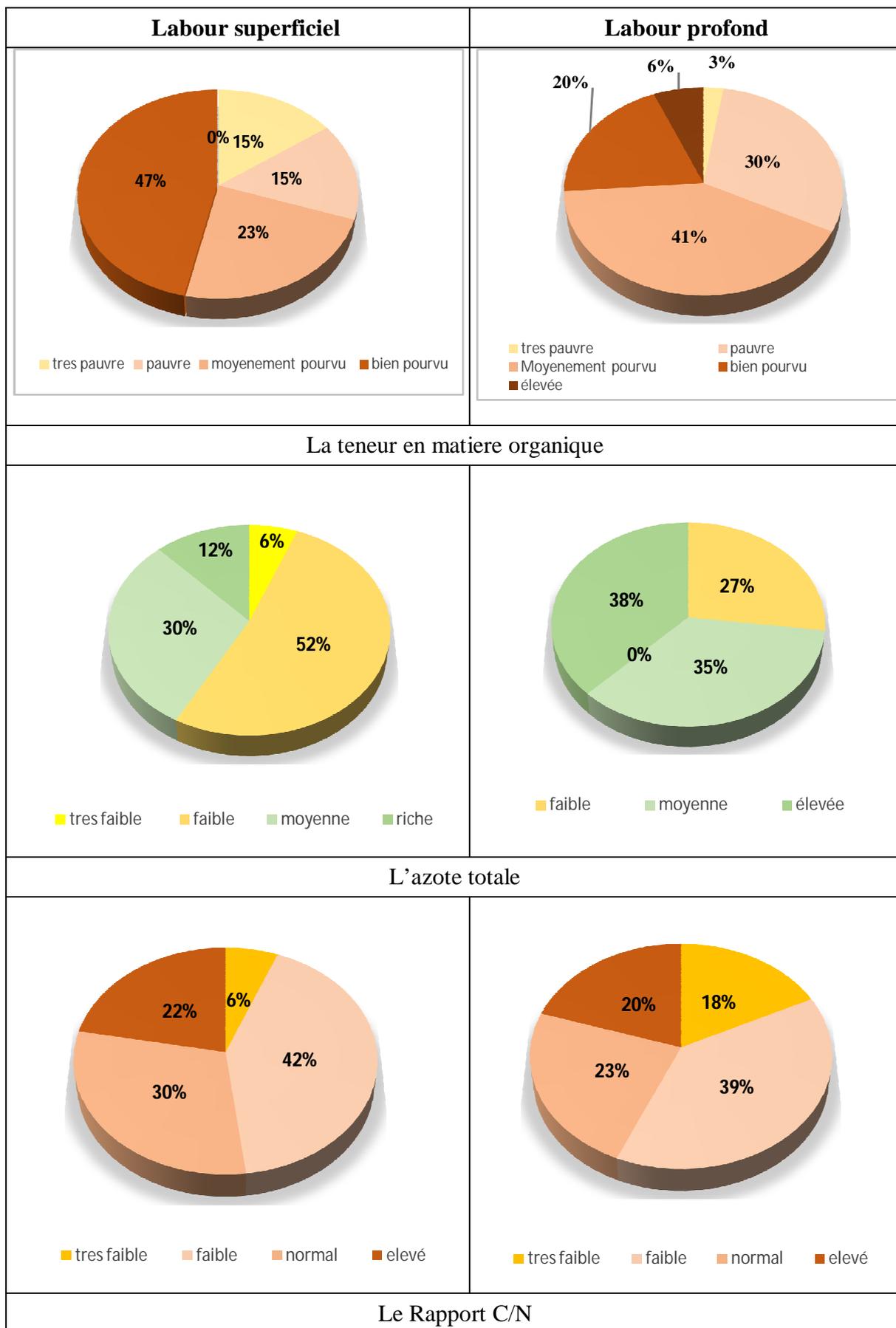
Les résultats de l'influence de différents systèmes de labour sur la variation de certaines propriétés chimiques du sol sont représentés dans la **figure II.9**. Le travail du sol en général influence l'évolution de la matière organique et donc l'évolution à long terme du stock de carbone. Les résultats obtenus montre que le travail du sol profond favorise plus la dégradation de la matière organique du sol ce qui est bien expliqué par le rapport C/N. les résultats indiquent ainsi une diminution du rapport C/N sous l'effet de labour profond comparativement au labour simplifié. En effet, selon La FRCA (2008) plus le travail du sol est profond, plus il demande des outils et plus il favorise la minéralisation des matières organiques. Le labour provoque aussi une diminution dans le taux de la matière organique, favorise l'érosion éolienne et hydrique et de ce fait provoque un déclin de la productivité de la plante cultivée (Recous, 2001).

Selon la figure **II.9**, des taux élevés de la CEC peuvent être rencontrés même avec des teneurs faibles en matière organique, ceci est expliqué surtout par l'effet des ions Ca^{+2} qui favorise le phénomène d'échange entre le sol et la matière organique. Ces résultats sont en conformité avec les travaux de Guerin (2016) qui indique qu'un rapport $\text{Ca}/\text{CEC} \approx 65\%$ explique le bon échange entre les argiles et l'humus du sol avec une amélioration de certains propriétés des sols. Dans le même sens, Ciesielski et al., (2020) montrent que la

présence de carbonates de calcium en quantité importante augmente la capacité d'échange cationique.

L'analyse de corrélation confirme les résultats obtenus où on note que le travail du sol avec ses deux types (superficiel ou profond) à un effet sur la variation des propriétés des sols étudiés. L'interaction entre les différents paramètres chimiques dans les sols après un labour profond ou superficiel est présentée dans la **figure II.10**.

D'après la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) (**Figure II.10 et II.11**), trois groupes homogènes ont été identifiés dans les deux systèmes (labour profond ou labour superficiel). Dans le cas du labour profond, la matière organique avec le rapport C/N se trouve dans un seul groupe en revanche les cations échangeables sont regroupés avec la CEC dans un autre groupe (**tableau II.10**). Dans le cas des sols soumis à un labour superficiel, la matière organique semble intervenir dans la variation de la capacité d'échange cationique.



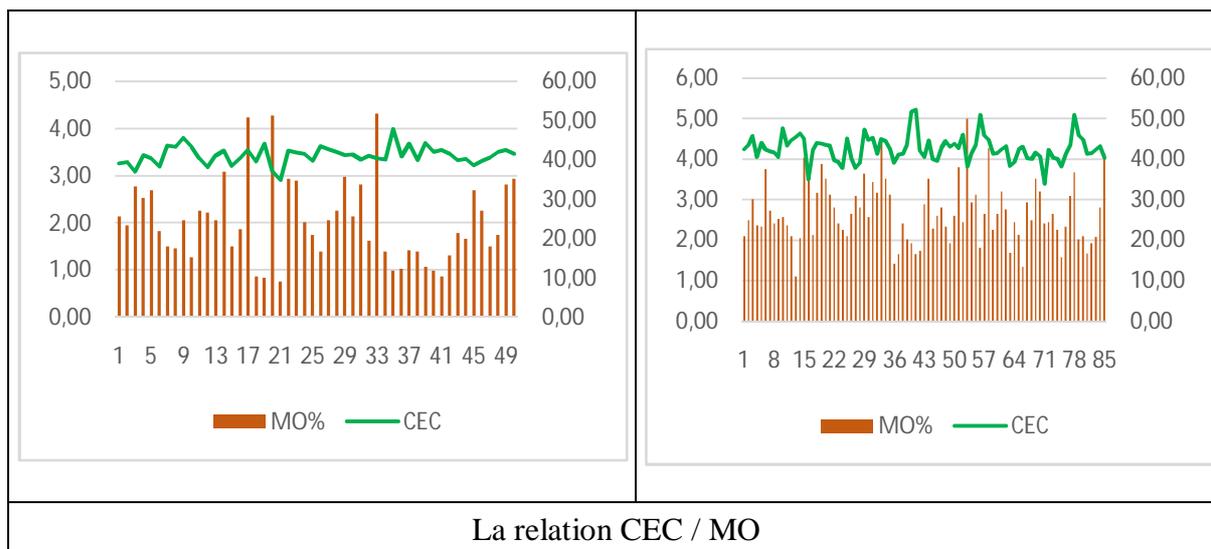


Figure II.9 : Effet de travail du sol sur les propriétés chimiques du sol

Tableau II.12 : Corrélation entre le travail du et les propriétés chimiques des sols étudiés.

	labour- superf	labour- profond	MO%	Nt	C/N	Pass	Ca éch	Mg éch	Na éch	K éch	CEC
labour-super	1	-1,000	-0,371	-0,364	-0,017	-0,097	-0,154	0,125	0,062	0,074	0,270
labour-profond	-1,000	1	0,371	0,364	0,017	0,097	0,154	-0,125	-0,062	-0,074	-0,270
MO%	-0,371	0,371	1	0,344	0,514	-0,039	0,010	-0,074	-0,178	-0,034	-0,071
Nt	-0,364	0,364	0,344	1	-0,529	-0,042	0,021	0,113	-0,092	-0,237	-0,232
C/N	-0,017	0,017	0,514	-0,529	1	-0,015	0,116	-0,256	-0,109	0,333	0,250
Pass	-0,097	0,097	-0,039	-0,042	-0,015	1	0,211	-0,120	-0,077	0,211	-0,057
Ca éch	-0,154	0,154	0,010	0,021	0,116	0,211	1	-0,271	-0,094	0,564	0,678
Mg éch	0,125	-0,125	-0,074	0,113	-0,256	-0,120	-0,271	1	0,362	-0,498	-0,209
Na éch	0,062	-0,062	-0,178	-0,092	-0,109	-0,077	-0,094	0,362	1	-0,079	0,034
K éch	0,074	-0,074	-0,034	-0,237	0,333	0,211	0,564	-0,498	-0,079	1	0,647
CEC	0,270	-0,270	-0,071	-0,232	0,250	-0,057	0,678	-0,209	0,034	0,647	1

MO : matière organique ; Nt : Azote total ; Pass : Phosphore assimilable ; Ca : calcium échangeable ; Na : sodium échangeable ; K : Potassium échangeable ; CEC : Capacité d'échange cationique.

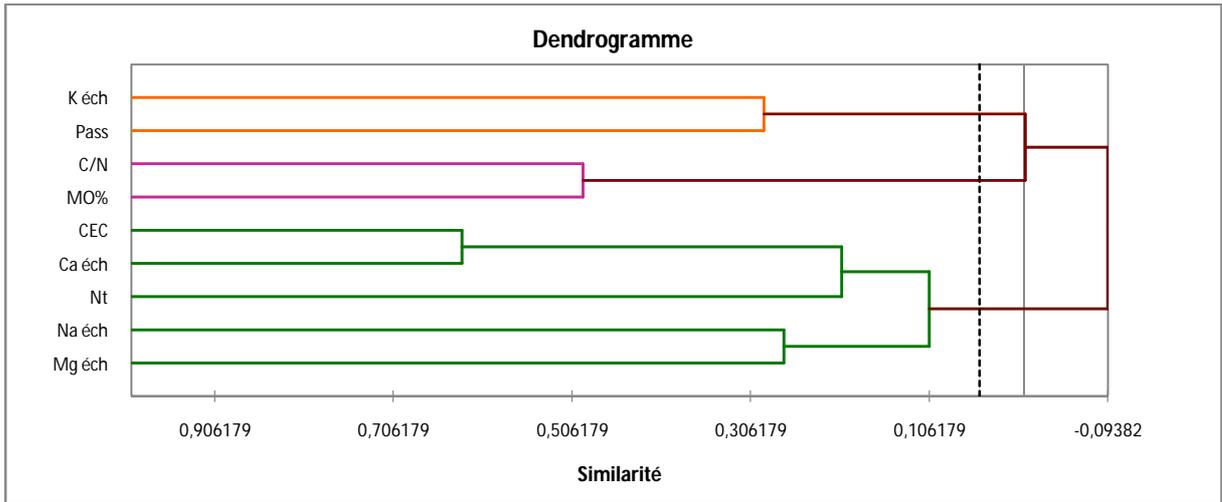


Figure II.10: Classification des paramètres chimiques analysés en fonction de labour profond C1 (n = 2), C2 (n = 5) et C3 (n = 2)

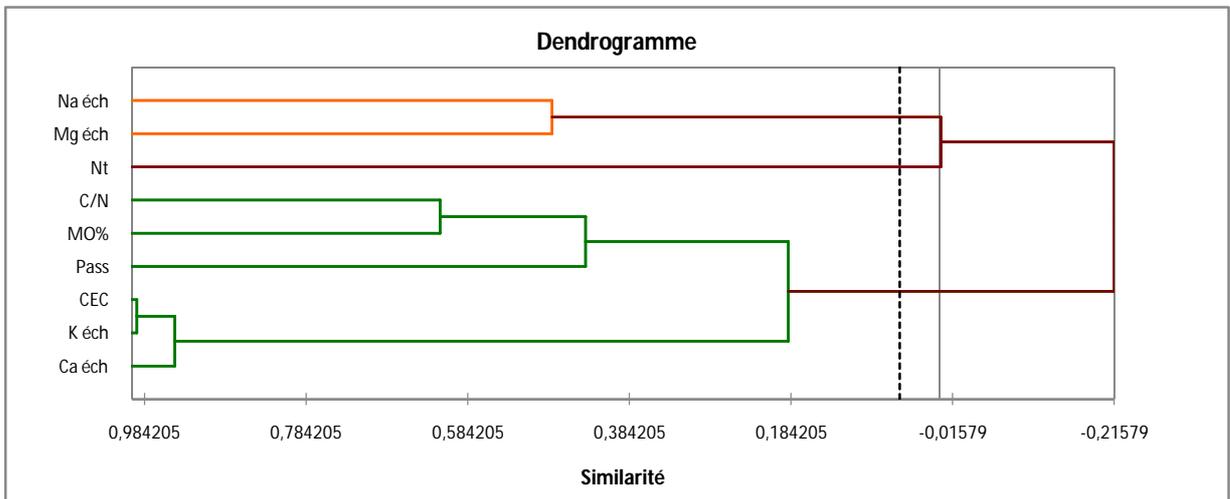


Figure II.11 : Classification des paramètres chimiques analysés en fonction de labour superficiel C1 (n = 2), C2 (n = 5) et C3 (n = 2)

II.3. Effet de la fertilisation et l'irrigation sur les propriétés du sol.

II.3.1. L'effet de la fertilisation et l'irrigation sur propriétés physiques du sol.

En Algérie, la céréaliculture constitue le moteur de l'économie de provinces céréalières du pays. Cependant, cette culture est soumise comme les autres spéculations à plusieurs contraintes, notamment une pluviométrie de plus en plus irrégulière avec une baisse de fertilité des sols (FAO, 2005 ; Menad et Ould-said, 2003).

La fertilisation est une amélioration de la fertilité d'un sol au moyen d'actions qui modifient ses propriétés physico-chimiques et biologique ; de telle façon que les cultures trouvent des conditions optimales de végétation selon la définition proposée par Thomas (ENESAD) en 2006 dans le glossaire de la fertilisation et amendement. En revanche, la présence de l'eau est une condition importante pour assurer une bonne nutrition minérale des végétaux. Cependant, l'eau qui traverse le sol agit sur ce dernier, notamment sur sa structure, sa teneur en éléments minéraux et son évolution. (Le Bissonnais, 1996 ; Bajracharya et al., 1999 ; Lamotte et al., 1988 ; Baize, 1989 ; Ghodrati et Jury, 1992). Dans ce contexte, les résultats obtenus pourraient expliquer à un certain niveau l'effet de l'utilisation des engrais chimiques et de l'irrigation sur certaines propriétés des sols.

D'après la **figure II.12**, on remarque que la majorité des sols dans les trois régions, dans tous les cas, ont une texture limoneuse (38% et 52%) respectivement, alors que les autres textures ne représentent que des pourcentages faibles.

L'analyse statistique (**tableau II.11**) montre que les apports d'engrais avec l'irrigation de compléments influence positivement le pourcentage des argiles et des sables alors que les mêmes pratiques ont une corrélation négative avec les particules limoneuses surtout. Ceci se traduit par la dominance de l'effet d'une pratique par rapport à une autre. nombreux auteurs signalent les difficultés de cultiver les terres argileuses (Jewitt et al., 1979 ; Virmani et al., 1982). Celles-ci proviennent en grande partie du faible drainage interne, lorsqu'ils sont saturés.

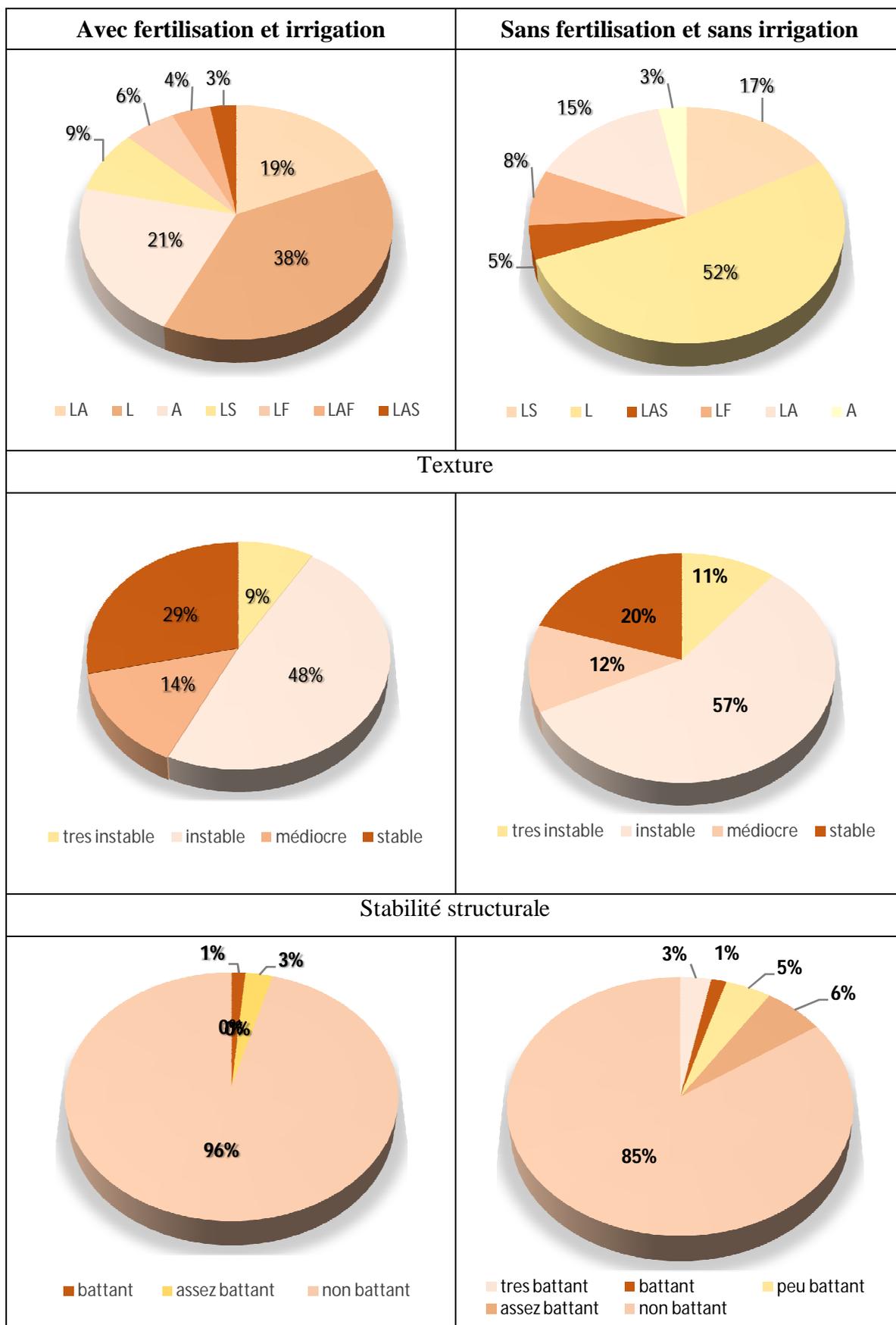
La majorité des sols étudiés sont instables. Plus que 50% pour les parcelles fertilisées et irriguées contre un pourcentage supérieur à 60% pour les parcelles cultivées sans aucun apport ni d'engrais ni d'irrigation. Ceci pourrait être traduit par l'effet de l'irrigation ou d'autre pratique culturale. L'analyse de la variance explique à un certain niveau ces

résultats. On remarque que l'apport d'engrais avec une irrigation de complément pendant une période importante a une corrélation négative avec la stabilité structurale.

La mauvaise stabilité structurale est un indice de sensibilités des sols à la formation des croûtes de battances surtout avec la richesse de ces derniers en particules limoneuses. En revanche les pratiques culturales peuvent influencer négativement l'indice de battance c'est le cas enregistré dans la **figure II.12**, on remarque qu'un pourcentage élevé des sols cultivés en céréales avec des apports d'engrais et sous irrigation sont des sols non battants, ces mêmes résultats sont confirmés par l'analyse de la variance où on note que l'indice de battance diminue en présence de fertilisation et sous irrigation.

La présence du calcaire dans les sols étudiés quel que soit la pratique culturale adoptée (fertilisation ou irrigation) avec un taux important (**figure II.12**) est expliquée surtout par la nature de la roche mère (roche calcifères) qui donne après son évolution des sols calciques (Benchetrit, 1956).

Les sols étudiés en présence de fertilisation et irrigation ou non ont un pourcentage élevé de la porosité qui varie de 50 à 65% c'est un pourcentage qui caractérise les horizons argileux ou limoneux ce qui explique le phénomène de dégradation de ces sols au cours du temps. L'analyse statistique confirme ces résultats, on note la présence d'une corrélation négative entre la présence de la fertilisation et de l'irrigation et la porosité totale **tableau II.11**.



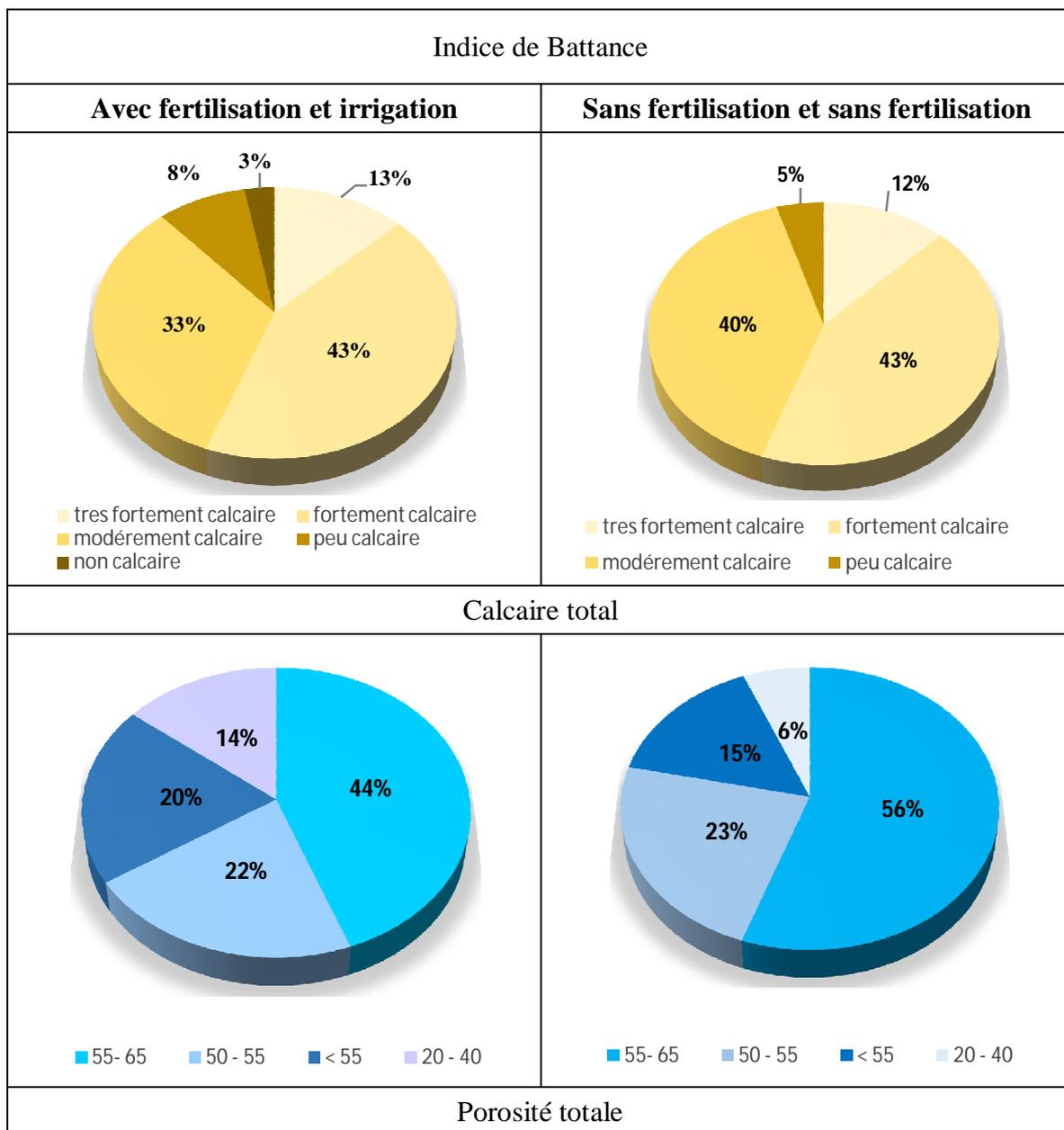


Figure II.12 : Effet de la fertilisation et de l'irrigation sur les propriétés physiques du sol

Tableau II.13 : Corrélation entre la fertilisation, l'irrigation et les propriétés physiques des sols étudiées

	Fert (-)	Fert (+)	Irrig(-)	Irrig(+)	A %	LF %	LG %	SF %	SG%	SS	P %	CaCO3t %
Fert (-)	1	-1,000	1,000	-1,000	-0,244	0,053	0,016	0,181	-0,040	0,064	0,146	0,013
Fert (+)	-1,000	1	-1,000	1,000	0,244	-0,053	-0,016	-0,181	0,040	-0,064	-0,146	-0,013
Irrig(-)	1,000	-1,000	1	-1,000	-0,244	0,053	0,016	0,181	-0,040	0,064	0,146	0,013
Irrig(+)	-1,000	1,000	-1,000	1	0,244	-0,053	-0,016	-0,181	0,040	-0,064	-0,146	-0,013
A %	-0,244	0,244	-0,244	0,244	1	-0,214	-0,114	-0,601	0,019	-0,401	-0,158	0,026
LF %	0,053	-0,053	0,053	-0,053	-0,214	1	-0,509	-0,262	0,027	0,100	-0,254	0,108
LG %	0,016	-0,016	0,016	-0,016	-0,114	-0,509	1	0,117	-0,248	0,250	0,117	-0,032
SF %	0,181	-0,181	0,181	-0,181	-0,601	-0,262	0,117	1	-0,522	0,207	0,170	-0,048
SG%	-0,040	0,040	-0,040	0,040	0,019	0,027	-0,248	-0,522	1	-0,106	0,042	-0,002
SS	0,064	-0,064	0,064	-0,064	-0,401	0,100	0,250	0,207	-0,106	1	0,048	-0,028
P %	0,146	-0,146	0,146	-0,146	-0,158	-0,254	0,117	0,170	0,042	0,048	1	-0,088
CaCO3t %	0,013	-0,013	0,013	-0,013	0,026	0,108	-0,032	-0,048	-0,002	-0,028	-0,088	1

Fert (+) : avec fertilisation ; Ferti(-) : sans fertilisation ; Irrig (+) : avec irrigation ; Irrig (-) : sans irrigation ; A % : Argile ; LF : Limon fin ; LG : Limon grossier ; SF : Sable fin ; SG : Sable grossier ; SS : Stabilité structurale ; IB : Indice de battance ; CaCO3t% : Calcaire total ; P% : Porosité totale

II.3.2. Effet de la fertilisation et l'irrigation sur les propriétés chimique du sol

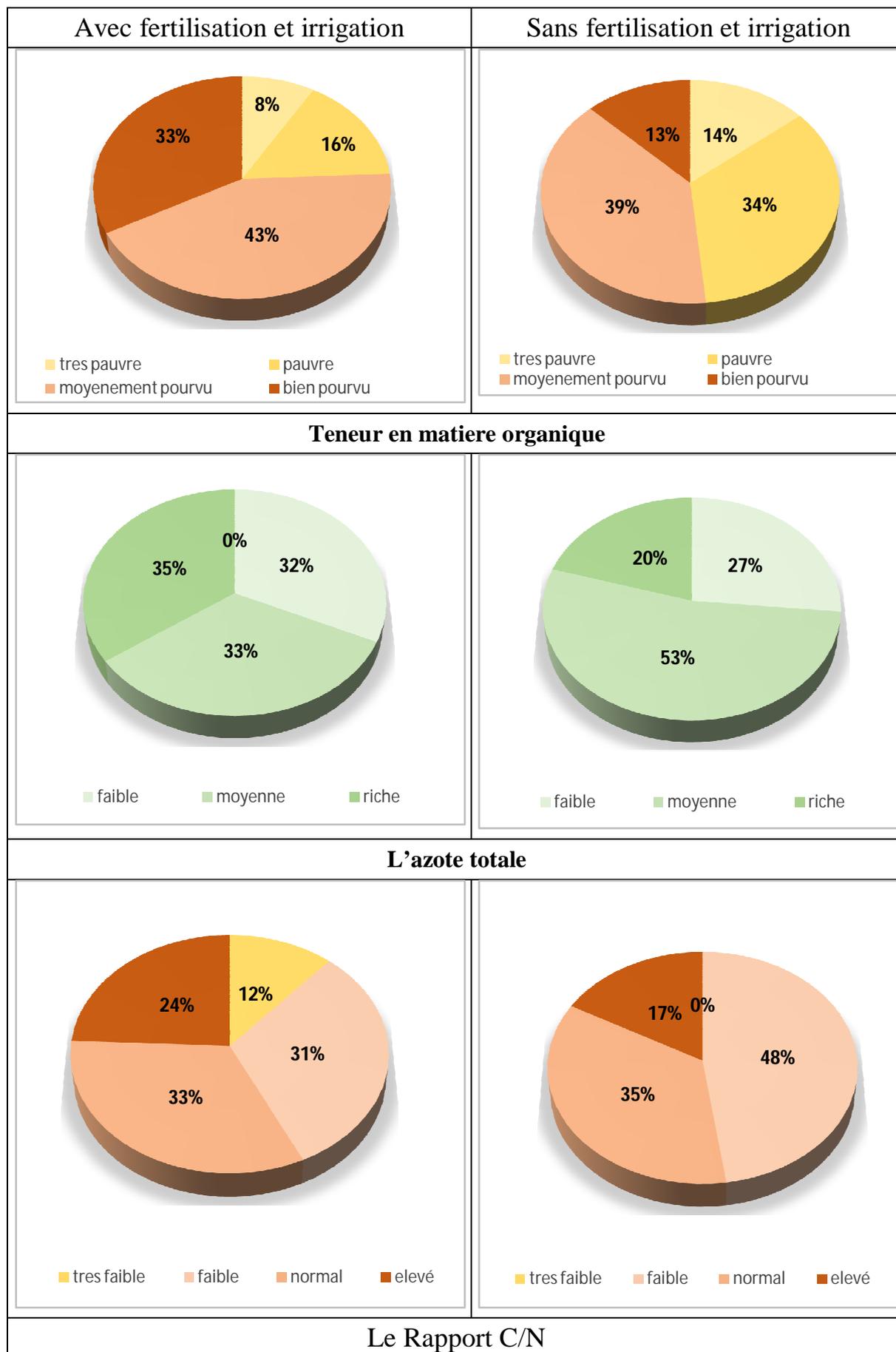
L'étude de l'effet combiné de la fertilisation et l'irrigation sur la variation de certaines propriétés chimiques du sol est représentée dans la **figure II.13**. Les sols étudiés sont légèrement bien pourvus en matière organique pour les parcelles fertilisées et irriguées (>50%). Cependant, les parcelles n'ayant reçu aucun traitement (fertilisation et irrigation) sont pauvres à moyennement pourvues en matière organique (>50%). Ces résultats rentrent en conformité avec les données de littérature (Blanco & Canqui et Schlegel, 2013) ; ces auteurs ont étudié, durant 50 ans l'influence des engrais inorganiques avec irrigation sur des parcelles cultivées au Kansas où ils ont observé que le taux de la matière organique a augmenté, mais qu'en revanche, la stabilité des agrégats s'est détériorée. Par contre, certaines études ont rapporté des effets faibles ou inexistantes des engrais sur la teneur en matière organique du sol (Russell et al. 2005 ; Halvorson et Jantalia, 2011; Jantalia et Halvorson, 2011; Morell et al., 2011). Ceci peut confirmer la faible différence entre les sols fertilisés et ceux non fertilisés.

La vitesse de dégradation de la matière organique est expliquée par le rapport C/N, les résultats obtenus montre que la présence des éléments fertilisants en conditions d'humidité favorable stimule l'activité minéralisatrice de la matière organique avec une bonne capacité d'échange cationique comparativement aux sols sans aucun apport d'engrais ni d'irrigation. Ces résultats concordent avec les observations de Sollins et al., (1984), Janzen et al., (1992), N'Dayegamiye et Côté (1996). Selon ces auteurs l'application d'engrais augmente significativement la biomasse microbienne et stimule donc la dégradation de la matière organique facilement minéralisable avec une accumulation de la matière organique stable. L'analyse de la variance confirme les résultats obtenus (**tableau II.12**).

La pratique de la fertilisation à une forte corrélation positive avec la matière organique, la teneur en azote total, le phosphore assimilable, le rapport C/N et avec la CEC. Le cercle de corrélation explique mieux les corrélations entre les différentes variables et observation

La **figure II.13** correspond à l'un des objectifs de l'ACP. Elle permet de représenter les observations et les variables sur une carte à deux dimensions, et ainsi d'identifier des tendances. Le cercle des corrélations pour les parcelles fertilisées et irriguées (**figure II.14**), montre que l'axe F1 est clairement lié, aux bases échangeables, à la CEC, et au phosphore assimilable ; alors que l'axe F2, est essentiellement lié à la teneur en matière organique, et au rapport C/N.

En revanche, pour les sols sans aucun apport ni d'engrais ni d'irrigation (**figure II.15**) ; le cercle de corrélation montre que l'axe F1 explique la liaison entre la matière organiques et les autres paramètres chimiques alors que l'axe F2 ne représente que l'azote total.



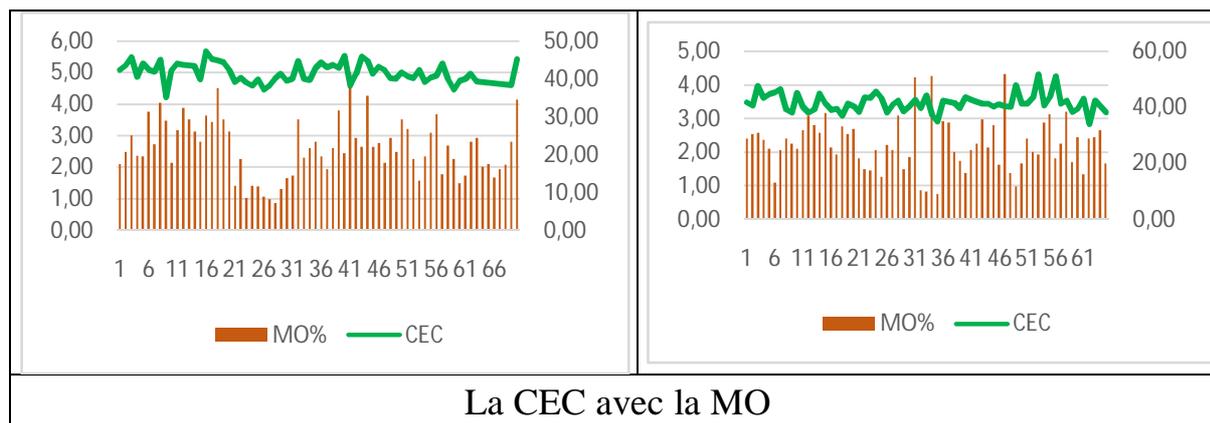


Figure II.13 : Effet de la fertilisation et l’irrigation sur les propriétés chimiques du sol.

Tableau II.14 : Corrélation entre la fertilisation, l’irrigation et les propriétés chimiques des sols étudiés

	Fert (-)* Irrig (-)	Fert (+)* Irrig (+)	MO%	Nt	C/N	Passm	Ca éch	Mg éch	Na éch	K éch	CEC
Fert (-)*											
Irrig (-)	1	-1,000	-0,218	-0,148	-0,100	-0,103	-0,317	0,158	0,134	-0,340	0,014
Fert (+)*											
Irrig (+)	-1,000	1	0,218	0,148	0,100	0,103	0,317	-0,158	-0,134	0,340	0,014
MO%	-0,218	0,218	1	0,343	0,514	-0,039	0,010	-0,074	-0,178	-0,034	0,141
Nt	-0,148	0,148	0,343	1	-0,529	-0,043	0,021	0,118	-0,087	-0,238	0,306
C/N	-0,100	0,100	0,514	-0,529	1	-0,015	0,116	-0,256	-0,109	0,333	-0,168
P assm	-0,103	0,103	-0,039	-0,043	-0,015	1	0,211	-0,120	-0,077	0,211	0,028
Ca éch	-0,317	0,317	0,010	0,021	0,116	0,211	1	-0,271	-0,094	0,564	0,307
Mg éch	0,158	-0,158	-0,074	0,118	-0,256	-0,120	-0,271	1	0,362	-0,498	0,532
Na éch	0,134	-0,134	-0,178	-0,087	-0,109	-0,077	-0,094	0,362	1	-0,079	0,315
K éch	-0,340	0,340	-0,034	-0,238	0,333	0,211	0,564	-0,498	-0,079	1	-0,202
CEC	0,014	-0,014	0,141	0,306	-0,168	0,028	0,307	0,532	0,315	-0,202	1

Fert (+) : avec fertilisation ; Fert(-) : sans fertilisation ; Irrig (+) : avec irrigation ; Irrig (-) : sans irrigation ; MO : matière organique ; Nt : Azote total ; Pass : Phosphore assimilable ; Ca : calcium échangeable ; Na : sodium échangeable ; K : Potassium échangeable ; CEC : Capacité d’échange cationique.

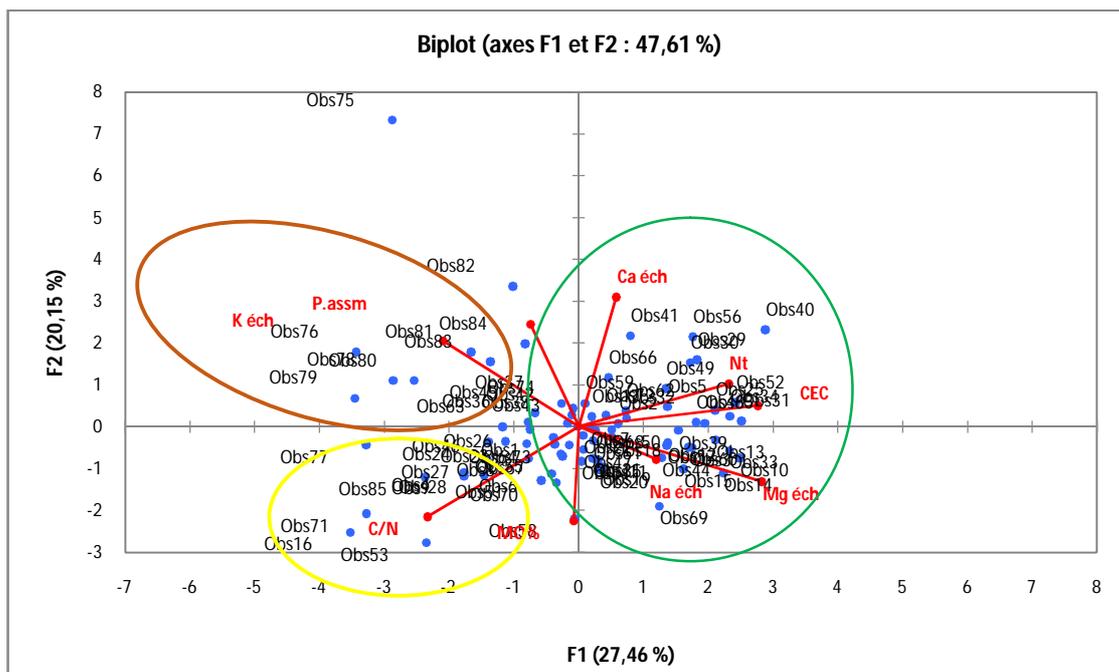


Figure II.14 : Classification des observations et des paramètres chimiques étudiés dans le plan formé par l'ACP (avec fertilisation et irrigation).

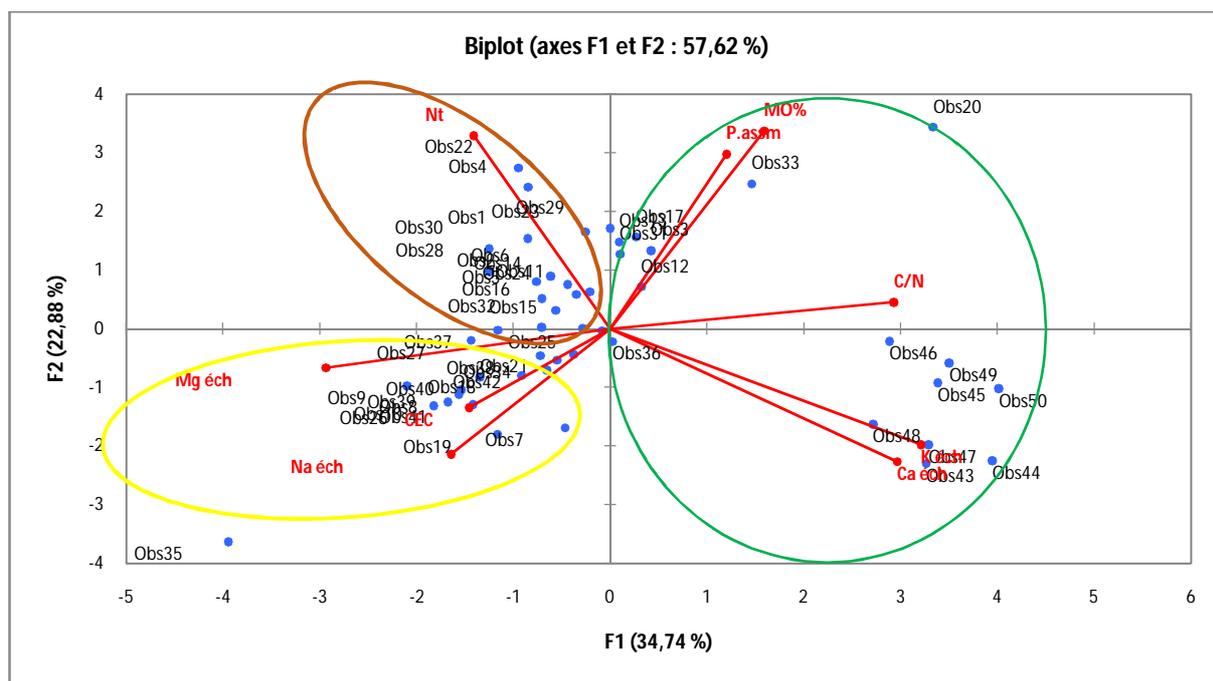


Figure II.15 : Classification des observations et des paramètres chimiques étudiés dans le plan formé par l'ACP (sans fertilisation et sans irrigation).

Conclusion

Les résultats de l'étude de l'effet des différentes pratiques culturales sur les propriétés du sol montrent que c'est la rotation qui améliore les propriétés physiques et chimiques des sols est culture maraichère/blé suivi par la rotation céréale/blé et en dernière position la rotation jachère/blé. En effet, les résidus des récoltes favorisent à la fois la stabilité structurale et l'infiltration de l'eau ; ils permettent ainsi une accumulation de matière organique dans l'horizon superficiel du sol.

La comparaison de l'effet de travail du sol (labour profond et superficiel) sur les différentes propriétés du sol montre que le travail superficiel améliore la stabilité structurale, diminue le phénomène de battance et augmente la porosité du sol ; il a été noté aussi une accumulation de matière organique avec une amélioration de la capacité d'échange cationique. La reconstitution de la matière organique dans le sol constituerait une source d'éléments nutritifs pour les cultures avec le temps, et diminuerait les apports en engrais minéraux en améliorant ainsi la production des céréales. Ces observations ont été confirmées après un apport d'engrais avec une irrigation complémentaire.

De ce qui précède, il a été vérifié l'importance des pratiques culturales sur les propriétés du sol ce qui peut nous renseigner sur celles qui peuvent être plus durables. Reste à savoir leur interaction avec le rendement du blé et de savoir comment ces pratiques influencent-elles les rendements ? Ces considérations nous amène à s'interroger sur l'impact de ces pratiques sur la production des céréales. Ceci fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre III
Effet des pratiques
culturelles sur les
rendements en blé dur
(Tritium durum Desf.)

CHAPITRE III

EFFET DES PRATIQUES CULTURALES SUR LES RENDEMENTS EN BLE DUR (*Triticum durum* Desf.)

Introduction

La population mondiale devrait augmenter pour atteindre 9 milliards d'ici 2044 (IDB, 2010). Pour répondre à cette augmentation et à la forte demande alimentaire, l'intensification de la production agricole est considérée comme l'un des moyens nécessaires pour lutter contre l'insécurité alimentaire dans le monde et notamment en Afrique et dans les pays en développement (Kafesu, et *al.*, 2018).

L'Algérie possède à peine 4% (8,46 millions d'hectares) de terres agricoles utiles sur un total de 238 millions d'hectares. La superficie réservée aux céréales est d'environ 6 millions d'hectares. Elle s'étend sur des zones climatiques subhumides, semi-arides et arides (Semcheddine, 2015). Chaque année, environ 3 à 3,5 millions d'hectares sont cultivés dont 70% est destiné particulièrement à la culture du blé. L'orge et l'avoine n'occupant qu'une petite superficie. Le reste des terres agricoles utiles est laissé en jachère (Djermoun, 2009). Au cours de la période (2013-2016), la production moyenne de céréales, blé compris, est deminuée de 3,2 millions de tonnes en 2013 à 2,44 millions de tonnes en 2017 avec un rendement d'environ 1,4 t / ha (FAO, 2017).

L'objectif du présent chapitre est d'identifier les meilleures pratiques de gestion qui aident à augmenter les rendements dans les régions semi-arides. Pour cela, et après un aperçu sur la culture des céréales, nous aborderons les points suivants :

- i. L'effet des différents précédents culturaux (jachère /blé, céréales □ blé, culture maraichère / blé et monoculture blé / blé) sur la variation du rendement en grains du blé dur au cours de la période 2013-2015.
- ii. évaluer l'effet du travail du sol (labour minimum et labour conventionnel) sur la production de blé ; et
- iii. évaluer l'effet de la fertilisation et de l'irrigation complémentaire sur l'amélioration de la production de blé dur.

I. Aperçu sur la culture des céréales

Le blé est l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme depuis plus de 7000 à 10000 ans, dans le Croissant Fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran (Croston et Williams, 1981). Des restes de blés, diploïde et tétraploïdes, remontant au VII^{ième} millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient (Harlan, 1975).

Le blé dur (*Triticum durum*, Desf) est une plante monocotylédone de la famille des graminées. C'est une espèce de constitution génomique tétraploïde ($2n=28= AABB$). Cette plante est cultivée pour son intérêt alimentaire. Elle s'est différenciée dans trois centres secondaires différents qui sont le bassin occidental de la Méditerranée, le sud de la Russie et le Proche Orient. Chaque centre secondaire donna naissance à des groupes de variétés botanique aux caractéristiques phénologiques, morphologiques et physiologiques particulières (Monneveux, 1991).

En Algérie, le blé dur occupe une place privilégiée suite à son utilisation dans l'alimentation quotidienne de la population sous diverses formes. L'aire de culture s'étend du littoral à la limite des hauts plateaux, où il est conduit sous conditions pluviales subissant les effets des contraintes climatiques dont le déficit hydrique et les températures élevées de fin de cycle (Baldy, 1974 ; Bouzerzour et al., 2002).

La superficie agricole utile (SAU), occupe 8 458 680 millions d'ha (Smadhi et Zella, 2009) dont la céréaliculture occupe une superficie annuelle d'environ 3,6 millions d'hectares (Ladraa et Ounane., 2013). Le blé dur est surtout cultivé à l'Est du pays (Constantine, Mila, Souk Ahras, Sétif) (Hamadache et Rizou, 2013), sur une surface de 1,3 million d'hectares ce qui représente 44% de la superficie totale des céréales avec une production de 24 millions de Quintaux le reste est couvert par les importations, à partir de l'Europe, des Etats Unis et de l'Argentine qui sont les principaux fournisseurs de l'Algérie, cette production représente 47% de la production nationale céréalière (MADR, 2012). Ces rendements restent faibles et la production est irrégulière et en deçà des besoins en augmentation constante (Ceccarelli et al., 1991; Annichiarico et al., 2005).

Pour arriver à un objectif de rendement (qualité et quantité), il faut multiplier par quatre la production, soit en améliorant le rendement à 27quintaux / ha (Smadhi et Zella, 2009), soit en augmentant la superficie céréalière de 3 millions d'ha à 11,5 millions d'ha au dépend de la jachère qui occupe 40 % de la SAU, ou en s'étend vers les étendus sahariennes (zones irriguées) dont l'eau n'est pas une contrainte mais la qualité du sol constitue l'obstacle.

L'intensification de la culture qui nécessite des quantités élevées d'engrais peut agir sur la fertilité du sol saharien et accomplir le déficit de rendement national (Halilat, 2004).

La majorité des régions semi-arides algériennes pratiquent la céréaliculture en régime pluvial. Elle se caractérise par un milieu et une topographie très variés, une diversité des sols d'une région à une autre, pauvre en matière organique, fluctuation de la pluviométrie d'une année à l'autre, variation du régime des températures hivernales et printanières et des périodes de sécheresse très sévères et souvent d'une longue période. En ces régions, l'eau constitue le principal facteur limitant la production, le déficit hydrique intervient à différents moments du cycle, souvent après l'épiaison. Les variétés à cycle court échappent à la sécheresse de fin de cycle et produisent du grain même en année où il y a une pénurie en pluies hivernales (Boufenar et Zaghouane 2006).

I.1. Evolution de la filière céréalière en Algérie

La céréaliculture est pratiquée dans la moitié des exploitations agricoles avec un nombre de 588621 selon le dernier recensement agricole (2001). Cependant, on peut distinguer trois zones céréalières en fonction des précipitations et des rendements obtenus (Chehat, 2005) :

- a- **Une zone à hautes potentialités** : ces zones (plaines de l'Algérois et Mitidja, bassin des vallées de la Soummam et de l'Oued El Kébir, vallée de la Seybouse...), sont caractérisées par une pluviométrie moyenne supérieure à 500 mm/an, avec des rendements moyens de 20qx/ha. Malgré son importance, les céréales ne couvrent que 20% de la surface agricole utile dans cette zone.
- b- **Une zone à moyennes potentialités** (coteaux de Tlemcen, vallées du Chéelif, massif de Médéa...) : Elle est caractérisée par une pluviométrie de 400 à 500 mm/an, avec un rendement varié de 5 à 15qx/ha. La zone a une surface agricole utile de 1600 000 ha dont près de la moitié est emblavée chaque année en céréales.
- c- **Une zone à basses potentialités** : Elle est caractérisée par un climat semi-aride où la moyenne des précipitations est inférieure à 350 mm/an, avec un rendement, le plus souvent inférieur à 8qx/ha. Elle est située dans les hauts plateaux de l'Est et de l'Ouest et dans le Sud du Massif des Aurès. La surface agricole utile (SAU) dans cette zone atteint 4,5 millions d'ha dont près de la moitié est emblavée chaque année en céréales.

I.2. Les contraintes de la production du blé

I.2.1. Les techniques culturales

Il est certain que la faiblesse et l'instabilité de la production de la culture du blé dur sont en grande partie, dues à l'irrégularité interannuelle et saisonnière des précipitations.

Les techniques culturales adoptées n'ont pas permis d'atteindre une production satisfaisante et des objectifs en grains plus ambitieux. Dans un tel milieu, les techniques culturales ne sont pas uniquement utiles pour la mise en place de la culture, leur raison d'être est aussi d'aider, autant que possible, la culture à moins souffrir des contraintes climatiques quand elles se présentent. Pour réduire ces effets, il est nécessaire d'adapter les techniques culturales et le matériel végétal à la variabilité climatique du milieu de production.

Les techniques culturales recouvrent la préparation du sol, les dates et densités de semis, le désherbage, la fertilisation, l'irrigation et la rotation. Selon Chenaffi et *al.*, (2006) la pratique de l'irrigation déficitaire est, sans aucun doute, la technique dont les effets sont les plus évidents et immédiats à l'augmentation des rendements.

Les innovations technologiques, visant à améliorer la production, doivent réduire les risques climatiques, en maximisant l'infiltration et l'utilisation des eaux de pluies, améliorer la fertilité des sols et réduire les pertes du patrimoine sol. Selon la nature méditerranéenne du climat (70 % des pluies sont enregistrées en hiver), les techniques culturales doivent assurer aussi le stockage du maximum de cette eau dans le profil. La valorisation des eaux pluviales est donc un facteur déterminant de la production sous un climat semi-aride. Dans ce contexte les travaux de Kribaa et *al.*, (2001) montrent que les techniques culturales simplifiées (TCS) gèrent mieux l'humidité du sol que le travail conventionnel avec les charrues à disque ou à soc. L'adoption de l'agriculture de conservation apparaît comme une alternative capable de corriger l'impact négatif du système conventionnel de production.

Il est possible de produire sans labourer dans le contexte de l'aridité méditerranéenne tout en assurant la préservation des ressources naturelles et de l'environnement (Wilhelm et *al.*, 1989; Kribaa et *al.*, 2001; Klein et *al.*, 2002; Saber et Mrabet, 2002; Yalcin et *al.*, 2005). Le développement de la technologie du semis direct est générique d'innovations qui stabilisent les rendements, réduisent les charges, conservent mieux l'eau et préservent la fertilité du sol.

I.2.2. Le matériel végétal

L'emploi de variétés adaptées, suite à leur cycle de développement plus court, esquivant les contraintes climatiques de fin de cycle, ou bien possédant une résistance intrinsèque, permet aussi de donner une certaine régularité à la production (Giunta *et al.*, 1993; Passioura, 2002). Sous climat semi- aride, l'amélioration des techniques de production est centrée, de plus en plus, autour de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Richards *et al.*, 2004; Chenaffi *et al.*, 2006).

La pluviométrie diminuera dans les années à venir, suite aux effets des changements climatiques, incitant à protéger les ressources d'eau existantes et valoriser leurs utilisations. Parmi les alternatives permettant d'améliorer les rendements en grains, des régions arides et semi arides où les ressources en eau sont rares, figurent le développement et la sélection de variétés plus économes en eau (Richards *et al.*, 2004; Tardieu, 2003; Passioura, 2004).

Des augmentations significatives des rendements sont possibles, dans les milieux contraignants, si la sélection est faite pour l'adaptation spécifique, mettant ainsi en valeur les différents terroirs (Araus *et al.*, 1998; Annichiarico *et al.*, 2006).

La sélection pour la tolérance induit, certes, une baisse des rendements sous contrainte, mais cette baisse est cependant moins importante chez les génotypes tolérants comparativement à celle notée chez les génotypes sensibles (Fellah *et al.*, 2002; Bahlouli *et al.*, 2005).

L'utilisation optimale de l'humidité du sol, par la culture, est liée à l'indice foliaire qui s'établit au cours du cycle et à sa modulation en fonction de l'intensité des stress prévalant (Simane *et al.*, 1993; Tardieu, 2003). Pour un stock donné d'eau du sol, le cultivar adapté est celui qui ne fait pas de consommation de luxe en eau au cours de la pré-anthèse (Siddique *et al.*, 1989; Passioura, 2004). Il utilise son indice foliaire pour réguler la transpiration en fonction du degré de son approvisionnement en eau (Simane *et al.*, 1993; Slafer *et al.*, 1999; Richards *et al.*, 2004). Chez les plantes économes en eau, l'évitement de la déshydratation est lié à la réduction des pertes d'eau par les voies cuticulaires et stomatiques.

La recherche d'indicateurs de la capacité de la plante à faire une bonne utilisation de l'eau, sous stress hydrique, est un préalable à la réalisation de progrès en matière d'amélioration du rendement sous contrainte hydrique (Blum *et al.*, 1999; Araus *et al.*, 2002).

I.2.3. Les contraintes climatiques

La région des hauts plateaux est connue comme étant une région à fortes contraintes climatiques, particulièrement pour la culture des céréales (Baldy, 1974; Abbassenne, 1997; Fellah *et al.*, 2002; Annichiarico *et al.*, 2002; Annichiarico *et al.*, 2006). La céréaliculture est, en effet, exposée tout le long de son cycle de développement à une série de contraintes hydrique et thermique. Le stress hydrique est toujours accompagné et agit en interaction avec d'autres stress abiotiques tels que les basses et hautes températures et l'excès de luminosité (Monneveux et Belhassen, 1996).

I.2.4. Les contraintes édaphiques

Les sols qui caractérisent les régions semi-arides méditerranéennes d'Afrique du Nord ont une faible fertilité (Neffar *et al.*, 2013). Lorsque cette caractéristique est combinée à de faibles niveaux de fertilisation, les cultures céréalières peuvent être en état de carence nutritionnelle et donc d'enregistrer une mauvaise croissance (Boudjabi *et al.*, 2015). En revanche, le blé exige un sol bien préparé, meublé et stable, résistant à la dégradation par les pluies d'hiver pour éviter l'asphyxie de la culture et permettre une bonne nitrification au printemps. Sur une profondeur de 12 à 15cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 cm pour les autres terres et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux bons rendements (Soltner, 1989). Particulièrement un sol de texture argilo-calcaire, argilo-limoneux, argilo-sableux ne présentant pas de risques d'excès d'eau pendant l'hiver.

Les séquences de travail du sol à adopter doivent être fonction du précédent cultural, de la texture du sol, et de la pente. Le pH optimal se situe dans une gamme comprise entre 6 à 8. La culture de blé est modérément tolérante à l'alcalinité du sol dont la C.E.

II. Matériels et méthode

II.1. Enquête

Cette étude, a été réalisée dans les zones de production céréalière des régions de Batna, Oum-El-Bouaghi et Sétif dans le nord-est de l'Algérie. Un total de 74 agriculteurs, répartis aléatoirement entre les trois régions, ont été enquêtés en 2013-2015 avec un total de 135 enquêtes répondues, enquêtées (**figure III.1**). Les agriculteurs sélectionnés cultivaient principalement du blé dur (*Triticum durum*). La collecte des données de chaque agriculteur a été effectuée à l'aide de questionnaires et d'entretiens directs. Chaque questionnaire portait sur les systèmes de culture, la fertilisation et les pratiques phytosanitaires, les systèmes d'irrigation, le travail du sol et le rendement annuel qui ont été estimés dans certaines parcelles en utilisant la méthode de densité carrée (Ngouajio et al, 2001).

Pour le travail du sol, la majorité des agriculteurs (62,96%) ont utilisé des techniques de labour conventionnelles alors que 37,04% ne pratiquaient qu'un labour minimum. Concernant la culture précédente, les techniques de production conventionnelles appliquées dans les régions étudiées reposaient principalement sur l'utilisation de la jachère (63,7%). La rotation céréalière «blé-légume» a été pratiquée pour stabiliser les rendements très variables qui se produisent avec la monoculture «blé – blé». Pour les pratiques de fertilisation, 51,85% des parcelles étudiées utilisaient des engrais azotés et phosphatés. Le reste des parcelles étudiées (48,15%) a été cultivé sans fertilisation. En raison de la dépendance climatique de la production céréalière dans les terres semi-arides, le stress hydrique a été considéré comme le principal facteur limitant le rendement dans la zone d'étude ; ce qui rend donc nécessaire une irrigation complémentaire pour assurer une bonne croissance des cultures (Fellah et al., 2018). Au total, 58,15% des parcelles enquêtées ont utilisé l'irrigation par rapport au 41,85% des parcelles cultivées sans irrigation.

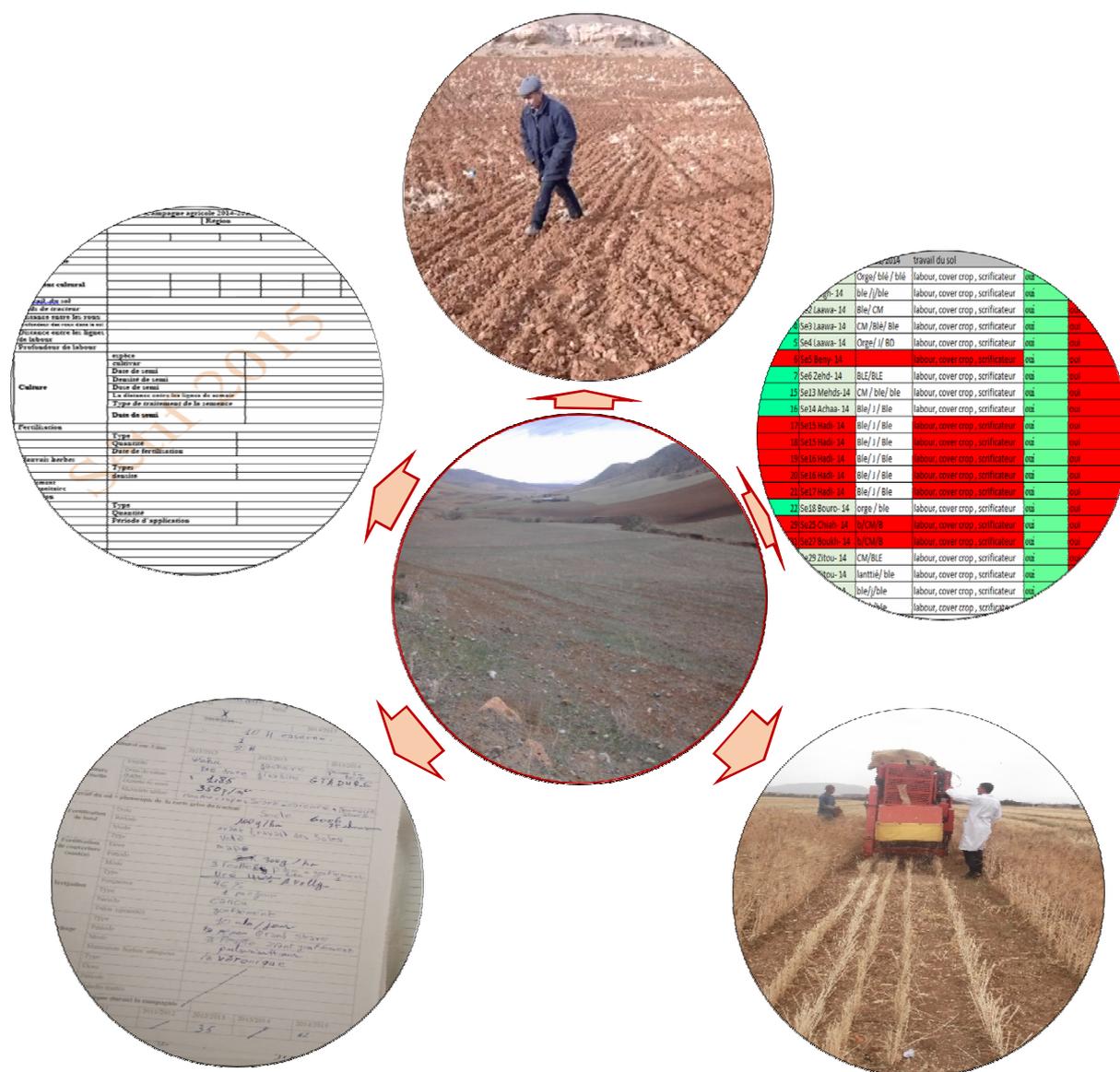


Figure n° III.1 : Les étapes d'étude de l'effet des pratiques culturales sur le rendement en blé

II.2. Analyse des données

Les enquêtes répondues ont été compilées dans une base de données détaillée comprenant toutes les variables étudiées. Les rendements céréaliers du blé dur obtenus pour différents systèmes de culture, précédents culturaux, les pratiques de travail du sol, la fertilisation et les traitements d'irrigation, ont été décrits avec une analyse statistique descriptive (Moyenne, écart-type «ET», minimum, maximum, 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} quantiles).

Ces statistiques ont été représentées sous forme de boîtes à moustaches en utilisant le package «ggplot2» dans R (Chang, 2012). Dans le texte, les valeurs de rendement ont été exprimées en moyenne \pm écart-type et en plage (min-max). Le modèles mixtes linéaires généralisés (GLMM) a été adopté pour étudier la variation des rendements en grains de blé dur suivant les systèmes de culture précédents, les pratiques de travail du sol, les traitements de fertilisation et d'irrigation dans les terres agricoles semi-arides des Hautes Plaines du nord-est de l'Algérie.

Chaque GLMM a été ajusté par maximum de vraisemblance restreint (REML) en utilisant le package 'nlme' dans R (Team et DC R, 2019). Les régions étudiées, à savoir Batna, Oum-El-Bouaghi et Sétif, ont été entrées comme un effet aléatoire dans le modèle, tandis que les variables explicatives étudiées (systèmes de culture antérieurs, pratiques de travail du sol, fertilisation et traitements d'irrigation) étaient les effets fixes de la modélisation de la variation des rendements.

III. Résultats et discussion

III.1. Effet du précédent cultural sur le rendement du blé dur

Les résultats des rendements de blé dur obtenus sous différents types de systèmes de culture précédents sont représentés sur la figure **III.2**. Les rendements les plus élevés ont été enregistrés au niveau des parcelles ayant des cultures maraichères comme culture précédente où le rendement du blé dur variait entre 1,0 et 5,3 t / ha et en moyenne $2,54 \pm 1,01$ t / ha par parcelle.

En deuxième classe, le système de rotation jachère □ blé a montré un rendement variant de 0 à 6,65 t / ha avec une moyenne de $2,05 \pm 1,17$ t / ha. Ces rendements étaient supérieurs à ceux des deux autres cultures précédentes (blé □ blé et autres céréales □ blé).

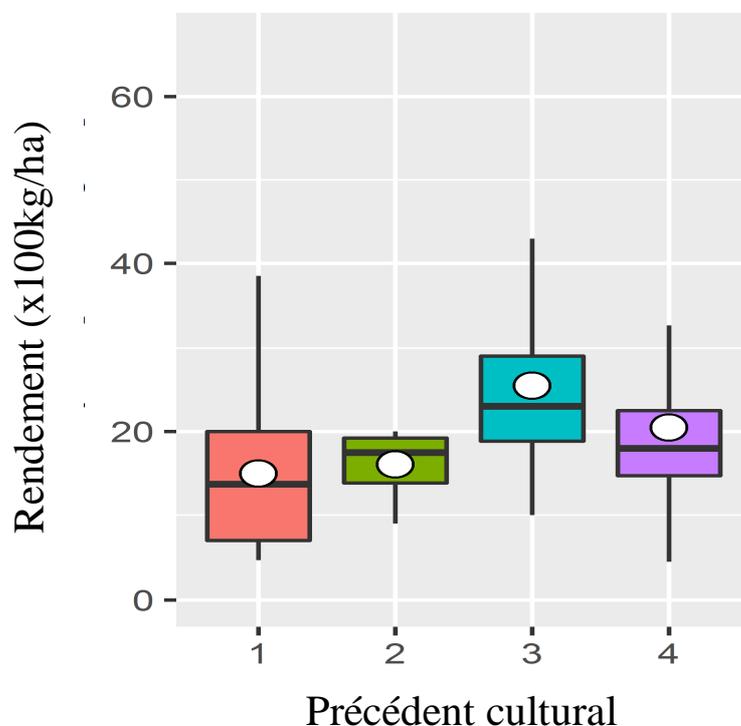
Le modèle mixte linéaire généralisé (GLMM) a révélé que les systèmes de culture précédents affectaient considérablement la production de blé dur (analyse de type II de la déviance : $\chi^2 = 13,75$, $df = 3$, $P = 0,003$). Le GLMM a montré que les systèmes blé-blé produisaient un rendement significativement plus élevé ($t = 3,20$, $P = 0,002$) par rapport à la récolte blé-blé précédente.

Bien que le rendement céréalier ait augmenté avec les cultures précédentes (jachère-blé et autres céréales-blé), ces augmentations n'étaient toutefois pas statistiquement significatives ($P > 0,05$) (**tableau III.1**).

La production de blé dur variait considérablement suivant les différentes cultures précédentes. Cette étude a montré que les rendements de blé les plus élevés sont enregistrés dans les champs agricoles qui ont des «cultures maraichères» comme culture précédente, puis des parcelles en jachère, alors que les rendements les plus faibles sont enregistrés dans les parcelles en monoculture «blé □ blé».

Ces résultats rentrent en conformité avec plusieurs études, par exemple Makhlouf et *al.*, (2011) ont rapporté que les céréales cultivées en alternance avec une autre culture ont augmenté leur rendement jusqu'à 10%. Selon Campbell et *al.*, (2002) et Gan et *al.*, (2012), les récoltes de blé donnent un meilleur rendement après avoir mis des terres en jachère par rapport à un système «blé □ blé». Les cultures céréalières cultivées sont influencées par la culture précédente sur la même parcelle.

Ces effets sont très spécifiques selon la culture précédente. Par exemple, l'enrichissement du sol en azote est le résultat des légumineuses comme culture précédente ; tandis que les prairies améliorent la structure du sol (Hatfield et *al.*, 2001; Daniel et *al.*, 2017).



Avec : (1=culture maraichère, 2= blé, 3= jachère et 4= autre céréale)

Figure III.2 : Effet du précédent cultural sur le rendement

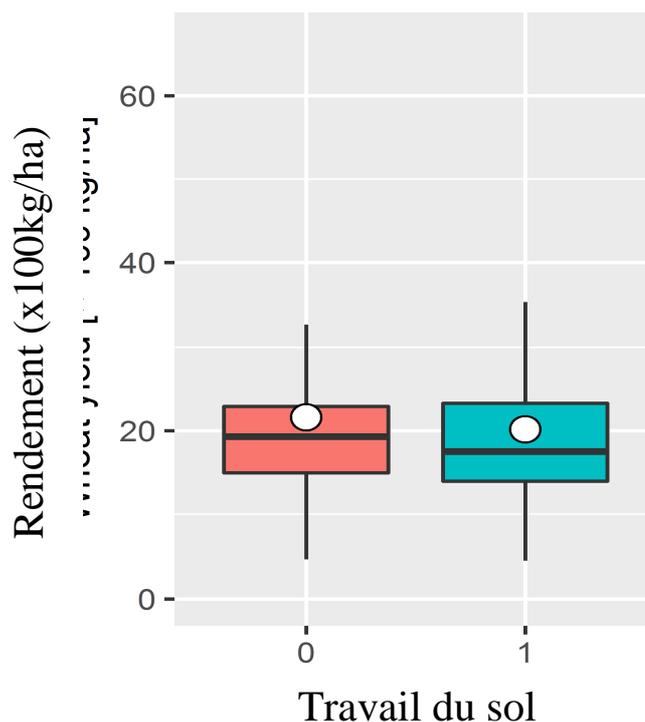
III.2. Effet de travail du sol sur le rendement

Les parcelles agricoles labourées, en utilisant uniquement le travail superficiel, ont enregistré un rendement variant de 0 à 6,65 t / ha avec une moyenne de $2,16 \pm 1,28$ t / ha. Ces valeurs étaient plus élevées que celles enregistrées dans les parcelles avec labour profond où les rendements de blé dur étaient en moyenne de $2,02 \pm 1,02$ t / ha, et variaient entre 0,45 et 5,35 t / ha (**Figure III.3**). Néanmoins, ces moyennes de rendement étaient importantes par rapport à la situation des terres agricoles dans les régions semi-arides d'Algérie. Le GLMM a montré que les pratiques de travail du sol influençaient de manière significative ($\chi^2 = 9,93$, $P = 0,002$) la variation des rendements céréaliers du blé dur cultivé dans le nord-est de l'Algérie. En effet, nos résultats indiquent que les parcelles ayant subi un travail profond ont obtenu des rendements significativement plus faibles ($t = -3,15$, $P = 0,002$) par rapport aux parcelles avec un labour superficiel (**tableau III.2**).

La préparation du sol pour une culture donnée se caractérise par une série ordonnée de préparation du sol et de son parcours cultural à partir de l'état initial et des conditions finales recherchées pour favoriser l'implantation et un développement optimal de la culture, qui dépend aussi du climat et des besoins des cultures (De Vita et *al.*, 2007; Machado et *al.*, 2008; Oustani et *al.*, 2015; Schlegel et *al.*, 2018). En ce sens, les résultats obtenus dans cette étude révèlent que le travail du sol a un effet très important sur la production de blé dur dans les régions semi-arides de l'Algérie.

Nos résultats sont similaires à d'autres études (Bouzza, 1990 ; Makhoulouf et *al.*, 2011; Biolders et *al.*, 2015; Amara et *al.*, 2015), qui ont précédemment démontré que le travail du sol est bénéfique à la croissance du blé car il provoque la fragmentation de la structure du sol et augmente l'aération du sol et l'infiltration d'eau et améliore ainsi la capacité en eau disponible dans le sol.

De plus, le travail du sol a un impact direct sur la réduction des effets des mauvaises herbes, ce qui améliore la production agricole. Dans le même ordre d'idées, au cours d'une expérience de 13 ans impliquant des comparaisons entre des parcelles labourées et non labourées (Riley, 2005), il a été prouvé que les rendements les plus élevés sont enregistrés après le labour par rapport aux parcelles non labourées.



Avec : 0- travail superficiel et 1 – travail profond

Figure III.3 : Effet de travail du sol sur le rendement de blé dur

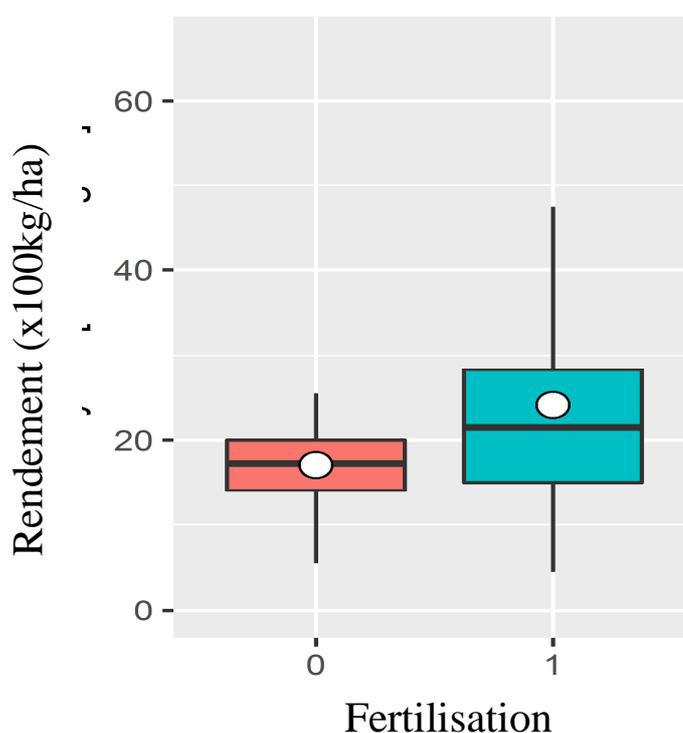
III.3. Effet de la fertilisation sur le rendement de blé dur

La figure III.4, explique la relation entre la fertilisation et la production en grain de blé dur ; l'analyse de cette figure montre l'effet positif de l'engrais sur le rendement des cultures. On Remarque que les parcelles fertilisées enregistrent les meilleurs rendements surtout au-delà de 50% avec une moyenne qui peuvent atteindre jusqu'à 66.5 qx/ ha. En revanche, les rendements enregistrés sans fertilisation et sur le même intervalle ne dépassent pas 30 qx/ha ce qui ne présente même pas la moitié de la production avec fertilisation. Enfin, et sur l'intervalle de 0 à 50% se situe les parcelles qui ont les plus faibles rendements <25qx/ha, quel que soit le traitement sans ou avec fertilisation. Tous ces résultats sont confirmés par l'analyse statistique où le tableau III.2 montre que la fertilisation à un effet significatif sur le rendement de blé dur dans les trois zones d'études.

La fertilisation de toute nature et dose est appliquée principalement pour augmenter le rendement des cultures. Elle peut également atténuer les contraintes environnementales telles que la sécheresse et la salinité lorsqu'elle est appliquée de manière appropriée (Boudjabi et al., 2015, 2019; Oustani et al., 2015).

Les résultats de cette étude confirment cette information. On note que les rendements les plus élevés de blé dur sont obtenus dans les parcelles fertilisées tandis que les parcelles non fertilisées ont donné des récoltes nettement inférieures. L'utilisation imprudente d'engrais minéraux dans l'agriculture intensifiée rend les terres cultivées pauvres en éléments chimiques essentiels à la bonne croissance des plantes. Les recommandations actuelles en matière d'engrais sont basées sur des prévisions de rendement, ce qui signifie que plus le rendement attendu est élevé, plus les besoins en engrais sont élevés (Riley et *al.*, 2012).

En économie agricole, les applications d'engrais devraient être basées sur des modèles de réponse de performance pertinents et économiquement justifiées. Pour des recommandations pratiques d'engrais, une courbe de rendement est souvent ajustée aux valeurs de rendement réelles obtenues à partir d'une ou plusieurs expériences indépendantes (Henke et *al.*, 2007; Sylvester-Bradley et Kindred, 2009).



Avec : (0= sans fertilisation et 1 = avec fertilisation)

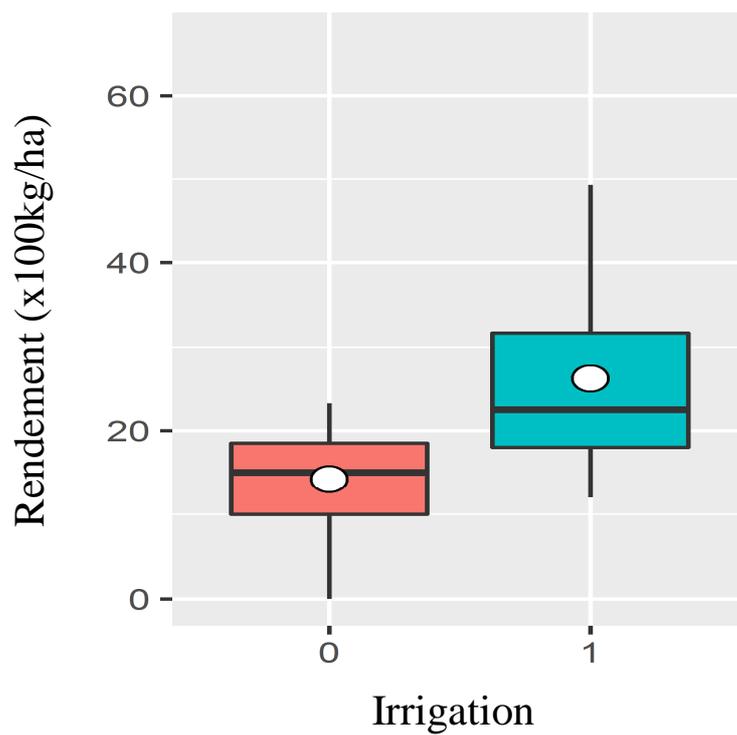
Figure III.4 : Effet de la fertilisation sur le rendement de blé dur

III.4. Effet de l'irrigation sur le rendement de blé dur

La figure III.5) explique la relation entre l'irrigation complémentaire et le rendement de blé dur dans la région semi-aride. On remarque que les parcelles qui adoptent l'irrigation complémentaire comme une pratique culturale importante, pour obtenir une bonne production céréalière, enregistrent les meilleurs rendements par rapport aux parcelles non irriguées avec une moyenne de $2,62 \pm 1,18$ t / ha. Les rendements en céréales varient entre 1,2 et 6,65 t / ha. Dans les parcelles non irriguées le rendement est inférieur à 2,33 t/ha avec une moyenne de $1,42 \pm 0,57$ t / ha. Le GLMM démontre un effet significatif du traitement d'irrigation sur les rendements de blé dur où les valeurs de ce dernier obtenues sous irrigation complémentaire étaient significativement plus élevées ($t = 8,03$, $P = 0,002$) que les parcelles avec blé pluvial (tableau III.2).

Étant donné que les tendances de la variabilité des rendements sont importantes dans de nombreuses zones de cultures pluviales, la sécurité alimentaire dans ces environnements marginaux (par exemple les zones semi-arides) pourrait être gravement affectée en raison de la limitation de l'eau, des sécheresses, des effets du changement climatique et des fluctuations annuelles et / ou saisonnières des conditions météorologiques principalement les précipitations et la température (Tacettin, 2010; Fenni, 2013; Paymard et *al.*, 2019). De plus, dans le climat méditerranéen, des pluies irrégulières et insuffisantes réduisent considérablement la production de blé dur (Mougou et *al.*, 2011). Par conséquent, l'utilisation de l'irrigation devienne une obligation urgente pour assurer un certain équilibre alimentaire des populations (Fellah et *al.*, 2018).

Les résultats obtenus confirment cet état de fait où il est noté que, les parcelles irriguées enregistrent les meilleurs rendements par rapport aux parcelles non irriguées. Cela montre l'importance de l'irrigation dans les zones semi-arides (Fellah et *al.*, 2018). Malgré l'importance de l'irrigation pour les agriculteurs, elle correspond généralement à une irrigation auxiliaire appliquée juste après l'émergence des plantes, donc une sorte d'assurance minimale pour la réussite de la croissance des semis ; elle n'entre pas forcément dans le cadre d'une agriculture intensive (Benniou et Van Damme, 2014).



Avec : (0= sans irrigation et 1= avec irrigation)

Figure III.5 : Effet de l'irrigation sur le rendement de blé dur

Tableau III.1 : Modèles mixtes linéaires généralisés (GLMM) testant la variation des rendements en grains de blé dur suivant les systèmes de culture précédents, les pratiques de travail du sol, les traitements de fertilisation et d'irrigation dans les terres agricoles semi-arides de la région semi-aride de l'Algérie.

Variables	Valeur	SE	df	t-value	P-value	Sig
Précédent cultural 'PCS' ($\chi^2 = 13.75$, $df = 3$, $P = 0.003$)						
Interception = blé □ blé	18.30	5.301	129	3.45	<0.001	**
PCS = autre cereal □ blé	1.71	4.721	129	0.36	0.717	NS
PCS = culture maraichère □ blé	10.81	3.379	129	3.20	0.002	**
PCS = jachere - blé	3.98	2.957	129	1.35	0.180	NS
Travail du sol ($\chi^2 = 9.93$, $df = 1$, $P = 0.002$)						
Intercept = labour superficiel	30.38	7.056	131	4.31	<0.001	***
Labour profond	-14.00	4.443	131	-3.15	0.002	**
Fertilisation ($\chi^2 = 6.24$, $df = 1$, $P = 0.012$)						
Intercept=sans fertilisation	19.98	3.579	131	5.58	<0.001	***
Avec fertilisation	5.03	2.013	131	2.50	0.014	*
Irrigation ($\chi^2 = 64.55$, $df = 1$, $P < 0.001$)						
Intercept = sans irrigation	16.04	4.259	131	3.77	<0.001	***
Avec irrigation	11.96	1.488	131	8.03	0.002	**
<i>(SE: erreur standard , df: degré de liberté, P: P-valeur, Sig.: signification statistique , ***: $P < 0.001$, **: $P < 0.01$, *: $P \leq 0.05$, ^{NS}: $P > 0.05$)</i>						

Conclusion

En Algérie, la céréaliculture occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale, elle occupe avec la jachère environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays. Dans ce chapitre, on a abordé l'effet des pratiques culturales sur le rendement en blé dur. Nos conclusions rejoignent les travaux de littératures qui démontrent l'intérêt de ces pratiques sur la production céréalière (Clapp, 1973 ; Johnson et *al.*, 1979; Nafziger et *al.*, 1986; Caldwell et Starratt, 1987 ; Oweis et Tavakoli, 2004; Lahmar et Bouzerzour, 2010 ; Chennafi, 2010a ; Green et *al.*, 2010 ; Filali, 2011 ; Filali, 2020)

L'examen des résultats obtenus a révélé que la production de blé varie considérablement suivant les différentes pratiques culturales. Le blé sur jachère ou sur une culture maraichère produit un rendement plus élevé, comparativement au blé sur blé. La récolte de blé dans les parcelles ayant subi un travail du sol conventionnel est inférieur par rapport au labour superficiel. Les bonnes pratiques de travail du sol augmentent l'infiltration de l'eau, améliorent la capacité de rétention d'eau et réduisent considérablement les mauvaises herbes ce qui améliore finalement la production végétale. La fertilisation et l'irrigation ont un grand rôle dans la croissance et la bonne nutrition minérale des plantes et donc dans l'augmentation des rendements des cultures. Le choix précis des pratiques agricoles peut garantir une agriculture plus rentable et durable dans les terres arides et semi-arides.

Il paraît clairement que les pratiques culturales jouent un rôle primordial sur le sol et dans l'élaboration du rendement. Cependant, il a été constaté que le facteur sol n'a pas été suffisamment abordé dans les travaux en relation avec la production céréalière, notamment en ce qui concerne, l'élaboration des indicateurs de la qualité des sols. Ce point, très souvent négligé, mérite une attention particulière notamment dans ces sols semi-aride. C'est ce qui sera exploré dans le chapitre suivant.

CHAPITRE IV
INDICATEURS DE
QUALITE DU SOL

CHAPITRE IV

INDICATEURS DE QUALITE DU SOL

Introduction

L'intérêt pour l'évaluation de la qualité et de la santé des sols a été stimulé par la prise de conscience croissante que le sol est une ressource non renouvelable. La préservation de cette ressource est essentielle pour garantir la sécurité alimentaire et un avenir durable de l'environnement local, régional et même mondial (Glanz, 1995).

En raison de l'agriculture intensive, le patrimoine sol est menacé par l'érosion, la perte de nutriments, la pollution, le surpâturage, le défrichage, la salinisation et la désertification (Oldeman, 1994; Askari et Holden, 2014; Juhos et *al.*, 2016). La fertilité des sols a diminué au cours des 50 dernières années. La gestion intensive a entraîné, dans certains cas, un dommage irréversible compromettant ce patrimoine pour les générations futures (Lal et *al.*, 1998; Doran et Zeiss, 2000).

Compte tenu de cette dégradation croissante des sols agricoles, il est impératif de préserver les ressources en sols et d'améliorer ses qualités et sa santé globale. De cette manière, les indicateurs de la qualité des sols sont devenues des outils d'évaluation de la santé et de la durabilité des systèmes de gestion des sols (Schloter et *al.*, 2006). La qualité des sols est de plus en plus proposée en tant qu'indicateur d'intégration de la qualité de l'environnement (Conseil national de la recherche, 1993), de la sécurité alimentaire (Lal, 1999) et de la viabilité économique (Hillel, 1991).

L'objectif du présent chapitre est faire un passage en revue sur les procédures de quantification de la qualité et de la santé des sols par des indicateurs physiques, chimique, biologiques et des indicateurs globaux.

I. La qualité des sols agricoles

I.1. Concept de la qualité et de la santé des sols

Le sol est une source fondamentale pour la production agricole. Il représente à la fois le domaine des processus vitaux importants et le lieu de vie de nombreux organismes vivants (Atlas et Bartha, 1997).

Étant un milieu complexe, le sol est assez difficile à évaluer. Dans le passé, l'identification de la fertilité reposait sur la capacité de soutenir la production agricole. De nos jours, la qualité des sols comprend un large éventail de fonctions et de services.

Le concept de qualité ou santé des sols a été introduit vers la fin des années 1980 et au début des années 1990 pour répondre à de multiples définitions issues des multiples préoccupations spécifiques de la science du sol, de la gestion du paysage, de la cartographie des sols, de l'agriculture, etc.

D'une manière générale, les scientifiques préfèrent le terme «qualité du sol» car il décrit les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques quantifiables. Les producteurs préfèrent la «santé du sol» où ils considèrent le sol comme un organisme vivant et dynamique qui fonctionne de manière globale plutôt comme étant un mélange inanimé de sable, de limon et d'argile (Harris et Bezdicek, 1994 ; Warkentin, 1995 ; Doran et Parkin, 1996). En effet, la qualité du sol, signifie essentiellement «la capacité d'un sol à fonctionner » (Larson et Pierce, 1991 ; Doran et Parkin, 1994 ; Karlen et *al.*, 1997).

Selon Shukla, (2006), le principe de la qualité du sol repose sur la préservation de ses ressources et la protection de l'environnement. Cependant, pour les consommateurs, le sol est considéré comme un facteur de la production de produits alimentaires sains et peu coûteux. Pour les environmentalistes, cela peut signifier une capacité à maintenir ou à améliorer la biodiversité, la qualité de l'eau, le cycle des éléments nutritifs et le rendement en biomasse (Mausback et Seybold, 1998).

Une version élargie de cette définition par le comité ad-hoc sur la qualité du sol mentionne que «la capacité d'un type de sol spécifique à fonctionner dans les limites d'un écosystème naturel ou aménagé afin de soutenir la productivité des plantes et des animaux, maintenir ou améliorer la qualité de l'eau et de l'air, et favoriser la santé humaine et l'habitation (Karlen et *al.*, 1997; Doran et zeiss, 2000).

De manière simple, le Service de Conservation des Ressources Naturelles du Ministère de l'Agriculture des États-Unis propose en 2005 sur son site Web (soils.usda.gov/sqi) la définition suivante : «la qualité du sol est la façon dont le sol fait ce que nous voulons faire. En raison des nombreuses utilisations possibles du sol, la signification du terme qualité du sol dépend fortement de l'écosystème considéré ».

Certaines personnes ont suggéré que la qualité du sol est simplement liée à la quantité de cultures produites. D'autres ont insisté sur l'importance de démontrer comment la qualité du sol affecte la qualité des aliments pour les animaux et les denrées alimentaires pour les humains (Hornick, 1992), ou comment la qualité du sol affecte l'habitat d'un large éventail de biotes (Warkentin, 1995; Karlen *et al.*, 1997). Allant d'un point de vue purement agricole à un point de vue plus environnemental, plusieurs pédologues (De Haan *et al.*, 1990; Gregorich *et al.*, 1994; Chaussod et Houot, 1996; Máté et Tóth, 1996; Bouma, 1997; Doran et Safley, 1997; Karlen *et al.*, 1997; Sojka et Upchurch, 1999; Davidson, 2000; Doran et Zeiss, 2000; Loveland et Thompson, 2002; Arshad et Matin, 2002; Wienhold *et al.*, 2004; Tóth *et al.*, 2007; Bastida *et al.*, 2008; Marzaioli *et al.*, 2010; Coll *et al.*, 2012), ont noté que :

Pour les sols agricoles, il est possible d'identifier quatre aspects principaux de la qualité des sols : i) la capacité du sol à fournir aux cultures des nutriments, (aspect de fertilité), ii) aspects sanitaires (contamination par des agents pathogènes, des ravageurs ou des mauvaises herbes), iii) aspects environnementaux ou l'impact du fonctionnement du sol sur d'autres compartiments de l'écosystème (effet sur la qualité de l'eau et de l'air) et iv) la capacité de résistance et de récupération de tous les facteurs biologiques, après un stress physique ou chimique.

Le schéma d'évaluation doit prendre en compte les deux éléments fondamentaux de la qualité du sol : la capacité fonctionnelle et la réponse des propriétés du sol à ses fonctions. Ces deux éléments révèlent la capacité à remplir une fonction dans des conditions données et la plage de la capacité de fonctionnement dans des conditions changeantes. L'évaluation de la qualité du sol doit donc être effectuée en tenant particulièrement compte de l'objectif de l'évaluation (Tóth *et al.*, 2008).

De bonnes pratiques de gestion et de conservation sont nécessaires car la santé, la biodiversité et la résilience des sols sont sensibles aux perturbations anthropiques (Freckman et Virginia, 1997). Un équilibre entre la fonction du sol pour la productivité, la qualité de

l'environnement et la santé des plantes et des animaux est nécessaire pour une santé optimale des sols (Doran, 2002).

Dans la littérature connexe, les deux termes sont mélangés et on peut considérer que la qualité du sol englobe la santé du sol (Anderson, 2003). L'évaluation de la qualité des sols, et en particulier l'identification des propriétés clés des sols pouvant servir d'indicateurs de la santé des sols, est devenue un enjeu majeur pour les gestionnaires des terres et les producteurs d'aliments du monde entier.

I.2. Les indicateurs de la qualité et de la santé du sol

La réussite des techniques de gestion de la qualité des sols dépend de notre compréhension de la façon dont les sols réagissent à l'utilisation des différentes pratiques agricoles (Gregorich et *al.*, 1994). Cependant, la qualité du sol ne peut être mesurée directement à partir du sol seul, mais elle est déduite des caractéristiques et du comportement du sol dans des conditions définies et en fonction des pratiques culturales.

De plus, il n'existe pas de mesure unique permettant de quantifier la qualité du sol (Stewart, 1992), mais certaines propriétés du sol pourraient constituer de bons indicateurs si on les considère ensemble (Mursec et Chaussod, 2012). Sa caractérisation nécessite la sélection des propriétés les plus sensibles aux changements de pratiques culturales (Yakovchenko et *al.*, 1996).

Comprendre la réponse des sols aux pratiques agricoles au fil du temps permet d'évaluer si les pratiques étudiées maintiennent ou améliorent la qualité des sols. Traditionnellement, la qualité du sol était principalement associée à sa productivité (Hornik et *al.*, 1992), mais ce concept est devenu à nos actuellement beaucoup plus élaboré.

Les bons indicateurs de la qualité des sols doivent être suffisamment sensibles à la gestion des terres et permettent un accès analytique et une utilité pratique aux spécialistes de l'agriculture, aux producteurs, aux défenseurs de l'environnement et aux décideurs (Doran et Parkin, 1996).

Initialement, l'utilisation d'un ensemble d'indicateurs de base pour évaluer la qualité des sols dans divers systèmes de gestion agricole a été proposée. Le nombre de ces indicateurs clés sont extrêmement utiles aux spécialistes comme les chercheurs, les agents de vulgarisation, les environnementalistes, les gestionnaires des sols et les normalisateurs) (Hamblin et Metcalf, 1991). Cependant, l'utilisation d'indicateurs simples de la qualité des

sols ayant une signification pour les agriculteurs et les autres gestionnaires de terres sera probablement le moyen le plus efficace de lier la science à la pratique pour évaluer la durabilité des sols (Romig et *al.*, 1995).

Bien que les sols aient une qualité inhérente liée à leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques dans les limites imposées par le climat et les écosystèmes, le facteur déterminant ultime de la qualité et de la santé des sols est le gestionnaire des terres. À ce titre, l'évaluation de la qualité des sols et l'orientation des changements dans le temps constituent un indicateur fondamental de la gestion durable (Doran, 2002 ; Karlen et *al.*, 1997).

Pour évaluer la qualité du sol, les indicateurs issus de la caractérisation des sols sont généralement liés à une fonction spécifique du sol (Howard et *al.*, 1993; Larson et Pierce, 1994; Karlen et Kuylenstierna, 1996; Doran et Parkin, 1996), comme par exemple la fonction support pour la croissance des plantes et reflètent les changements à diverses échelles spatiales et temporelles.

Pour constituer de bons indicateurs, les propriétés du sol sélectionnées doivent être faciles à mesurer, vérifiables et bien liées à l'aménagement des terres et à la transformation de l'environnement (Carter et *al.*, 1997; Seybold et Hill, 2001; Erkossa et *al.*, 2007).

I.2.1. Indicateurs physiques des sols

Les indicateurs physiques sont liés à la taille et à la disposition des particules solides entre elles et l'espace poreux engendré par cette disposition.. Les exemples incluent la profondeur de la couche arable, la densité apparente, la porosité, la stabilité des agrégats, la texture, la structure, l'apparition de croûte et du compactage. Les indicateurs physiques reflètent principalement les limites de la croissance des racines, de l'infiltration ou du mouvement de l'eau dans le profil du sol (Ditzler et Tugel, 2002).

La texture, la porosité et l'agrégation affectent significativement le comportement du sol. La croissance des cultures est généralement endommagée par un sol compacté ; néanmoins un bon rendement ne sera pas obtenu à partir d'un sol directement après le labour, car il est trop meuble. Une texture équilibrée avec un faible compactage est nécessaire pour un rendement élevé (Arshad et Coen, 1992). La densité apparente du sol (et la porosité) varient en fonction de la texture, de la structure et de la teneur en matière organique du sol, mais dans un type de sol donné, elles peuvent être utilisées pour contrôler le degré de

compactage du sol. Les modifications de la densité apparente affectent d'autres propriétés et processus qui influent sur l'approvisionnement en eau (Schoenholtz et *al.*, 2000).

Les paramètres de transfert de l'eau sont universellement importants pour surveiller toutes les fonctions du sol. Ils sont plus fréquemment rencontrés dans l'étude des indicateurs physiques de la qualité des sols (Schoenholtz et *al.*, 2000).

La stabilité des agrégats décrit la capacité du sol à conserver son agencement d'espace solide et vide lorsqu'il est exposé à des contraintes différentes (Kay et *al.*, 1990). La stabilité structurale du sol est un paramètre essentiel, qui influe sur de nombreuses propriétés physiques du sol, telles que l'infiltration de l'eau et la relation atmosphère sol, mais également sur l'activité biologique et la croissance des plantes (Lynch et Bragg, 1985).

Pour évaluer l'impact des pratiques culturales sur l'état du sol, il est nécessaire de quantifier les modifications apportées à la structure du sol (Danielson et Sutherland, 1986). Les systèmes des cultures ayant généralement une forte influence sur les caractéristiques structurales du sol, la stabilité des agrégats est considérée comme un indicateur clé pour évaluer la structure du sol (Six et *al.*, 2000) ainsi que la qualité du sol (Albiach et *al.*, 2001). Le changement de la structure du sol est de plus en plus aperçu comme une forme de dégradation du sol et il est souvent lié à l'utilisation des sols et aux pratiques culturales (Chan et *al.*, 2003).

I.2.2. Indicateurs chimiques des sols

La matière organique du sol est l'un des paramètres les plus importants de la qualité du sol pour les scientifiques et les agriculteurs (Romig et *al.*, 1995). La matière organique du sol est une source d'éléments nutritifs, améliore les propriétés physiques et chimiques du sol et favorise l'activité biologique (Doran et Parkin, 1994; Gregorich et *al.*, 1994). La teneur en matière organique du sol change très lentement et il faut généralement plusieurs années pour détecter les changements résultant d'une pratique culturale (Kandeler et Murer, 1993).

Il est bien connu que la mise en culture des ressources naturelles en terres induit des pertes de matière organique, qui, à leur tour, affectent directement les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol et finissent par entraîner une perte de capacité de production (Stevenson et Cole, 1999). Le carbone organique du sol et l'azote total sont sans doute les indicateurs les plus significatifs de la qualité et de la productivité des sols (Larson et Pierce, 1991; Cannell et Hawes, 1994).

La CEC et la surface spécifique sont souvent utilisées comme des outils de prédiction et d'évaluation des propriétés des constituants des sols. Il a ainsi été montré que la rétention de l'eau dans les argiles est étroitement liée à la capacité d'échange et à la surface spécifique (Tessier et *al.*, 1999). Bruand et Zimmer, (1992) ont aussi constaté que la capacité d'échange en cations était un bon estimateur des propriétés de rétention de l'eau dans les horizons argileux de faible teneur en matière organique.

I.2.3. Indicateurs biologiques des sols

Les microorganismes du sol se sont révélés être des indicateurs potentiellement utiles (précoces et sensibles) de la santé des sols, car ils réagissent à la gestion des sols à des échelles de temps (mois / années) pertinentes pour la gestion des terres (Torsvik et *al.*, 1996; Hewitt et Sparling, 1998; Sparling et *al.*, 1999; Pankhurst, 1997; Kandeler et Murer, 1993). Certaines mesures biologiques, telles que les activités enzymatiques, ne sont pas utiles pour mesurer la qualité des sols car elles sont trop affectées par les variations saisonnières et spatiales (Nannipieri, 1994).

Les programmes nationaux de surveillance de la qualité des sols reposent généralement sur des mesures de la biomasse microbienne et de la respiration et s'étendent parfois également à la minéralisation de l'azote, à la diversité microbienne et aux groupes fonctionnels de la faune du sol (Bloem et *al.*, 1998).

L'une des principales difficultés rencontrées dans l'identification des organismes du sol proprement dits, ou des processus du sol induits par ces organismes, en tant qu'indicateurs de la santé des sols a été problématique : ce qu'il fallait mesurer, quoi, quand, et comment interpréter les changements à long terme de cette fonction du sol (Visser et Parkinson, 1992 ; Pankhurst et *al.*, 1997; Kandeler et *al.*, 1993; Sparling, 1997).

Les microorganismes du sol sont impliqués dans de nombreux processus biochimiques et en particulier dans le renouvellement du carbone (Buckley et Schmidt, 2003). Ils jouent un rôle important dans la fertilité des sols (en particulier la décomposition de la matière organique et le recyclage des éléments nutritifs pour les plantes) et la décontamination des sols, en particulier la dégradation ou la bioaccumulation de résidus toxiques (Soulas et Lors, 1999).

I.3. Indice de la qualité des sols (SQI)

L'évaluation de la qualité et de la santé d'un sol nécessite une amalgamation de paramètres physiques, chimiques et biologiques pour fournir un indice unique de la qualité globale du sol (Gregorich et *al.*, 1994; Doran et Safely, 1997 ; Burns et *al.*, 2006).

La comparaison des indicateurs individuels par rapport aux sites de référence est un moyen efficace d'évaluer la qualité d'un sol (Bucher et *al.*, 2002 ; Carey et *al.*, 2009 ; Nelson, 2009). D'après Hunt et Wall, (2002), les indicateurs individuels sont souvent interdépendants ou peuvent indiquer une redondance fonctionnelle. Leur association significative dans un seul indice peut donc améliorer l'évaluation de la qualité des sols (Bucher et *al.*, 2002; Andrews et *al.*, 2002). Certains chercheurs convertissent les valeurs des indicateurs en scores avant de les intégrer en un indice global. Cela nécessite l'établissement d'une relation fonctionnelle entre la fonction du sol en question et les indicateurs (Erkossa et *al.*, 2007).

I.4. Impact des pratiques culturales sur la qualité des sols.

Des technologies de production inappropriées ont entraîné une détérioration de la qualité du sol, une perte de matière organique et une dégradation de la structure, affectant les flux d'eau, d'air et de nutriments et, par conséquent, la croissance des plantes (Golchin et *al.*, 1995).

Le sol sous pression est en risque de perdre sa qualité. La Commission Européenne (2002) a reconnu que la dégradation des sols dans le monde est un grave problème imputable à des activités humaines telles que des pratiques agricoles inappropriées, l'étalement urbain et industriel.

La dégradation des caractéristiques du sol par l'impact anthropique modifie les capacités fonctionnelles du sol. Les technologies agricoles et les pratiques actuelles telles que la monoculture, la fertilisation minérale, la surutilisation de pesticides, les machines agricoles lourdes, les pratiques de gestion inadéquates des sols et de l'irrigation peuvent affecter considérablement la qualité des sols en modifiant les propriétés physiques, chimiques et biologiques (Fauci et Dick, 1994).

L'érosion, la baisse de la teneur en matière organique, la contamination, le compactage, la salinisation et les glissements de terrain ont été identifiés comme les principales menaces pour le sol (Andrews et Carroll, 2002; Commission Européenne, 2002). La culture conventionnelle, en raison de l'enlèvement continu des sols et de l'utilisation intensive des

machines agricoles et des engrais, est la principale activité conduisant à la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Albiach et *al.*, 2000). Ces modifications entraînent une transformation plus ou moins importante des processus du sol.

Il est important de savoir que le sol est une ressource non renouvelable, car sa régénération par altération chimique et biologique de la roche mère nécessite un temps géologique assez important (Huber et Weis, 2001). Certaines pratiques agricoles impliquent la modification des propriétés du sol de différentes manières et à différents niveaux.

L'irrigation est l'une des pratiques culturales les plus courantes et son effet positif sur la production végétale est bien connu. Les avantages de l'irrigation peuvent inclure : une qualité améliorée des cultures, une production agricole plus précoce, des rendements plus élevés, une distribution efficace des éléments nutritifs, un stress moindre des plantes et une variabilité réduite des rendements (Cetin et *al.*, 2004). L'irrigation est directement liée aux conditions hydriques du sol, ce qui pourrait affecter la structure du sol et donc le rapport eau / air, la nutrition des plantes, la biomasse microbienne et l'activité du sol (Mateja et *al.*, 2011). Bien que l'agriculture irriguée présente certains avantages, tels que l'augmentation du rendement (Bilgehan, 1998), elle pose certains problèmes tels que la salinisation-alcalinisation et la dégradation de la structure du sol (Çullu et *al.*, 2002).

Selon les propriétés physiques, chimiques et biologiques spécifiques à chaque type de sol, l'irrigation peut présenter de nombreux avantages et inconvénients. Parmi les risques potentiels associés à l'irrigation avec les eaux, la dégradation de la structure du sol, diminution de la conductivité hydraulique du sol, étanchéité de surface, problèmes de ruissellement et d'érosion du sol, compactage du sol et diminution de l'aération du sol (Bhardwaj et *al.*, 2007).

Tous les travaux de labour, y compris l'aération et le soulèvement du sol, causent des dommages directs à la vie du sol et l'exposent potentiellement à de nouveaux prédateurs.

La réduction du nombre de travaux de labour et / ou l'augmentation de la durée des semis sans labour sont susceptibles d'entraîner une augmentation de la biomasse du sol. C'est pourquoi les sols de prairies ont généralement des populations de vers de terre et microbienne plus importantes que les sols arables.

L'intensité accrue du travail du sol est généralement liée à des perturbations de l'espace d'habitat pour les organismes du sol et à une diminution du temps pendant lequel le sol est recouvert par une plante en croissance. La réduction de la profondeur et de l'intensité des cultures est considérée comme bénéfique pour la santé du sol.

II. Analyse compositionnelle pour l'amalgamation des indicateurs

En 1982, le professeur John Aitchison a présenté son travail bien connu *The Statistical Analysis of Compositional Data (ACD)*, devant le comité Royal Statistical Society (RSS) de Londres. L'analyse compositionnelle selon Aitchison (1986) est constituée de vecteurs de valeurs positives additionnées à une unité ou une constante fixe pour tous les vecteurs. Elle est appliquée dans plusieurs domaines (la géologie, la sociologie, la psychologie et en Agronomie) (Aitchison, 2002).

Ce type de données est généralement fermé (Clos) dont la somme des composantes est obligatoirement égale à 100%. Ces composantes forment donc un simplexe, dit de composition. Notez que le total des composantes du simplexe de composition n'est en fait pas pertinent. Paradoxalement, bien que cette opération soit très courante dans la pratique et reflète en quelque sorte l'interprétation implicite des données en tant que quantités relatives par les praticiens, cette caractéristique n'est pas davantage prise en compte dans l'analyse ultérieure des données lors de l'utilisation de méthodes standard (Aitchison, 1986 ; Warton et *al.*, 2012 ; Friedman et Alm, 2012 ; Fernandes et *al.*, 2013 ; Chastin et Palarea-Albaladejo, 2015 ; Pawlowsky-Glahn et *al.*, 2015).

La nature de l'analyse compositionnelle implique des propriétés très importantes : la redondance des informations où lorsque la composition est fermée à 100%, la quantité d'un composant peut être calculée par différence entre l'un et la somme des autres. (Aitchison et Greenacre, 2002) ; l'incohérence sous-compositionnelle où les résultats des tests statistiques diffèrent selon l'unité à laquelle une composition est fermée (Tanner, 1949) et enfin la distribution non normale où les données normalement distribuées sont cartographiées dans un espace réel (Bacon-Shone, 2011). Actuellement, CAD est un programme développé sur R, incluant la formation du simplexe de composition.

L'analyse compositionnelle est une solution mathématique où la transformation du rapport logarithmique centrée (clr) est utilisée pour ouvrir les données fermées et interpréter directement les variables centrées à l'origine (Aitchison, 1986 ; Aitchison et Greenacre, 2002). Elle est basée sur la division des composantes du simplexe de composition par leur moyenne géométrique (Aitchison et Egozcue, 2005).

L'objectif de cette analyse est de conserver les informations de la base des données les plus importants avec seulement quelques composants principaux (Maronna et *al.*, 2006).

III. Elaboration des indicateurs de la qualité du sol

III.1. Matériel et méthodes

III.1.1. Matériel

Les échantillons du sol ont été prélevés sur 135 parcelles (ou 350 échantillon en tenant compte des répétitions). Ces échantillons sont prélevés avant le labour à une profondeur de 0-30 cm (horizon travaillé) à l'aide d'une pelle. Une fois collectés, les échantillons de sol ont été séchés à l'aire libre, broyés et tamisés à travers un tamis de 2 mm au laboratoire. Les analyses des sols ont été réalisées en adoptant les méthodes couramment utilisées (Cf. chapitre 2).

III.1.2. Méthodes.

La méthodologie adoptée dans cette étude est inspirée de la méthode d'Arshad et Martin (2002) (**figure IV.1**).

La première étape est le choix de certains sites représentatifs des zones céréalières dans l'Est Algérien. Dans notre cas, ce sont les zones de Batna, Setif et Oum el bouaghi. A cause d'une forte variabilité des sols, de reliefs et de types de couvert végétal dans ces milieux, il a été procédé à une enquête auprès d'un grand nombre de gens professionnels (agriculteurs, directeurs des directions et des chambres agricole, représentants des producteurs des céréales, ingénieurs agricoles). Ceci nous a permis de créer un réseau et sélectionner les parcelles étudiées, de telle façon que certaines variations sont minimisées, avec la conservation de la variation des pratiques culturales (**figure IV.1**).

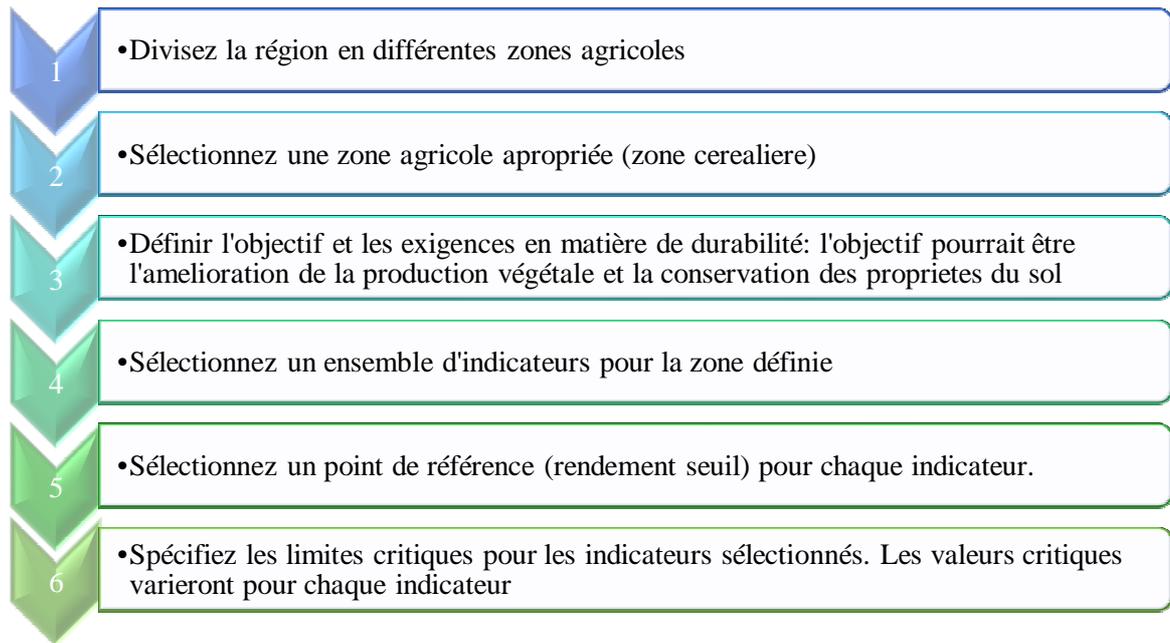


Figure IV.1 : les principales étapes pour le suivi de la qualité des sols agricoles inspirées d'Arshad et Martin (2002).

III.2. Evaluation des indicateurs de la qualité des sols par analyse compositionnelle (CA)

Les résultats obtenus, à partir des analyses des différentes propriétés physiques et chimiques des sols étudiés dans les trois zones d'études, ont été analysées statistiquement à l'aide du package Excel (Microsoft, 2013) pour calculer les normes, soit les rapports logarithmiques centrés par rapport à la moyenne et réduits par rapport à l'écartype de la population à haut rendement (ou oproductive). Pour calculer les partitions binaires de Cate_Nelson, on a utilisé le logiciel R (R x64 3.6.2). Les cinq étapes de l'analyse compositionnelle sur les simplex de composition e sont résumées dans la **figure IV.2**

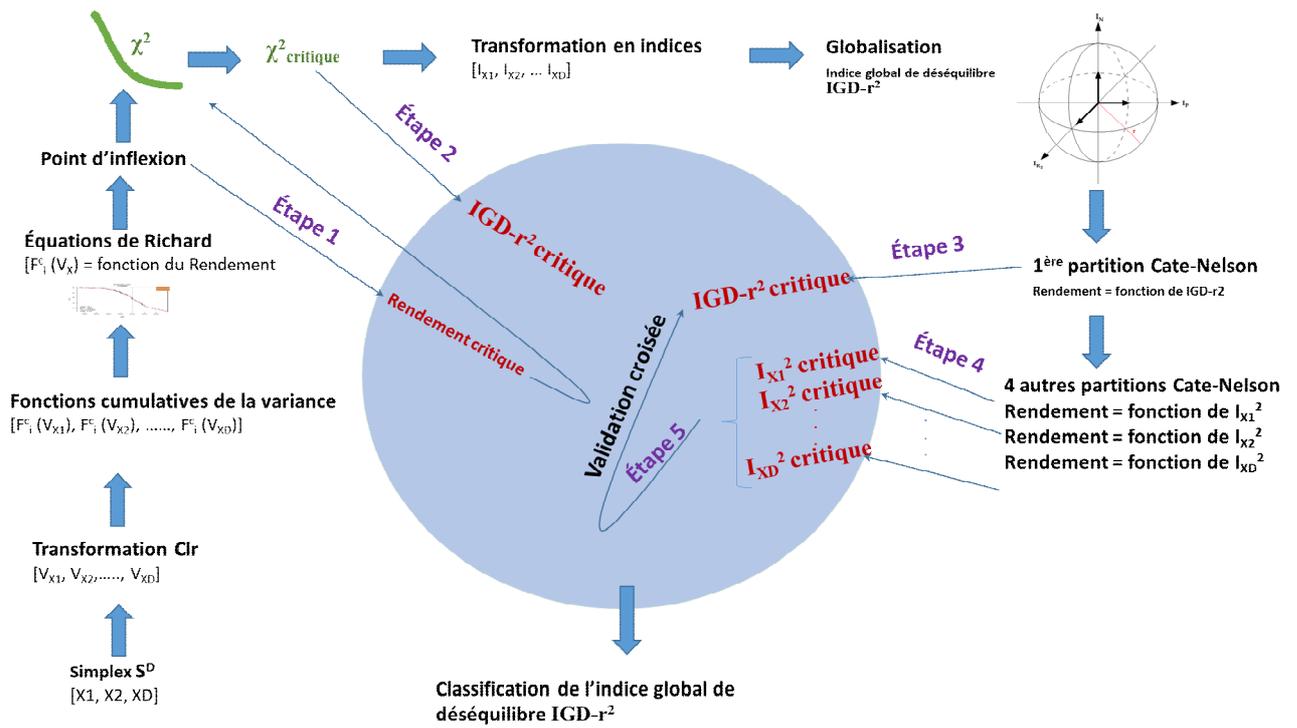


Figure IV.2 : Etapes de l'analyse compositionnelle et de globalisation des indicateurs.

IV- Résultats et discussion

IV.1. Développement d'indicateurs globaux de la texture des sols

Le résonnement

La texture du sol forme un simplexe de composition de cinq composantes granulométriques dont la somme est égale à 100% et qu'on a noté Simplex Texture (S^5), selon la théorie des données compositionnelle (Aitchison, 1986) :

$$S^5 = \{(C, FL, CL, FS, CS) : C > 0, FL > 0, CL > 0, FS > 0, CS > 0 ; C + FL + CL + FS + CS = 100\} \quad (1)$$

Où : C= Argile, FL= Limon Fin, CL= Limon grossier, FS= Sable fin, CS= Sable grossier, sont des proportions granulométriques exprimées toutes en pourcentage.

Les fractions granulométriques deviennent invariantes à l'échelle quand on les divise par leur moyenne géométrique (G) définie comme suit (Eq. 2) :

$$G = [Cx FLx CLx FSx CS]^{1/5} \quad (2)$$

V_C , V_{FL} , V_{CL} , V_{FS} et V_{CS} , constituent l'expression des rapports log-centré respectivement de ces cinq composantes granulométriques sur leur moyenne géométrique (Eq. 3)

$$V_C = \ln\left(\frac{C}{G}\right), \quad V_{FL} = \ln\left(\frac{FL}{G}\right), \quad V_{CL} = \ln\left(\frac{CL}{G}\right), \quad V_{FS} = \ln\left(\frac{FS}{G}\right), \quad V_{CS} = \ln\left(\frac{CS}{G}\right) \quad (3)$$

$$V_C + V_{FL} + V_{CL} + V_{FS} + V_{CS} = 0 \quad (4)$$

Par définition la somme des fractions granulométriques est égale à 100% (Eq 1) et la somme des valeurs log-centrées des différentes fractions sur la même ligne doit être nulle (Eq 4). Soit V^*_C , V^*_{FL} , V^*_{CL} , V^*_{FS} , V^*_{CS} et SD_C , SD_{FL} , SD_{CL} , SD_{FS} et SD_{CS} , les premières normes du simplexe Texture S^5 , soit respectivement les moyennes et les écart-types des valeurs log-centrées des 5 composantes granulométriques calculés sur les sites ayant montré des valeurs de rendement supérieur au rendement critique.

Les rapports logarithmiques centrés sur les rangées des échantillons indépendants sont normalisés comme suit :

$$I_C = \frac{(V_C - V^*_C)}{SD_C}, \quad I_{FL} = \frac{(V_{FL} - V^*_{FL})}{SD_{FL}}, \quad I_{CL} = \frac{(V_{CL} - V^*_{CL})}{SD_{CL}}, \quad I_{FS} = \frac{(V_{FS} - V^*_{FS})}{SD_{FS}}, \quad I_{CS} = \frac{(V_{CS} - V^*_{CS})}{SD_{CS}} \quad (5)$$

Où : I_C , I_{FL} , I_{CL} , I_{FS} et I_{CS} sont les indices granulométriques

Les indices granulométriques tels que définis par l'équation (5), sont des variables standardisées et linéarisées dans un espace multi-dimensionnel (Aitchison, 1986). L'indice de déséquilibre granulométrique d'un échantillon diagnostiqué est son IGD-r2 ou noté tout simplement $r_{granulo}^2$ est calculé selon l'équation suivante :

$$r_{granulo}^2 = I_C^2 + I_{FL}^2 + I_{Cl}^2 + I_{FS}^2 + I_{CS}^2 \quad (6)$$

La somme des composantes au carré des variables standardisées indépendantes, produit une nouvelle variable ayant une distribution du Khi-deux avec un degré de liberté de 5 selon Ross. (1987).

Selon les équations précédentes (5) et (6) plus les indices granulométriques (les valeurs calculées par $r_{granulo}^2$ et le chi-deux), sont proches de zéro plus la probabilité d'obtenir un bon rendement est élevée.

Étape 1. Sélection d'une sous-population à rendement acceptable

Les cinq fonctions des rapports de variance cumulative $F_i^c (V_x)$ en fonction des rendements ont toutes montré des formes sigmoïdales (**Figure IV.3**) qui s'ajustent à l'équation de Richard d'une façon très hautement significative ($P < 0.01$) avec des coefficients de corrélation R^2 proches de 0.99 (**Tableau IV.1**). Les points d'inflexion issus de ces équations varient de 13.6 à 19.9 qx.ha⁻¹. Le rendement le plus élevé proche de 20 qx.ha⁻¹ a été retenu pour séparer la sous-population de rendement acceptable de celle de moins acceptable.

Dans le même contexte. Plusieurs études ont souligné que, la production céréalière réalisée au cours de la période de 2010-2017, est estimée à **41.2** Millions de quintaux en moyenne par rapport à la décennie 2000-2009. La production est estimée en moyenne à **32.6** Millions de quintaux, dont le blé dur pendant la même période (2010-2017), enregistre une moyenne de 20.38qx.ha⁻¹ comparativement au rendement obtenus durant la période 2000-2009, et qui ne dépasse pas 14qx.ha⁻¹ (MADR, 2019 ; Chennafi et *al.*, 2008a ; FAOSTAT, 2019). Ce rendement est loin, de couvrir la demande qui est de plus en plus importante. Cette variabilité dans la production est directement et indirectement influencée par des facteurs morphologiques, physiologiques, et environnementaux (Prasadet *al.*, 2007). Les spécimens à rendement acceptable ≥ 20 qx de blé dur ha⁻¹ représentaient 167 des 350 spécimens appartenant à l'ensemble de la population étudiée.

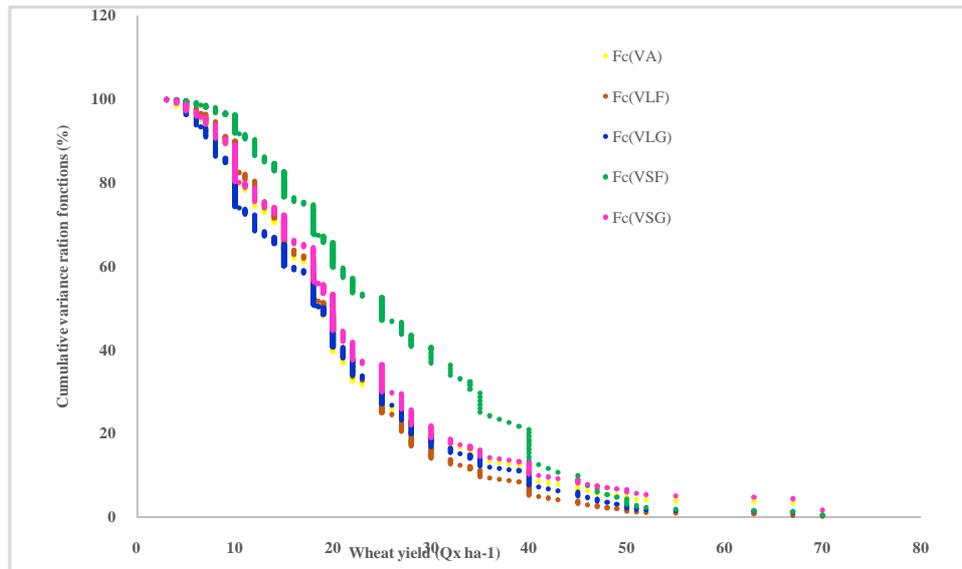


Figure IV.3 : Relation entre le rendement en blé et la fonction du rapport de variance cumulée.

Tableau IV.1 : Fonction d’ajustement des fonction cumulative de variance $F_i^c(V_X)$ aux équations de Richards

$FcV(y) = A + \frac{K - A}{(C + e^{-B(y-M)})^{1/v}}$							
	A	K	M	B	V	Fc(PI)	Rdt (PI)
$F_i^c(V_A)$	102	5.54	4.66	0.134	0.229	63.0	15.6
$F_i^c(V_{LF})$	102	1.21	5.19	0.134	0.224	61.3	16.4
$F_i^c(V_{LG})$	113	0.0702	2.51	0.0994	0.202	67.5	13.6
$F_i^c(V_{SF})$	113	-2.81	5.05	0.0817	0.296	64.9	19.9
$F_i^c(V_{SG})$	102	4.86	4.18	0.122	0.218	62.6	16.6
<p>$F_i^c(V_X)$: la fonction cumulative de de la variance (%) pour la composante X; A: l'asymptote inférieure; K: l'asymptote supérieure; M: moyenne; B: le taux de croissance = 3 (rendement inférieur, rendement acceptable et rendement supérieur); C: prend généralement une valeur de 1; V: affecte près de laquelle la croissance maximale asymptote se produit > 0; Fic(VX) -IP: La valeur critique de la fonction de rapport de variance cumulée (%) pour la composante X au point d'inflexion (IP); Rendement-PI: rendement critique en qx/ha au point d'inflexion (IP); $F_i^c(V_C)$: fonction cumulative de variance pour l'argile; $F_i^c(V_{FL})$: fonction cumulative de de variance pour le limon fin; $F_i^c(V_{CL})$: fonction cumulative de variance pour le limon grossier; $F_i^c(V_{FS})$: fonction cumulative de variance pour le sable fin, et $F_i^c(V_{CS})$: fonction cumulative de variance pour le sable grossier.</p>							

Étape 2. Valeur critique théorique de l'indice global de déséquilibre : r^2_{granulo}

La population totale inventoriée de 350 a montré que 167 spécimens sont au-dessus et 183 spécimens sont au-dessous du seuil de rendement de 20 qx.ha^{-1} déterminée dans l'étape 1, d'où la proportion de spécimens à faible rendement est de $183/350$ ou 52%. Si on admet que la population inventoriée est normale et que sa valeur médiane est proche de sa valeur moyenne de rendement critique de 20 qx.ha^{-1} , le 50^{ème} centile serait proche de ce 52%. On en déduit une valeur du chi-carré critique de 4.2 (**figure IV.4**) correspondant à un maximum pour qualifier un échantillon dans la sous-population à un rendement de blé dur acceptable. Cette valeur critique permet non seulement d'identifier la texture appropriée pour obtenir un rendement acceptable, mais aussi de l'ordre dans lequel les autres textures pourraient devenir limitatifs à la productivité des céréales dans la région semi-aride de l'est algérien. Cette nouvelle indication de chi-carré critique pourrait constituer un élément de diagnostic et de recommandation des sols aptes à recevoir cette culture dans cette région. Cette amalgamation des composantes texturale en un seul indice global (Eq 7) pourrait générer des normes compositionnelles spécifiques à chaque système agro-pédo-climatique.

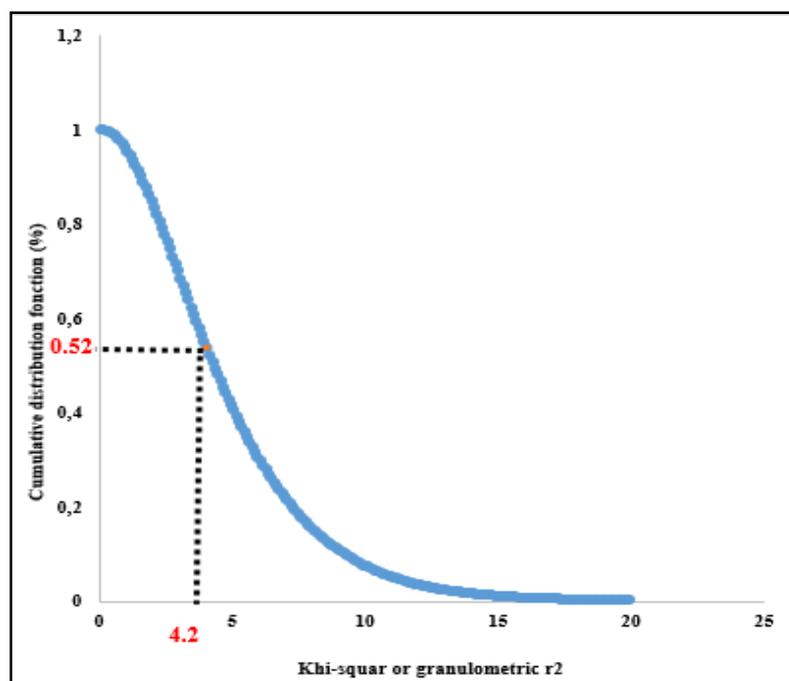


Figure IV.4 : Comparaison entre la fonction cumulative du χ^2 et la fonction de distribution de l'indice global de déséquilibre (IGD) pour obtenir la valeur critique théorique r^2_{granulo} (4.2) au seuil de rendement dans la population étudiée (n = 350)

Etape 3. Validation de l'indice global de déséquilibre $r^2_{granulo}$

Les normes compositionnelles granulométriques sont les moyennes des valeurs log centrées calculées sur les 167 spécimens de la population à rendement acceptable supérieur ou égale à 20 qx.ha⁻¹ et les écarts-types de ces mêmes valeurs log centrées mais sur toute la population inventoriée de 350 spécimens (**Tableau IV.2**). Comme on s'attendait, la figure IV.4 montre une tendance descendante du rendement en blé en fonction de l'indice global de déséquilibre (*IGD*) granulométrique: $r^2_{granulo}$. La partition binaire de Cate–Nelson sur cette même figure sépare les sous-populations à rendement acceptable de celle ayant des rendements plus faibles. La valeur critique de ce $r^2_{granulo}$ était de 4.6, distinguant entre une composition granulométrique équilibrée d'une composition granulométrique déséquilibrée. A partir de cette valeur critique $r^2_{granulo}$, on classe les sols de la région semi-aride, de l'Est Algérien, en deux groupes texturaux : **i)** Le groupe de texture équilibrée, dont le r^2 granulométrique est inférieur à 4.6, ayant normalement une bonne fertilité physique, conduisant à des niveaux de rendement ≥ 20 qx.ha⁻¹ acceptable, par les producteurs agricoles de la région, et **ii)** Le groupe de texture déséquilibrée, dont le r^2 est supérieur à 4.6 possédant une mauvaise fertilité physique, avec un rendement moins acceptable (<20 qx.ha⁻¹).

Les probabilités élevées des rendements acceptables se situent dans les quadrants vrais positifs (TP) et faux négatifs (FN). Les quadrants d'erreur (FP) correspondent à des rendements acceptables malgré leur appartenance à une classe de texture déséquilibrée tandis que les quadrants TN correspondent à un rendement moins acceptable bien qu'il se trouve dans la classe texturale équilibrée. Sur la même figure, nous avons obtenu une probabilité élevée (73%) d'obtenir un diagnostic correct pour une texture équilibrée des sols étudiés. Cette valeur est définie comme le rapport des points dans les quadrants TP et FN au nombre total des points dans les quatre quadrants.

La spécificité TP / (TP + FN) représente la probabilité de prendre la bonne décision (la bonne texture) par rapport à toutes les observations avec une stabilité de rendement pour le modèle obtenu dans la figure IV.5, les spécificités étaient de 68%. Cette valeur représente la probabilité qu'un rendement est acceptable au seuil critique $r^2_{granulo}$ de 4.6.

La sensibilité [TN / (TN + FP)] représente la probabilité de choisir la bonne texture par rapport à toutes les observations avec un rendement moins acceptable < 20qx .ha⁻¹. Cette valeur de sensibilité était de 77%, dans ce cas la sensibilité est la probabilité que des rendements inférieurs se produisent pour les sols qui ont une texture déséquilibrée.

Les valeurs prédictives positives (PPV) $[TN / (TN + FN)]$ sont la probabilité d'une réponse positive du rendement à une texture équilibrée lorsque la valeur de $r^2_{granulo}$ critique est inférieur à 4.6. Cette PPV est de 67% (**Figure IV.5**). Les valeurs prédictives négatives (NPV) $[TP / (TP + FP)]$ sont la probabilité que la culture de blé n'est pas appropriée pour une texture déséquilibrée de $r^2_{granulo}$ supérieur de 4.6. Cette NPV (78%) est comme élevée pour considérer le bon diagnostic de fertilité physique des sols dans l'est Algérien (**Figure IV.5**).

Tableau IV.2 : Normes pour la sous-population de blé à rendement acceptable «supérieur» ($20qx.ha^{-1}$), en supposant une proportion de sous-population à rendement moins acceptable de 52%

	V^*_C	V^*_{FL}	V^*_{CL}	V^*_{FS}	V^*_{CS}
Moyenne	0.316	0.143	0.047	0.229	-0.736
Ecart-type	0.626	0.716	0.485	0.994	1.126

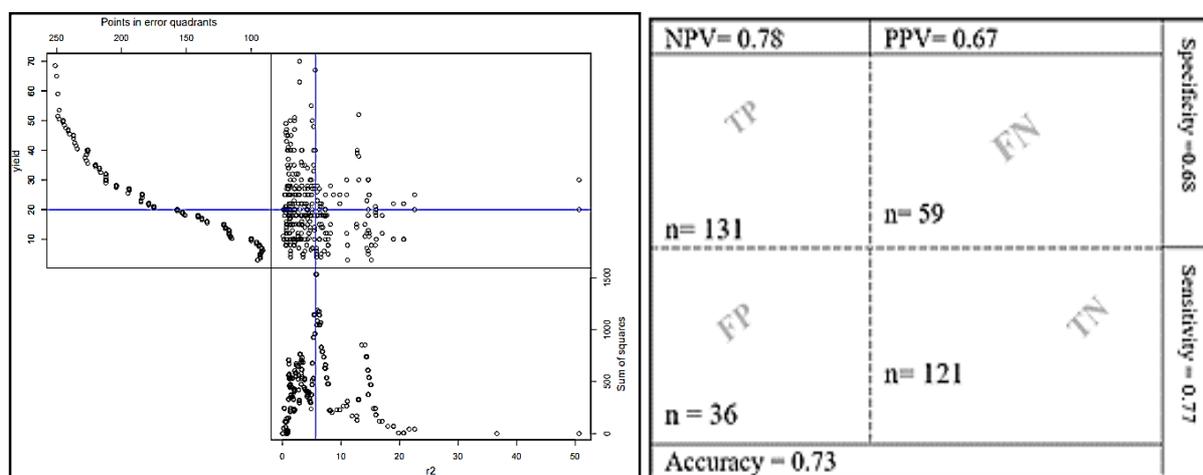


Figure IV.5 : Relation entre l'indice global de déséquilibre granulométrique $r^2_{granulo}$ et le rendement en blé et tableau récapitulatif (en bas à droite) n: Nombre de points dans les différents quadrants; Indicateurs de performance du modèle de partition. Précision; NPV: valeur prédictive négative; PPV: valeur prédictive positive.

Etape 4. Indices texturaux critiques

On a procédé ensuite de la même façon que dans la figure **IV.5**, à une partition binaire en deux groupes pour séparer chacun des indices texturaux au carré ($I^2_C, I^2_{FL}, I^2_{CL}, I^2_{FS}$ et I^2_{CS}), les

résultats de ces partitions binaires ont donné les valeurs critiques de 0,7 pour I_C^2 , 1,9 pour I_{FL}^2 , 0,1 pour I_{CL}^2 , 0,2 pour I_{FS}^2 et 1,7 pour I_{CS}^2 (**Tableau IV.3**).

Etape 5. Validation croisée

La somme des indices critiques texturaux élevés au carré déterminés à l'étape 4 était donc de 4.6, et coïncide avec le $r_{granulo}^2$ déduit dans l'étape 3. Il s'agit d'une validation croisée de la valeur critique $r_{granulo}^2$ définissant l'équilibre granulométrique des sols à vocation céréalière de l'Est Algérien. Appliquant ces indices critiques à l'équation (6), le $r_{granulo}^2$ critique donne :

$$r_{granulo}^2 = 0.7 + 1.9 + 0.1 + 0.2 + 1.7 = 4.6 \quad (7)$$

Cette même approche compositionnelle appliquée selon les mêmes cinq étapes sur des indices nutritifs des plantes, a abouti à la même précision de la validation croisée obtenue par (Khiari et al., 2001b et c). De ces cinq indices critiques élevés au carré on en déduit les intervalles symétriques de chacun de ces indices texturaux : $\pm 0,83$ pour I_C , $\pm 1,73$ pour I_{FL} , $\pm 0,31$ pour I_{CL} , $\pm 0,44$ pour I_{FS} et en fin $\pm 1,30$ pour I_{CS} . (**Tableau IV.3**).

Les deux fractions qui semblent ayant le plus d'influence sur le déséquilibre texturale sont : le limon fin (I_{FL}) et le sable grossier (I_{CS}), puisque, ils contribuent respectivement de 41% ($1.9/4.6$) et de 37% ($1.7/4.6$) à la valeur critique de l'indice globale de déséquilibre.

Le déséquilibre provoqué par le limon pourrait être expliqué par sa sensibilité au problème de réduction de la porosité et de la circulation de l'air et de l'eau, provoquant ainsi une réduction d'élongation racinaire.

Ce phénomène est communément appelé croûte de battance et engendrant des baisses significatives de rendements de blé (Yang et al., 2013 ; He et al., 2013). Quant à la deuxième composante de sable grossier, sa contribution au déséquilibre textural pourrait être expliqué par sa faible capacité de rétention de l'eau et des éléments nutritifs. Dans des conditions d'abondance de sable grossier, des niveaux très faibles de rendement de blé ont été observés (Wambeke, 1992 ; Ludwig et Asseng 2006 ; Jalota et al., 2006 ; Gu et al., 2013 ; Daryanto et al., 2016).

Tableau IV.3 : Indices de taille des particules critiques et seuil de rendement dans les échantillons de validation à l'aide de la procédure de partitionnement Cate – Nelson.

Indice	Valeur critique	Plages critiques	
		Limite inférieure	Limite supérieure
I_A^2	0.7	-0.83	+0.83
I_{Lf}^2	1.9	-1.37	+1.37
I_{Lg}^2	0.1	-0.31	+0.31
I_{Sf}^2	0.2	-0.44	+0.44
I_{Sg}^2	1.7	-1.30	+1.30
Somme $r_{granulo}^2$	4.6	0	4.2

IV.2. Développement d'indicateurs globaux chimiques des sols

Les propriétés chimiques du sol constituent la base de la fonction réservoir des éléments nutritifs des sols, l'évaluation de la concentrations des éléments utiles pour les peuplements végétaux doivent être régulièrement testées pour déterminer s'ils sont suffisants ou nécessitent d'être apportés selon des recommandations d'engrais pour assurer une production végétale optimale (Omonode et Vyn, 2006).

Parmi les indicateurs chimiques de la qualité du sol, le pH et les cations échangeables (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ et Mg^{2+}) sont liés entre eux, car l'absorption ou la perte de ces cations peut influencer le changement de pH et le rendement de blé (Bolan et al., 1991 ; Carr et al., 1991). Des études antérieures ont montré des diminutions de Ca^{2+} et Mg^{2+} dans le sol suite à une surfertilisation d'azote dans le sol (Barak et al., 1997 ; Bouman et al., 1995 ; Darusman et al., 1991 ; Schroder et al., 2016).

Dans de telles conditions, l'efficacité des engrais minéraux est très faible car les nutriments mobiles tels que le potassium (K^+) est facilement lessivés de la couche arable pendant les périodes de fortes précipitations (Agegnehu et al., 2016). En revanche peu d'études antérieures aient fourni des données sur les changements dans les concentrations des cations échangeables pour un système de culture à long terme (Kopittke et al., 2017).

La matière organique est considérée comme la principale source des éléments nutritifs du sol ; elle est l'un des paramètres les plus importants de la qualité du sol pour les scientifiques et les agriculteurs (Romig et *al.*, 1995). Outre son apport d'éléments nutritifs, la matière organique du sol contribue à améliorer les principales propriétés physiques, chimiques et favorise l'activité biologique du sol (Doran et Parkin, 1994 ; Gregorich et *al.*, 1994).

Il est bien connu que la mise en culture des ressources naturelles en terres induit des pertes de matière organique , qui, à leur tour, affectent directement les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol et finissent par entraîner une perte de capacité de production (Stevenson et Cole, 1999).

Le carbone organique du sol et l'azote total sont sans doute les indicateurs les plus significatifs de la qualité et de la productivité des sols (Larson et Pierce, 1991 ; Cannell et Hawes, 1994). L'azote disponible pour une culture de blé dur dans les conditions semi-aride peut varier considérablement du fait de la variabilité des fournitures du sol surtout après une jachère (Poletaeff, 1953) et aussi des conditions climatiques, de l'état du sol (Yankovitch, 1956 ; Sébillotte, 1977) et de la forte disparité d'emploi des engrais azotés dans les exploitations agricoles (Besse et Sébillotte, 1986 ; Aubry et *al.*, 1986b).

Le carbone organique joue un rôle important surtout dans le processus de sa séquestration et de sa mise en réserve dans les sols surtout quand on instaure des bonnes pratiques agricoles. Kay et Angers (1999) expliquent que si les niveaux de carbone organique du sol sont inférieurs à 1%, il serait difficile d'atteindre des rendements agricoles maximaux, quel que soit le type de sol.

IV.2.1. Développement d'indicateur global de déséquilibre chimique à partir du simplexe de cations échangeables

Résonnement

La propriété échangeable du sol forme un simplexe échangeable (S^4), il est formé de quatre composantes dont la somme est égale 100% selon la théorie des données compositionnelle (Aitchison, 1986) :

$$S^4 = \{(Ca, Na, Mg, K): Ca > 0, Na > 0, Mg > 0, K > 0; Ca + Na + Mg + K = 100\} \quad (1)$$

Où : Ca= Calcium échangeable Ca^{2+} , Na= sodium échangeable Na^+ , Mg= Magnésium échangeable Mg^{2+} , K= Potassium échangeable K^+ , sont des proportions échangeables

exprimées toutes en cmole(+)/kg de sol ou en méq/100g de sol. Les fractions échangeables deviennent invariantes à l'échelle quand on les divise par leur moyenne géométrique (G) définie comme suit (Eq. 2) :

$$G = [Na \times Ca \times K \times Mg]^{1/5} \quad (2)$$

V_{Ca} , V_{Na} , V_K , et V_{Mg} , constituent l'expression des rapports log-centré respectivement de ces cinq composantes échangeables sur leur moyenne géométrique (Eq. 3)

$$V_{Ca} = \ln\left(\frac{Ca}{G}\right), \quad V_{Na} = \ln\left(\frac{Na}{G}\right), \quad V_K = \ln\left(\frac{K}{G}\right), \quad V_{Mg} = \ln\left(\frac{Mg}{G}\right), \quad (3)$$

$$V_{Ca} + V_{Na} + V_K + V_{Mg} = 0 \quad (4)$$

Par définition la somme des fractions échangeables est égale à 100% (Eq 1) et la somme des valeurs log-centré des différentes fractions sur la même ligne doit être nulle (Eq 3). Soit V^*_{Ca} , V^*_{Na} , V^*_K , V^*_{Mg} , et SD_{Ca} , SD_{Na} , SD_K et SD_{Mg} , les premières normes du simplexe des bases échangeables S^4 en tant que moyennes et les écart-types des log-ratios des 4 composantes échangeables respectivement.

Les valeurs log-centrées sont centrées par rapport à la moyenne de la population productive et réduit par rapport à la population totale comme suit :

$$I_{Ca} = \frac{(V_{Ca} - V^*_{Ca})}{SD_{Ca}}, \quad I_{Na} = \frac{(V_{Na} - V^*_{Na})}{SD_{Na}}, \quad I_K = \frac{(V_K - V^*_K)}{SD_K}, \quad I_{Mg} = \frac{(V_{Mg} - V^*_{Mg})}{SD_{Mg}}, \quad (5)$$

Où : I_{Ca} , I_{Na} , I_K et I_{Mg} sont les indices échangeables

Les indices échangeables tels que définis par l'équation (5), sont des variables standardisées et linéarisées dans un espace multidimensionnel (Aitchison, 1986). L'indice global de déséquilibre des cations échangeables d'un échantillon diagnostiqué est son $r^2_{échangeable}$ est calculé selon l'équation suivante :

$$r^2_{échangeable} = I_{Ca}^2 + I_{Na}^2 + I_K^2 + I_{Mg}^2 \quad (6)$$

La somme des composantes au carré des variables normales indépendantes, produit une nouvelle variable ayant une distribution du Khi-deux (χ^2) avec un degré de liberté 4 selon Ross. (1987).

Selon les équations précédentes (5) et (6) plus les indices échangeables (les valeurs calculées par $r^2_{échangeable}$ et le Khi-deux, χ^2), sont proches de zéro plus la probabilité d'obtenir un bon rendement est élevée.

Étape 1. Sélection d'une Sous-population à rendement acceptable

Les quatre fonctions des rapports de variance cumulative $F_i^c(V_x)$ en fonction des rendements ont toutes montré des formes sigmoïdales (**Figure IV.6**) qui s'ajustent à l'équation de Richard d'une façon très hautement significative ($P < 0,01$) avec des coefficients de corrélation R^2 proches de 0,99 (**Tableau IV.4**). Le rendement le plus élevé est toujours proche de 20 qx.ha^{-1} . Il a été retenu pour séparer la sous-population de rendement acceptable de celle de moins acceptable.

Dans le même contexte ; plusieurs études ont souligné que, la production du blé réalisée en Algérie ; au cours de la période de 1990-2018, est estimée à **6.315 hg/ha** pendant l'année 1990, par rapport à l'année 2018, où la production est estimée à 19.076 hg/ha (FAOSTAT. 2019). Ces rendements sont loin de couvrir les besoins de la population en blé. Cette variabilité, dans la production, est directement et indirectement influencée par des facteurs climatiques (Papy, 1979 ; Lelièvre et *al.*, 1981; Aubry, 1994).

Des facteurs morphologiques et physiologiques Prasadet *al.*, (2007). Les spécimens à rendement acceptable $\geq 20 \text{ qx}$ de blé dur ha^{-1} représentaient 109 des 350 spécimens appartenant à l'ensemble de la population étudiée.

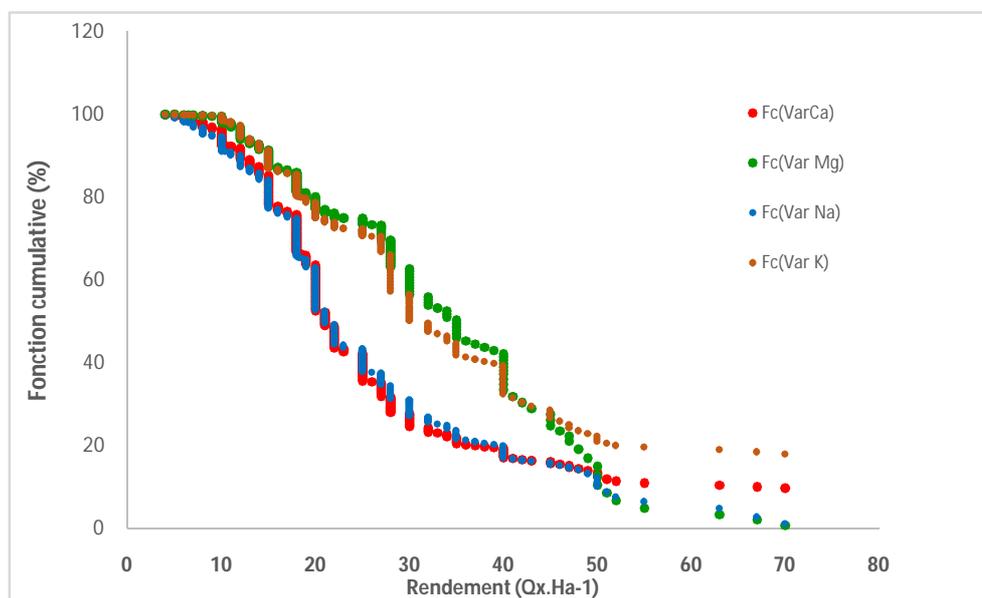


Figure IV.6. Relation entre le rendement en blé et les quatre fonctions cumulatives de la variance pour Ca, Mg, Na et K.

Tableau IV.4 : Fonction logistique généralisée ou courbe de Richards

$FcV(R) = A + \frac{K - A}{(C + e^{-B(y-M)})^{1/v}}$						
	A	K	M	B	V	Fc(PI)
Fc Ca	97,9	13,9	-6,6	0,158	0,0196	18,3
Fc Na	98,4	12,3	1,73	0,138	0,0613	18,4
Fc K	108	9,54	8,97	0,0756	0,292	25,3
Fc Mg	113	-22,4	20,3	0,0569	0,0486	33
<p>F_i^c (V_X): la fonction cumulative de la variance (%) pour la composante X; A: l'asymptote inférieure; K: l'asymptote supérieure; M: moyenne; B: le taux de croissance = 3 (rendement inférieur, rendement acceptable et rendement supérieur); C: prend généralement une valeur de 1; V: affecte près de laquelle la croissance maximale asymptote se produit > 0; F_i^c (V_X) -IP: La valeur critique de la fonction cumulative de la variance (%) pour la composante X au point d'inflexion (IP); F_i^c (V_{Ca}): fonction cumulative de la variance pour le calcium; F_i^c (V_{Na}): fonction cumulative de la variance pour le Sodium; F_i^c (V_K): fonction cumulative de la variance pour le Potassium; F_i^c (V_{Mg}): fonction cumulative de la variance pour le Magnésium.</p>						

Etape 2. Valeur critique théorique de l'indice global de déséquilibre : r²_{échangeable}

La population totale étudiée de 350 a montré que 109 spécimens de la population sont au-dessus du seuil de rendement acceptable et 241 spécimens sont au-dessous de ce seuil de rendement de 20 qx.ha⁻¹ déterminé dans l'étape 1. La proportion de spécimens à faible rendement est de 68.85%.

Si on admet que la population recensée est normale et que sa valeur médiane est proche de sa valeur moyenne de rendement critique de 20 qx.ha⁻¹. On en déduit une valeur du chi-carré (χ²) critique de 3.2 (**Figure IV.7**) correspondant à un maximum pour qualifier un échantillon dans la sous-population à un rendement de blé dur acceptable.

Cette valeur critique permet non seulement d'identifier la concentration des bases échangeables appropriée pour obtenir un bon rendement, mais aussi de l'ordre dans lequel les autres paramètres pourraient devenir limitatifs à la productivité des céréales dans la région semi-aride de l'Est Algérien.

Cette nouvelle indication de chi-carré critique pourrait constituer un élément de diagnostic et de recommandation des sols aptes à recevoir cette culture dans cette région.

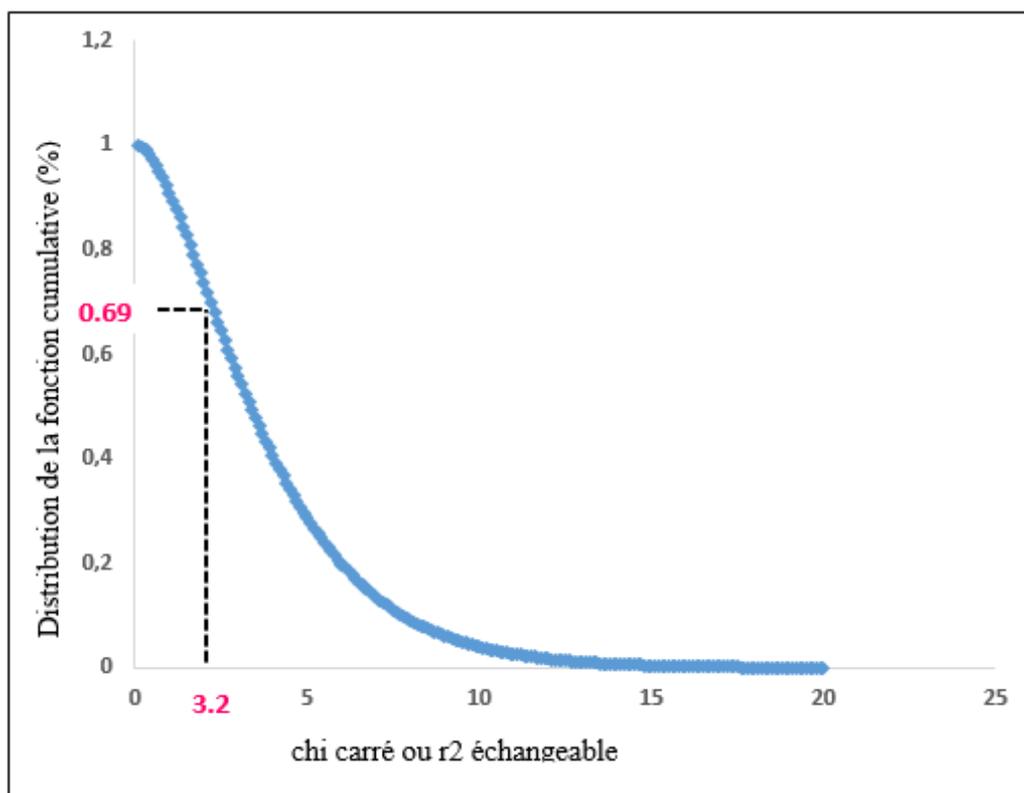


Figure IV.7 : Comparaison entre la fonction cumulée du chi carré et la fonction de distribution r^2 pour obtenir la valeur seuil théorique $r_{\text{échang}}^2$ (4.2) au seuil de rendement dans la population étudiée ($n = 350$)

Étape 3. Validation de l'indice global de déséquilibre critique des bases échangeables

Les normes compositionnelles échangeable sont les moyennes des valeurs log centrés calculées sur les 109 spécimens de la population à rendement supérieur ou égale à 20 qx.ha^{-1} et les écarts-types de ces mêmes valeurs log centrés mais sur toute la population inventoriée de 350 spécimens (Tableau IV.5). Comme on s'attendait, la figure IV.8 montre une tendance descendante du rendement en blé en fonction de l'indice échangeable $r_{\text{échang}}^2$.

La partition binaire de Cate–Nelson sur cette même figure sépare les sous-populations à rendement acceptable de celle ayant des rendements moins acceptables. La valeur critique de ce $r_{\text{échang}}^2$ était de 3,2 distinguant entre une composition échangeable équilibrée d'une composition échangeable déséquilibrée.

A partir de cette valeur critique $r_{\text{échang}}^2$; on classe les sols de la région semi-aride de l'Est Algérien en : **ii)** sols à une charge cationique équilibrée; dont, le r^2 échangeable est inférieur à 3,2, ayant normalement une bonne fertilité chimique ; conduisant à des niveaux de

rendement ≥ 20 qx.ha⁻¹ acceptable, par les producteurs agricoles de la région et **ii**) les sols qui ont une répartition cationique médiocre, dont, le r^2 est supérieur à 3.2 possédant, une mauvaise fertilité chimique, avec un rendement moins acceptable (< 23 qx.ha⁻¹).

Les probabilités élevées des rendements acceptables se situent dans les quadrants vrais positifs (TP) et vrais négatifs (TN). Les quadrants d'erreur (FP) correspondent à des rendements acceptables malgré leur appartenance à une classe des sols déséquilibrés tandis que les quadrants FN correspondent à un rendement moins acceptable bien qu'il se trouve dans la classe équilibrée. Sur la même figure, nous avons obtenus une probabilité élevée (57 %) d'obtenir un diagnostic correct pour une saturation équilibrée en cations des sols étudiés. Cette valeur est définie comme le rapport des points dans les quadrants TP et FN au nombre total des points dans les quatre quadrants.

La spécificité $TP / (TP + FN)$ représente la probabilité de prendre la bonne décision (la concentration appropriée) par rapport à toutes les observations avec une stabilité de rendement pour le modèle obtenus dans la figure IV.8, Les spécificités étaient de 56%. Cette valeur représente la probabilité qu'un rendement est acceptable au seuil critique r_{echang}^2 de 3.2. La sensibilité $[TN / (TN + FP)]$ représente la probabilité de choisir le bon élément par rapport à toutes les observations avec un rendement moins acceptable < 20 qx. ha⁻¹. Cette valeur de sensibilité était de de 58%, dans ce cas, la sensibilité est la probabilité que des rendements inférieurs se produisent pour les sols qui ont une charge cationique déséquilibrée.

Les valeurs prédictives positives (PPV) $[TN / (TN + FN)]$ sont la probabilité d'une réponse positive du rendement à une charge cationique équilibrée lorsque la valeur critique est inférieur à 3.2, cette PPV est de 59% (**Figure IV.8**).

Les valeurs prédictives négatives (NPV) $[TP / (TP + FP)]$ sont la probabilité que la culture de blé n'est pas appropriée pour une concentration cationique déséquilibrée de r_{echang}^2 supérieur de 3.2. Cette NPV (55%) est comme élevée pour considérer le bon diagnostic de fertilité chimique des sols dans l'est Algérien (**Figure IV.8**).

Tableau IV.5 : Normes pour la sous-population de blé à rendement acceptable (20 qx ha⁻¹), en supposant une proportion de sous-population à rendement moins acceptable de 52%

	V*Ca	V*Mg	V*Na	V*K
Moyenne	2,79	-0,60	-1,93	-0,26
Ecart-type	0,416	0,849	0,548	1,193

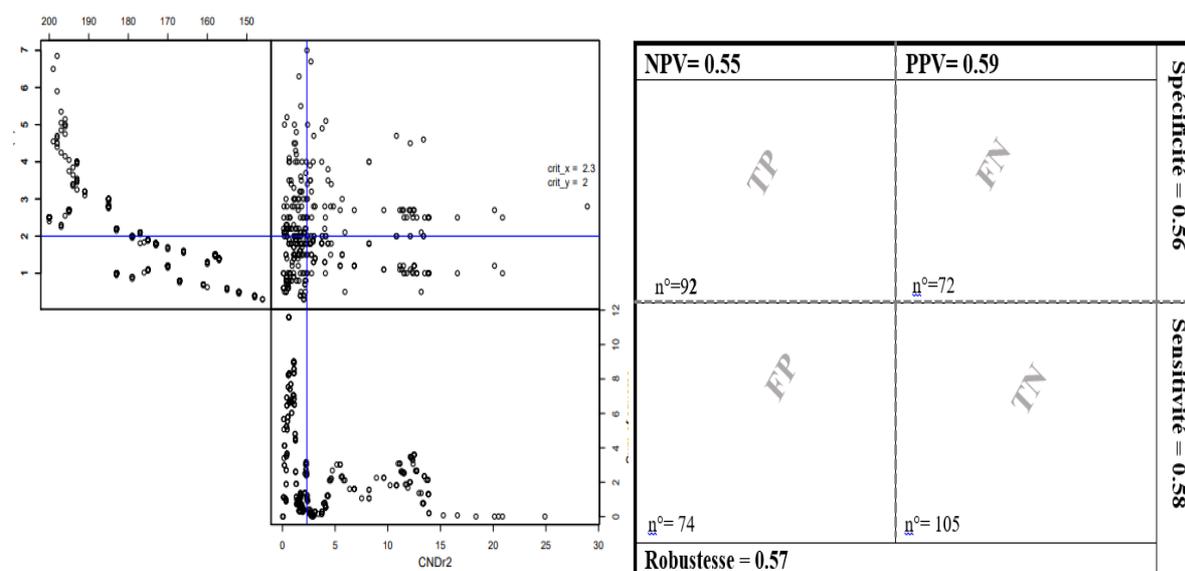


Figure IV.8 : Relation entre l'indice des bases échangeables Composition ($r^2_{échange}$) et le rendement en blé et tableau récapitulatif (en bas à droite) n: Nombre de points dans les différents quadrants; Indicateurs de performance du modèle de partition. Précision ; NPV: valeur prédictive négative; PPV: valeur prédictive positive.

D'après les résultats obtenus, nous avons remarqués que les quatre bases échangeables (K, Ca, Mg, Na), ont presque le même effet sur l'indice de saturation échangeable : Cet effet est expliqué par, la nature et la réaction de ces cations dans le sol. Kopittke et al., (2017), ont montrés que les concentrations de Ca, Mg et K échangeables dans le sol n'ont généralement pas changé avec le temps, et n'ont pas diminués de manière significative dans la plupart des sols à une profondeur de 0 à 10 cm. D'autres études indiquent que le changement de la végétation dans la plus part des régions du monde affectent la fertilité des sols avec des changements importants dans les propriétés du sol, y compris la perte de matière organique, l'augmentation de la densité apparente et la diminution des actions échangeables (Piccolo et al., 1994 ; Tiessen et al., 1994 ; Fernandes et al., 1997 ; Neill et al., 1997 ; Dominy et al., 2002). En Parallèle, Guibert (1999), montre que des faibles valeurs de K échangeable

correspondent à de faibles valeurs en Azote total ce qui confirme que pour la majorité des sols, c'est la déficience en N qui se manifeste ; ceci explique la forte relation entre la matière organique du sol, les cations échangeables (K, Ca et Mg) et les rendements agronomiques (Tiessen et *al.*, 1994 ; Lal, 2011 ; Karlton et *al.*, 2013). Cependant la charge cationique du sol est souvent utilisée comme un outil de prédiction et d'évaluation des propriétés des constituants des sols. Tessier et *al.*, (1999) ; Bruand et Zimmer (1992), ont aussi constaté que les cations échangeables était un bon estimateur des propriétés de rétention de l'eau dans les horizons argileux de faible teneur en matière organique.

IV.2.2. Développement d'indicateur global de déséquilibre chimique à partir du simplexe de la matière organique et calcaire (C, N et CaCO₃)

Résonnement

La relation matière organique calcaire du sol forme un simplexe (S³), il est formé de trois composantes dont la somme est égale à 100% selon la théorie des données compositionnelle (Aitchison, 1986) :

$$S^3 = \{(C, N, CaCO_3 \text{ et } G4) : C > 0, N > 0, CaCO_3 > 0 ; C + N + CaCO_3 + G4 = 100\} \quad (1)$$

Où : C= Carbone, N= Azote, CaCO₃= Calcaire total.

Ces fractions deviennent invariantes à l'échelle quand on les divise par leur moyenne géométrique (G) définie comme suit (Eq. 2) :

$$G = [N \times C \times CaCO_3]^{1/3} \quad (2)$$

V_C, V_N et V_{CaCO₃}, constituent l'expression des rapports log-centré respectivement de ces composantes sur leur moyenne géométrique (Eq. 3)

$$V_C = \ln\left(\frac{C}{G}\right), \quad V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right), \quad V_{CaCO_3} = \ln\left(\frac{CaCO_3}{G}\right), \quad (3)$$

$$V_C + V_N + V_{CaCO_3} = 0 \quad (4)$$

Par définition la somme des fractions analysées est égale à 100% (Eq 1) et la somme des valeurs log-centré des différentes fractions sur la même ligne doit être nulle (Eq 3). Soit V^{*}_C, V^{*}_N, V^{*}_{CaCO₃}, et SD_C, SD_N, et SD_{CaCO₃}, les premières normes du simplexe MOC S³ en tant que moyennes et les écart-types des log-ratios de ces 3 composantes respectivement.

Les valeurs log-centrées sont centrées par rapport à la moyenne de la population productive et réduit par rapport à la population totale comme suit :

$$I_C = \frac{(V_C - V_C^*)}{SD_C}, I_N = \frac{(V_N - V_N^*)}{SD_N}, I_{CaCO_3} = \frac{(V_{CaCO_3} - V_{CaCO_3}^*)}{SD_{CaCO_3}} \quad (5)$$

Où : I_C , I_N , et I_{CaCO_3} sont les indices MOC

Les indices MOC tels que définis par l'équation (5), sont des variables standardisées et linéarisées dans un espace multidimensionnel (Aitchison, 1986). L'indice global de déséquilibre de la matière organique d'un échantillon diagnostiqué est son r_{MOC}^2 est calculé selon l'équation suivante :

$$r_{MOC}^2 = I_C^2 + I_N^2 + I_{CaCO_3}^2 \quad (6)$$

La somme des composantes au carré des variables normales indépendante, produit une nouvelle variable ayant une distribution du Khi-deux avec un degré de liberté 5 (Ross, 1987). Selon les équations précédentes (5) et (6) plus les indices MOC (les valeurs calculées par r_{MOC}^2 et le Khi-deux, X^2), sont proches de zéro plus la probabilité d'obtenir un bon rendement est élevée.

Étape 1. Sélection d'une sous-population à rendement acceptable

Les trois fonctions des rapports de variance cumulative F_i^C (V_x) en fonction des rendements ont toutes montré des formes sigmoïdales (**Figure IV.9**) qui s'ajustent à l'équation de Richard d'une façon très hautement significative ($P \leq 0.01$) avec des coefficients de corrélation R^2 déjà déterminés (**Tableau IV.6**). Les points d'inflexion sont variés de **13.6 à 19.9 qx.ha⁻¹**.

Le rendement le plus élevé proche de **20 qx.ha⁻¹** a été retenu pour séparer la sous-population de rendement acceptable de celle de moins acceptable. Dans le même contexte, Papy (1979) ; Lelièvre et al., (1981) ; Aubry (1994) ; Prasad et al., (2007), ont été révélés que ces faibles rendements sont directement liés aux facteurs climatiques et aux pratiques culturales adoptées.

Les spécimens à rendement acceptable ≥ 20 qx de blé dur ha⁻¹ représentaient 167 des 350 spécimens appartenant à l'ensemble de la population étudiée.

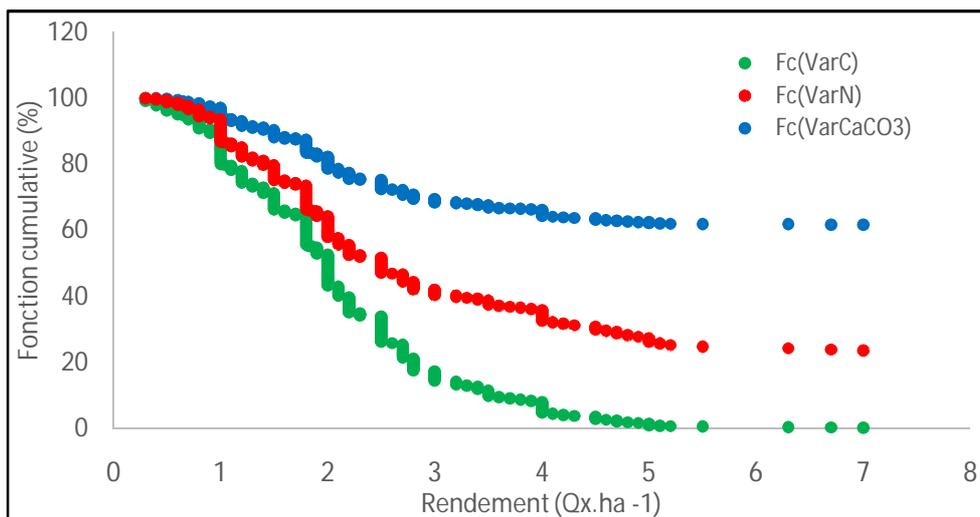


Figure IV.9 : Relation entre le rendement en blé et les trois fonctions cumulatives de la variance pour C, N et CaCO3.

Tableau IV.6 : Fonction logistique généralisée ou courbe de Richards

$FcV(R) = A + \frac{K - A}{(C + e^{-B(y-M)})^{1/v}}$						
	A	K	M	B	V	Fc(PI)
Fc(C)	111	6,75	2,28	2,17	2,04	50,5
Fc(CaCO3)	117	58,4	0,29	0,826	0,447	91,3
Fc(N)	108	28,9	1,38	1,36	0,657	71,4
<p>F_i^c (V_X): la fonction cumulative de la variance (%) pour la composante X; A: l'asymptote inférieure; K: l'asymptote supérieure; M: moyenne; B: le taux de croissance = 3 (rendement inférieur, rendement acceptable et rendement supérieur); C: prend généralement une valeur de 1; V: affecte près de laquelle la croissance maximale asymptote se produit > 0; F_i^c (V_X) -IP: La valeur critique de la fonction cumulative de la variance (%) pour la composante X au point d'inflexion (IP); F_i^c (V_C): fonction cumulative de la variance pour le carbone organique ; F_i^c (V_N): fonction cumulative de la variance pour l'Azote; F_i^c (V_{CaCO3}): fonction cumulative de la variance pour le Calcaire total.</p>						

Etape 2. Valeur critique théorique de l'indice global de déséquilibre : r²_{MOC}

La population totale étudiée de 350 a montré que 167 spécimens de la population sont au-dessus du seuil de rendement acceptable et 183 spécimens sont au-dessous de ce seuil de

rendement de 20 qx.ha⁻¹ déterminée dans l'étape 1. La proportion de spécimens à faible rendement est de 52.28%. Si on admet que la population étudiée est normale et que sa valeur médiane est proche de sa valeur moyenne de rendement critique de 20qx.ha⁻¹. On en déduit une valeur du chi-carré (X^2) critique de 2.9 (**Figure IV.10**) correspondant à un maximum pour qualifier un échantillon dans la sous-population à un rendement de blé dur acceptable.

Cette valeur critique permet non seulement d'identifier le pourcentage des composantes étudiées (C, N et CaCO₃) appropriée pour obtenir un bon rendement, mais aussi l'interaction avec les autres paramètres pour améliorer la productivité des céréales dans la région semi-aride de l'est algérien.

Cette nouvelle indication de chi-carré critique pourrait constituer un élément de diagnostic et de recommandation des sols aptes à recevoir cette culture dans cette région. Cette amalgamation des composantes MOC en un seul indice global (Eq. 7) pourrait générer des normes compositionnelles spécifiques à chaque système agricole.

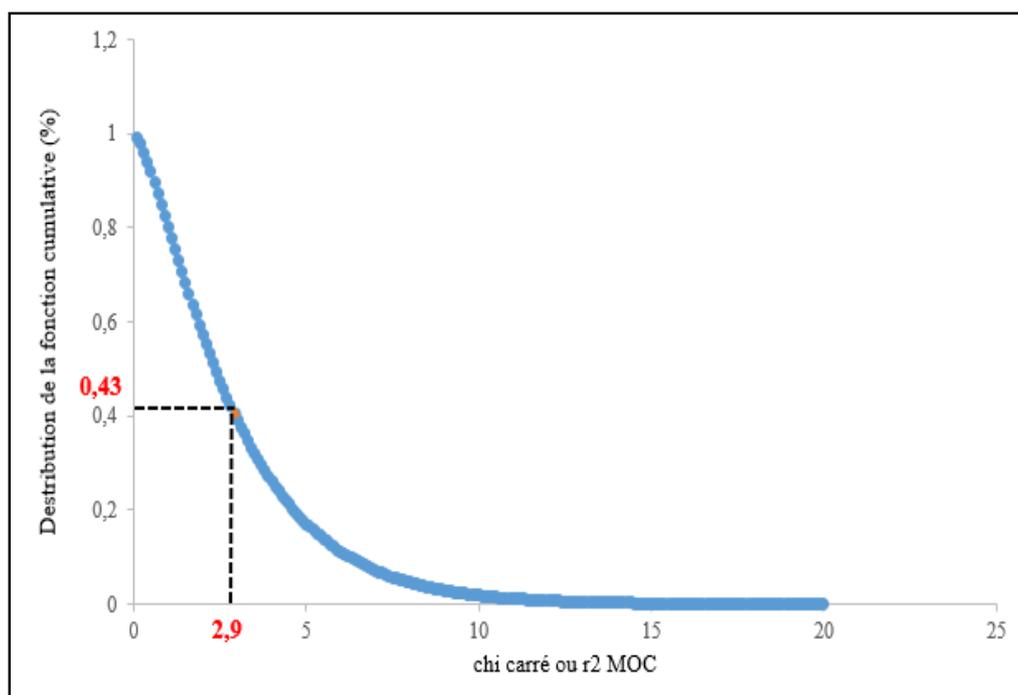


Figure IV.10 : Comparaison entre la fonction cumulative du chi carré et la fonction de distribution r^2_{MOC} pour obtenir la valeur seuil théorique r^2_{MOC} (3) au seuil de rendement dans la population étudiée (n = 350)

Etape 3. Validation de l'indice global de déséquilibre critique de la matière organique

Les normes compositionnels MOC sont les moyennes des valeurs log centrées calculées sur les 167 spécimens de la population à rendement supérieur ou égale à 20 qx.ha⁻¹ et les écarts-types de ces mêmes valeurs log centrées mais sur toute la population inventoriée de 350 spécimens (**Tableau IV.7**). Comme on s'attendait, la **figure IV.11** montre une tendance descendante du rendement en blé en fonction de l'indice granulométrique global r_{MOC}^2 .

La partition binaire de Cate–Nelson sur cette même figure sépare les sous-populations à rendement acceptable de celle ayant des rendements plus faibles. La valeur critique de ce r_{MOC}^2 était de 2.9, distinguant entre une teneur en matière organique équilibrée où r_{MOC}^2 est inférieur de 2.9, d'une teneur déséquilibrée avec r_{MOC}^2 est supérieur de 2.9.

A partir de cette valeur critique r_{MOC}^2 , on classe les sols étudiés en : i) un groupe bonne fertilité biologique et ii) un groupe de mauvaise fertilité biologique, avec un rendement moins acceptable (<20 qx.ha⁻¹).

Les probabilités élevées des rendements acceptables se situent dans les quadrants vrais positifs (TP) et faux positifs (FP). Les quadrants d'erreur (TN) correspondent à des rendements acceptables ce qui confirme sa position dans la classe des sols qui ont une bonne fertilité, tandis que les quadrants FN correspondent à un rendement moins acceptable dans le groupe des sols qui ont une mauvaise fertilité. Sur la même figure, nous avons obtenus une probabilité moyenne (57%) d'obtenir un diagnostic correct pour une bonne fertilité des sols étudiés. Cette valeur est définie comme le rapport des points dans les quadrants TP et FN au nombre total des points dans les quatre quadrants.

La spécificité TP / (TP + FN) représente la probabilité de prendre la bonne décision (une bonne teneur en MO) par rapport à toutes les observations avec une stabilité de rendement pour le modèle obtenus dans la **figure IV.12**, les spécificités étaient de 98%. Cette valeur représente la probabilité qu'un rendement est acceptable au seuil critique r_{MOC}^2 de **2.9**.

La sensibilité [(TN / (TN + FP))] représente la probabilité de choisir le bon élément par rapport à toutes les observations avec un rendement moins acceptable < 20 qx .ha⁻¹. Cette valeur de sensibilité était de 21%, dans ce cas la sensibilité est la probabilité que des rendements inférieurs se produisent pour les sols qui ont une bonne fertilité.

Les valeurs prédictives positives (PPV) $[TN / (TN + FN)]$ sont la probabilité d'une réponse positive du rendement à une teneur équilibrée en MO lorsque la valeur critique est inférieur à 2.9. Cette PPV est de 95% (Figure IV.12).

Les valeurs prédictives négatives (NPV) $[TP / (TP + FP)]$ sont la probabilité que la culture de blé n'est pas appropriée pour une mauvaise fertilité de r_{MOC}^2 supérieur de 2.9. Cette NPV (52%) est resté moyenne pour bien diagnostiquer la fertilité biologique des sols agricoles de l'Est Algérien (Figure IV.12).

Tableau IV.7 : Normes pour la sous-population de blé à rendement acceptable («supérieur») (20qx. ha^{-1}), en supposant une proportion de sous-population à rendement moins acceptable de 52%

	V*C	V*N	V*CaCO ₃	V*R
Moyenne	-1,092	-3,442	1,723	2,811
Ecart-type	0,326	0,340	0,805	0,441

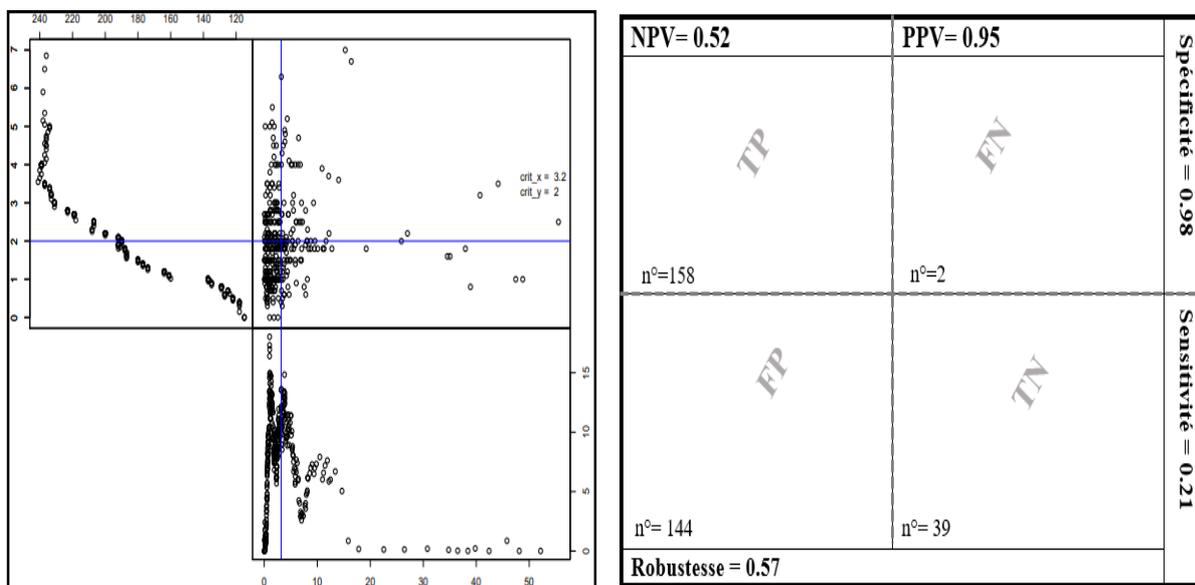


Figure IV.12 : Relation entre l'indice de MOC Composition (r_{MOC}^2) et le rendement en blé et tableau récapitulatif (en bas à droite) n: Nombre de points dans les différents quadrants; Indicateurs de performance du modèle de partition. Précision ; NPV : valeur prédictive négative ; PPV : valeur prédictive positive.

D'après les résultats obtenus, on remarque que la matière organique c'est l'indice que qualité des sols dans les régions étudiées. Elle a un rôle très important dans l'amélioration des rendements de blé. D'après Koudroi (2007), Bien que la matière organique (MO) soit un composant mineur des sols, elle est l'un des principaux composants du sol, non seulement pour son effet bénéfique sur la qualité du sol et la productivité des cultures (Stevenson, 1986).

La présence de la matière organique dans les terres agricoles est liée fortement avec le type de culture et le précédent cultural. Le système blé-jachère est particulièrement sensible à la perte de la matière organique en raison de la réduction de la production végétative (Biederbeck et *al.*, 1984).

Les apports de matière organique jouent un rôle important dans la stimulation de l'activité des microorganismes du sol. Ils favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol et, augmentent la production agricole (Larson et *al.*, 1972 ; Rasmussen et Rohde, 1988 ; Uhlen, 1991; Paustian et *al.*, 1992 ; Janzen, 1995). Dans le même contexte, des études de Bhagat et Acharya (1988) ; Bhagat et Verma, (1991) ; Ghuman et Sur (2001), ont également signalé que un travail du sol approprié en présence des résidus des végétaux, augmente le carbone organique du sol ce qui améliore la qualité du sol et soutenir le système de culture maïs-blé.

Conclusion

Dans ce chapitre, il a été question de développer des indicateurs de la qualité du sol céréalière de la région Est de l'Algérie. Ce diagnostic est essentiel pour une production agricole efficace et durable. Pour ce faire, la texture, la matière organique et les bases échangeables ont été pris en considération pour élaborer les indices de qualité des sols. Ce choix est dicté notamment par les conclusions déjà obtenus (Cf. chapitre 2 et 3). Ces trois paramètres ont été ainsi estimés les plus essentiels pour faire des recommandations d'utilisation céréalière en Algérie. Ils définissent une composition fermée notée simplex.

Le travail consiste à réaliser une analyse compositionnelle par des transformations de rapport log-centré pour les différentes composantes (texture, bases échangeables et matière organique), suivie par une détermination des indices physique et chimiques pour chaque paramètre, et à la fin une globalisation par un indice de déséquilibre qui conduit à des relations acceptables avec le rendement en blé. Enfin, une partition binaire Cate-Nelson est établie pour déduire l'indice de qualité du sol (r_{granulo}^2 , r_{echang}^2 et r_{MOC}^2), définissant l'équilibre du sol pour la durabilité des céréales dans l'est de l'Algérie. Ces paramètres ont été évalués principalement en termes de productivité des sols actuelles, et sa robustesse globale. Ces indicateurs fournissent au sol une capacité de rester relativement productif malgré les contraintes liées aux conditions du déficit hydriques et au travail du sol inapproprié.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce travail a été entrepris dans l'objectif d'élaborer des indicateurs globaux de la qualité des sols dans la zone céréalière de l'Est Algérien sous l'effet des pratiques culturales. Pour cela, trois zones ont été choisies pour entreprendre cette étude. Il s'agit de Sétif, Batna et Oum El Bouaghi. L'approche adoptée comporte trois volets complémentaires :

- Effet des pratiques culturales sur les propriétés du sol
- Effet des pratiques culturales sur les rendements en blé dur
- Elaboration des indicateurs de la qualité des sols.

En premier lieu, il faut noter que la zone d'étude est un terroir céréalière réputé de longue période. Le système de culture pratiqué s'articule essentiellement sur un assolement céréale/jachère ou céréale/ céréale. La couverture pédologique est dominée par les sols calcaires. Le climat se caractérise par une grande variabilité inter et intra-annuelle des températures et de la pluviométrie. Cette dernière ne dépasse pas 400 mm avec un accroissement de l'aridité du nord vers le sud. En plus de l'insuffisance hydrique, la sécheresse et le froid apparaissent fréquemment de manière précoce ou tardive pénalisant la production des céréales.

Dans un deuxième lieu, l'effet du précédent cultural sur les propriétés physiques du sol montre que, dans le cas des cultures maraichères en rotation avec le blé dur, les sols ont une structure plus stable. Ceci est lié à l'enrichissement du sol en éléments chimiques essentiels dans la formation du complexe argilo-humiques. Il a été observé aussi que les précédents culturaux n'ont aucun effet sur la variation des autres paramètres physiques étudiés. L'analyse des correspondances multiples confirme ces résultats et indique que le précédent cultural n'a aucune contribution dans l'amélioration ou la dégradation des propriétés physiques des sols. Les résultats de cette étude indiquent aussi que la majorité des sols étudiés sont des sols non battant quel que soit le précédent cultural adopté.

Concernant l'effet des précédents culturaux sur les propriétés chimiques du sol, il a été constaté que les sols cultivés après une culture maraichère sont des sols moyennement riches en matière organique et se caractérisent par une bonne minéralisation ce qui explique la richesse de ces sols en azote minérale. La teneur en phosphore assimilable est assez importante dans ces résultats, ceci peut être traduit par des apports d'engrais mal gérés ou déséquilibrés. Les mêmes constatations ont été enregistrées pour les parcelles présentant une jachère travaillée avant chaque culture de blé. Pour les parcelles soumises à une rotation

autres céréales sur blé dur, on remarque que les teneurs en matière organique et l'azote total sont acceptables. Le phosphore dans ces sols enregistre les faibles valeurs comparativement avec le taux de phosphore dans le sol après une jachère ou une culture maraîchère ; ceci est traduit par l'utilisation intensive du phosphore par les céréales. Ces résultats ont été confirmés par l'analyse de la variance.

Dans un autre volet, l'étude de l'effet de travail du sol sur les propriétés physiques montre que les sols sont instables quel que soit le mode de labour profond ou simplifié. Cet état de fait pourrait être expliqué d'une part par la nature de la texture du sol qui empêche la formation des liaisons avec la matière organique pour assurer une bonne stabilité structurale, et d'autre part par la pauvreté aussi de ces sols en matière organique ou bien la forte dégradation de ces sols sous l'effet de travail intensif pendant une longue période. Les résultats retrouvés indiquent aussi que la majorité des sols étudiés sont des sols non battants, ceci pourrait être expliqué par l'effet du précédent cultural ainsi que par le travail minimum du sol.

On remarque que le labour profond a une corrélation négative avec la majorité des composantes granulométriques, avec la stabilité structurale, la battance des sols et même avec la porosité ; cependant, le labour simplifié a un effet positif sur la distribution des composantes granulométriques ce qui augmente la stabilité structurale et la porosité de ces parcelles.

Concernant l'effet de travail du sol sur les propriétés chimiques, il a été constaté que la comparaison des teneurs en matière organique révèle que le travail du sol en générale (simplifié ou profond) influence l'évolution de la matière organique et donc l'évolution à long terme du stock de carbone organique. Dans le même contexte les résultats obtenus montrent que le travail du sol profond favorise plus la dégradation de la matière organique du sol. Cet effet est bien expliqué par le rapport C/N.

Les apports d'engrais avec l'irrigation de compléments influencent les composantes granulométriques et diminuent la battance des sols. Les résultats obtenus montrent que la présence des éléments fertilisants en conditions d'humidité favorable stimule l'activité minéralisatrice de la matière organique avec une bonne capacité d'échange cationique. La pratique de la fertilisation a une forte corrélation positive avec la matière organique, la teneur en azote total, le phosphore assimilable, le rapport C/N et avec la CEC.

En ce qui concerne l'effet des pratiques culturales sur les rendements en blé dur, les résultats obtenus montrent que les rendements les plus élevés ont été enregistrés au niveau des parcelles ayant comme précédent cultural une culture maraichère ou une jachère. Avec un travail superficiel, les parcelles ont enregistré un rendement plus élevées que dans le cas d'un labour conventionnel. Dans le même contexte, les parcelles fertilisées avec un apport d'irrigation complémentaire enregistrent le meilleur rendement comparativement aux parcelles non fertilisées. Ces résultats confirment que la fertilisation avec l'irrigation ont un effet significatif sur le rendement de blé dur dans les régions semi-aride de l'Est Algérien.

Dans une autre partie, il a été question d'élaborer des indicateurs qui pourraient être utiles pour évaluer la qualité, la santé et la durabilité des sols à vocation céréalière » les principaux résultats se résument comme suit :

- Les deux fractions qui semblent ayant le plus d'influence sur le déséquilibre texturale sont : le limon fin (I_{FL}) et le sable grossier (I_{CS}), ce déséquilibre pourrait être expliqué par sa sensibilité au problème de réduction de la porosité et de la circulation de l'air et de l'eau provoquant ainsi une réduction de rendement.
- A partir de l'étude de l'indice échangeable, les sols de la région semi-aride de l'Est Algérien ont été classés en : 1) sols avec une charge cationique équilibrée ayant une bonne fertilité chimique conduisant à des niveaux de rendement acceptable ; et 2) sols avec une répartition cationique médiocre, possédant, une mauvaise fertilité chimique, avec un rendement moins favorable. Il a été observé que l'indice de la matière organique a un rôle très important dans l'amélioration des rendements de blé.

En définitive, ce travail consacré à l'élaboration des indicateurs de la qualité du sol dans les régions céréalières de l'Est Algérien avait permis de répondre aux objectifs fixés au départ de la problématique. Pour une meilleure connaissance et gestion des sols céréaliers de l'Algérie, des perspectives faisant suite à cette thématique peuvent être proposées pour développer les axes suivants :

- Étendre ce genre d'investigation à la région Ouest de l'Algérie pour pouvoir faire des comparaisons.
- Entreprendre des essais de ce genre de travail en se basant sur les pratiques culturales conservatrices de la qualité et de durabilité des sols.
- Il serait également intéressant d'étudier la qualité biologique des sols céréaliers en relation avec les pratiques culturales.

Enfin, il est clairement reconnu que les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. L'étude du sol et les études agronomiques d'une manière générale exigent un travail pluridisciplinaire avec l'implication des collectivités locales, la collaboration des organismes en relation avec le monde rural et l'intégration des associations d'agriculteurs céréaliers dans l'objectif est d'arriver à l'autosuffisance alimentaire.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbas K. et Abdelguerfi A. 2005.** Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. *Fourrages* (2005) 184, 533-546.
- Abbas, K. 2004.** La Jachère Pâturée dans les zones céréalières Semi-arides : Pour une approche de développement durable. *Cahiers options méditerranéennes*, 62, 169-173.
- Abbassenne, F., 1997.** Etude génétique de la durée des phases de développement et leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire magister, INA Alger. 81p.
- Abdllaoui Z, Tesskrat H, Belhadj A, Et Zaghouna O., 2011.** Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement du blé dur. Actes du 4ème rencontre méditerranéen du semis direct, Sétif, Algérie.
- Africa Fertilizer., 2012.** fertilizer subsidies in sub-saharan africa. agricultural development economics division. julay 2012.
- Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I., 2016.** Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, 295-306.
- Aissaoui, M. R., 2019.** Etude de l'effet de l'irrigation d'appoint sur l'amélioration de la production du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dans la région de Sétif (Doctoral dissertation).
- Aitchison, J, and Greenacre, M., 2002.** Biplots of compositional data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 51(4), 375-392.
- Aitchison, J., & Egozcue, J. J., 2005.** Compositional data analysis: where are we and where should we be heading?. *Mathematical Geology*, 37(7), 829-850.
- Aitchison, J., 1986.** *Statistical analysis of compositional data.* Chapman and Hall, NY.
- Geraldson, C.M. 1977. Nutrient intensity and balance. *American Society of Agronomy Special Publication 29*: Pp 75-84, Madison WI.
- Aitchison, J., 2002,** Simplicial inference, in Viana, M. A. G., and Richards, D. S. P., eds., *Algebraic methods in statistics and probability*, v. 287, Contemporary mathematics series: American Mathematical Society, Providence, RI, p. 1–22.

- Albiach, R, Canet, R, Pomares, F, and Ingelmo, F., 2000.** Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource technology*, 75(1), 43-48.
- Albiach, R, Canet, R, Pomares, F, and Ingelmo, F., 2001.** Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Bioresource Technology*, 77(2), 109-114.
- Aliat T., 2007.** Les relations Sol-Végétation dans le Chott El Beida, Hammam Sokhna, wilaya de Sétif (Doctoral dissertation, Thèse Magister en Agronomie, Univ. Batna, 15, 29, 33p).
- Alletto L., Y. Coquet, and J. Roger-Estrade, 2010.** “Two-dimensional spatial variation of soil physical properties in two tillage systems”, *Soil Use Management*, Vol. 26, n°. 4, pp. 432-444, 2010.
- Almaric N., M. Brezillon, C R E. Faiq, M. Schroeder, A.Tite., 2008.** :« La vulgarisation de l’agro-écologie : de la théorie au terrain ». Octobre 2008 Projet INP-ENSAT/Solagro. PP 1-4.
- Amann, C, Amberger, A., 1989.** Phosphorus efficiency of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Z. P. Pflanzenernahr. Bodenk.* 152. Pp 181–189.
- Amara M, Feddal M A, & Hamani A., 2015.** Analyse du comportement du sol sous l'action de trois techniques de mise en place d'un blé dur (*Triticum durum*). Effet sur le développement des racines et conséquences sur le rendement. *Nature & Technology*, (12), 128.
- Amberger A., 1995.** Environmentally sound fertilizer application. Dans : Proc. Seminar: Production and Use of the Chemical Fertilizers and Environment, El Fouly, M.M. et Abdalla, F.E. (éds), Cairo (Egypte), 17-21 decembre 1994, pp. 93-99.
- Anderson, T., 2003.** Getting the mix right again: An updated and theoretical rationale for interaction. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 4(2).
- Andrews S. S., Et Carroll, C. R., 2002.** Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11 (6), Pp1573-1585.
- Andrews., Elrod, T., Russell, G. J., Shocker, A. D., R. L., Bacon, L., Bayus, B. L., ... and Mazanec, J. A., 2002.** Inferring market structure from customer response to competing and complementary products. *Marketing Letters*, 13(3), 221-232.

- Anne P., 1945.** Dosage du carbone organique du sol. *Ann. agron, Série A*, 161-172.
- DURCIS P., 1969. Dosage des carbonates dans les fractions granulométriques de quelques sols calcaires et dolomitiques. *Ann. agron*, 20 (I), 61-88.
- Annicchiario, P, Bellah, F, and Chiari, T., 2005.** Defining subregions and estimating benefits for a specific-adaptation strategy by breeding programs: A case study. *Crop Science*, 45(5). Pp 1741-1749.
- Annicchiario, P, Bellah, F, and Chiari, T., 2006.** Repeatable genotype location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *European Journal of Agronomy*. 24 (1). Pp 70-81.
- Annicchiario, P., 2002.** Genotype x environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations (No. 174). *Food and Agriculture Org.*
- Arar A., 1992.** The role of supplementary irrigation in increasing productivity in the Near East Region. In: *Internationale conference on “supplementary irrigation and drought water management”* volume1, C.I.H.E.A.M.: (1992) 2.6 -2.7.
- Araus, J.L., Amaro, T., Casadesus, J., Et Al., 1998.** Relationships between ash content, carbon isotope discrimination and yield in durum wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 25 (7), 835-842.
- Araus, J. L, Slafer, G. A, Reynolds, M. P, and Royo, C., 2002.** Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Annals of botany*, 89(7), 925-940.
- Ares E., 2006.** Le semis direct économique et écologique. *La coopérateur agricole juillet-août 2006 ; la Coop fédérée* www.lacoop.coop. Pp 22-30.
- Arshad M.A. And G.M. Coen., 1992.** Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7, pp 25–31 doi: 10.1017/S0889189300004410.
- Arshad, M.A., Martin, S., 2002.** Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 88, 153–160.
- Askari M. S. and Holden N. M., 2014.** Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma*, 230–231, 131–142. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.019>
- Aslam, M, Shaheen, F. A, and Rehman, A., 2000.** Screening of sunflower (*Helianthus annuus* Linnaeus) Genotypes against the attack of *Odontotermes obesus* (Rambur) (Isoptera: Termitidae). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(12), 2238-2240.

- Atlas, R. M., and Bartha, R., 1997.** Microbial ecology fundamentals and principles.
- Aubry C, Griner C, Latiri-Souki K., 1986b.** Élaboration du rendement du blé dur. Potentialités et variations. In : Actes du séminaire «Systèmes de production à dominante céréalière dans le semi-aride», Jebel Oust, 7-9 Oct 1986, 153-196.
- Aubry, C., Latiri Souki, K., Dore, T., & Griner, C., 1994.** Diagnosis of durum wheat yield in agricultural fields under semi-arid conditions in Tunisia.
- Aziz, I., Ashraf, M., Mahmood, T., & Islam, K. R., 2011.** Crop rotation impact on soil quality. *Pakistan Journal of Botany*, 43(2), 949-960.
- Baccini, A. (2010).** Statistique Descriptive Multidimensionnelle (pour les nuls). Institut de Mathématiques de Toulouse — UMR CNRS 5219.
- Bacon-Shone, J., 2011.** A short history of compositional data analysis, in *Compositional Data Analysis: Theory and Applications*, eds V. Pawlowsky –Glahn and A. Buccianti (NewYork, NY: John Wiley and Sons). Pp 3–11.
- Badraoui M. Et Merzouk A. 1994.** Changes of soil qualities under irrigation: the effect of salt accumulation on water retention by Vertisols. In CIHEAM ed., farm water management techniques, Rabat, Morocco.
- Badraoui M., Soudi B., Lahlou M., Kabbassi M., Aniba K. 1998a.** Evaluation de la salinité des sols dans le périmètre irrigué des Doukkala : Suivi et diagnostic dans les zones vulnérables. In Soudi B. ed., B. ed., Etude de l'impact de l'intensification de la mise en valeur agricole sur la qualité des sols et des eaux : proposition de pratiques rationnelles. Projet d'initiatives propres, AGCD-UCL-IAV.
- Badraoui M., Soudi B., Merzouk A., Farhat A., M'hamdi A. 1998b.** Changes of soil qualities under pivot irrigation in the Bahira region of Morocco: Salinization. *Advences in GeoEcology*, 31:503-508.
- Bahloul A., 1989.** La fertilisation azotée raisonnée des céréales. (20): 15-19.
- Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., and Hassous, K. L., 2005.** Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Journal of Agronomy*.
- Baize D., 1989.** Planosols in the « Champagne humide » region, France. A multi-approach study. *Pedology*. 39(2). 119-151.
- Baize, D., 2000.** Guide des analyses en pédologie, 2ème édition revue et augmentée. INRA, Paris.

- Bajracharya, R.M. et Lal R., 1999.** Land use effects on soil crusting and hydraulic response of surface crusts on a tropical Alfisol. *Hydrological Processes*. 13(1) : 59-72.
- Baldy C., 1986.** "L'agro-météorologie et le développement agricole des régions arides et semi-arides", INRA Ed. Coll. Agro-météorologie, (1986), pp. 76-80.
- Baldy, C., 1974.** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques: leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. MARA, projet céréales, Alger.
- Baldy, C., 1986.** Comportement des blés dans les climats méditerranéens. *Ecologia mediterranea*, 12(3), 73-88.
- Balemi, T., Negisho, K., 2012.** Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12(3), 547-562.
- Barak, P., Jobe, B. O., Krueger, A. R., Peterson, L. A., & Laird, D. A., 1997.** Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. *Plant and soil*, 197(1), 61-69.
- Basira M, Mohammad A. M, Mousavi A, Asgharzadeh A, Saeed Samavat., 2011.** Effects of phosphorous supply on growth, phosphate distribution and expression of transporter genes in tomato Department of Horticultural Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, P.O. Box14515-775, Tehran, Iran. National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, P.O. Box 14155-6343, Tehran,Iran3Soil and Water Research Institute, P.O. Box 31785-311, Karaj, Iran. Pp 537-543.
- Bastida, F., Zsolnay, A., Hernandez, T., and Garcia, C., 2008.** Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. *Geoderma*, 147(3-4), 159-171.
- Bechtel., 1975.** Développement des ressources en eau et de l'Agriculture. Région de Sétif. Etude préliminaire et conditions de réalisation – volume II.
- Bedrani, S., and Chehat, F., 2001.** L'agriculture algérienne en 2000. Une révolution tranquille : le PNDA. *Prospectives agricoles. Revue annuelle de l'INRAA*, (1). Pp 7-60.
- Belagouz 2013.** Analyse du Comportement du Blé Tendre, Variété El WIFAK (*Triticum aestivum* L.) Conduite en Labour Conventionnel, Travail Minimum et Semis Direct sur Les Hautes Plaines Sétifiennes (these)

- Belaïd D., 1996.** Aspect de l'agriculture. Edition I.N.E.S BATNA p 205 Collection des cours d'agronomie (1996).
- Belaïd D., 1986.** Aspect sur la céréaliculture Algérienne. Ed. OPU. Pp 75-86.
- Belaïd D., 2016.** La production de pois-chiche en ALGERIE, Collection Dossiers Agronomiques, Algérie, 15p.
- Belaïd, D., 2013.** Pratiques agricoles et fertilités des sols de grandes cultures en Algérie. Communication présentée au 1er séminaire international «Problématiques agronomiques en régions arides et semi-arides». Batna du, 28.
- Bellah,O.,Pute., Les Egoc. Mmualefe Andnelson torto., 2010.** Analysis of Poly cyclic Aromatic Hydrocarbons in soil with Agilent sampli QUECHER AOAC Kit and HPLC-FLD. Agilent Technologies.
- Ben Benchchlia N., 1992.** Utilisation de l'eau sous conditions d'irrigation d'appoint. In: Internationale conference on "supplementary irrigation and drought water management" volume1, C.I.H.E.A.M.: (1992) 16.1-7
- Benbelkacem, A. 2013.** Rapport des résultats du projet "Enhancing Food Security in Arab Countries" Icarda-INRAA. 35 p.
- Benchetrit Maurice., 1970.** Les sols d'Algérie. In : Revue de géographie alpine, tome 44, n°4, 1956. Pp. 749-761. Doi: <https://doi.org/10.3406/rga.1956>.
- Benniou, R., & Van Damme, P. (2014).** Irrigated farm management in semi-arid area East Algeria. Revue Agriculture. Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1 REVUE Agriculture Revue home page : <http://www.http://revue-a>. 06 (2013) 21 – 28
- Benniou, R., 2012.** Agriculture conservation role of moisture and soil organic matter semi-arid. Journal. Mater. Environ. Sci, 3(1).
- Bensemra N., 1990.** Thermal dehydro-chlorination and stabilization of poly (vinyl chloride) in solution: Part V. Influence of structural defects in the polymer, HT Van, A Guyot - Polymer degradation and stability, 184p.
- Bernard. A., 1892.** Le calcaire sa détermination et son rôle dans les terres arables, premiere partie.
- Bertrand R. 1967.** Etude de l'rosion hydrique et de la conservation des eaux et du sol en pays Baoulé Coll. Fertilité sols tropicaux : Tananarive, 9-25111167, no 106, p. 1281-1295.
- Bessaoud, O., Pellissier, J. P., Rolland, J. P., & Khechimi, W., 2019.** Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie.

- Besse T, Sébillotte M., 1986.** Les systèmes de cultures céréalières des exploitations agricoles privées. In: Actes du séminaire «Systèmes de production à dominante céréalière dans le semi-aride», Jebel Oust, 7-9 Oct 1986, 123-152.
- Bhagat, R.M., Acharya, C.L., 1988.** Soil water dynamics during wheat growth under different soil management practices. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 36, 389–396.
- Bhagat, R.M., Verma, T.S., 1991.** Impact of rice straw management on soil physical properties and wheat yield. *Soil Sci.* 152, 108– 115.
- Bhardwaj, E., Bond, T. C., Dong, R., Jogani, R., Jung, S., Roden, C., ... and Trautmann, N. M., 2007.** Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion, 1850–2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 21(2).
- Biederbeck, V. O., Campbell, C. A., and Zentner, R. P., 1984.** Effect of crop rotation and fertilization on some biological properties of a loam in southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 64(3), 355-367.
- Bielders, C. L., & Gérard, B. 2015.** Millet response to microdose fertilization in southwestern Niger: Effect of antecedent fertility management and environmental factors. *Field Crops Research*, 171, 165-175.
- Bilgeham. G.,1998.** - Structure characteristics of soil in Harran Plain before irrigation. - M. Şefik Yeşilsoy *Int. S Menemen, Izmir*, 1998, 208-214.
- Blanco-Canqui H. And Schlegel A. J., 2013.** Implications of Inorganic Fertilization of Irrigated Corn on Soil Properties: Lessons Learned after 50 Years. Vol. 42 No. 3, p. 861-871
- Bloem, B. R., Beckley, D. J., Van Hilten, B. J., and Roos, R. A., 1998.** Clinimetrics of postural instability in Parkinson's disease. *Journal of neurology*, 245(10), 669-673.
- Blum, J., Avnir, D., and Schumann, H., 1999.** Sol-gel encapsulated transition-metal catalysts. *Chemtech*, 29(2), 32-38.
- Bneder, 1997.** Étude de développement rural de la wilaya de Oum El Bouaghi (Algérie).
- Bneder., 1998.** Etude du plan directeur général de développement rural. Indicateurs de développement. Tome 02 : monographie régionale. Batna. Algérie. 255p.
- Bockman C., Kaarstad O. et Lie H., 1990.** Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients : Perspectives for future agriculture. *Plant and Soil*, vol 194, pp 11- 14.
- Bolan, N. S., Hedley, M. J., & White, R. E. 1991.** Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant and soil*, 134(1), 53-63.

- Boudjabi, S., Kribaa, M., & Chenchouni, H. (2019).** Sewage sludge fertilization alleviates drought stress and improves physiological adaptation and yield performances in Durum Wheat (*Triticum durum*): a double-edged sword. *Journal of King Saud University-Science*, 31(3), 336-344.
- Boudjabi, S., Kribaa, M., & Chenchouni, H., 2015.** Growth, physiology and yield of durum wheat (*Triticum durum*) treated with sewage sludge under water stress conditions. *EXCLI journal*, 14, 320.
- Boudoukha A., 1988.** Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère ferme d'El Eulma-Ain Lahdjar (Région est de Setif-Algérie) (Doctoral dissertation).
- Boufenar-Zaghouane, F., and Zaghouane, O., 2006.** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), Algérie.
- Bouhedjba A., 1997.** Etude comparative des effets des différents modes de travail du sol sous des conditions semi-arides sur l'élaboration du rendement du blé tendre. Mémoire de fin d'étude de spécialisation INA Tunisie.
- Boukhalfa, N, Hanifi-Mekliche, L, and Mekliche, A., 2015.** Effet de la Nutrition Phosphatée sur le Rendement en Grain et la Concentration des Grains en P, Mg 2+ et K+ du Blé= Effect of Phosphate Nutrition on Performance of Grain and Grains Concentration Wheat in P, Mg 2+ and K+. *Revue des Bioressources*, 257(5756), 1-8.
- Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M. Et Rezgui S., 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- Bouma, J., 1997.** Precision agriculture: introduction to the spatial and temporal variability of environmental quality. In *Ciba foundation symposium* (pp. 5-17). JOHN WILEY and SONS LTD.
- Bouman, O. T., Curtin, D., Campbell, C. A., Biederbeck, V. O., & Ukrainetz, H., 1995.** Soil acidification from long-term use of anhydrous ammonia and urea. *Soil science society of America journal*, 59(5), 1488-1494.
- Bouthiba A A., P.Debaeke, SA.Hamoudi. 2010.** Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) to irrigation strategies in a semi-arid region of Algeria. *Irrigation Science* 26: 239-251.
- Bouthiba, A., Debaeke, P., and Hamoudi, S. A., 2008.** Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) to irrigation strategies in a semi-arid region of Algeria. *Irrigation Science*, 26(3), 239-251.

- Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Benkharbache, A., and Hassous, A., 2002.** Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité du rendement d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Revue Recherche Agronomique de l'INRAA*, 10. Pp 45-58.
- Bouzerzour, H., Mahnane, S., & Makhlouf, M., 2006.** Une association pour une agriculture de conservation sur les hautes plaines orientales semi-arides d'Algérie. *Options Méditerranéennes, Série A*, (69), 107-111.
- Bouzza A., 1990.** Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semiarid areas. Ph. D. Dissertation. University of Nebraska, Lincoln, NE USA. 200 p.
- Bremner, J. M., 1965.** Total nitrogen, inorganic forms of nitrogen, and organic forms of nitrogen. Pages 1149-1255 dans C. A. Black et al. eds. *Methods of soil analysis*. Agronomy no. 9. Pat 2. Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Bruand A. & Zimmer D., 1992.** Relation entre la capacité d'échange cationique et le volume poral dans les sols argileux : incidences sur la morphologie de la phase argileuse à l'échelle des assemblages élémentaires, *Comptes Rendus d'Académie des Sciences, Paris, série II*, 315, pp. 223-229.
- Bucher, E., Geigerr, P., Hahn, G., and Fath, P., 2002.** *Sol Energy Mater. Sol. Cells*, 72, 155.
- Buckley, D. H., and Schmidt, T. M., 2003.** Diversity and dynamics of microbial communities in soils from agro-ecosystems. *Environmental Microbiology*, 5(6), 441-452.
- Burns, K. E., Adhikari, N. K., and Meade, M. O., 2006.** Neuroanesthesia and Intensive Care A meta-analysis of noninvasive weaning to facilitate liberation from mechanical ventilation. *Canadian Journal of Anesthesia*, 53(3), 305-305.
- Cadi, A., 2005.** Caractérisation des zones céréalières potentielles à travers le Nord de l'Algérie. *Rév. ITGC. Céréaliculture n° 44*. : 36-39.
- Caldwell, C.D., And C.E. Starratt. 1987.** Response of Max spring wheat to management inputs. *Can. J. Plant Sci.* 67:645-652.
- Caliandro A., Boari F., 1992.** The role of supplementary irrigation in increasing productivity in the Near East Region. In: *Internationale conference on "supplementary irrigation and drought water management"* volume1, C.I.H.E.A.M.: (1992) 1.3.

- Calla Mac Tm. Et Army Tj. 1961.** -"Stubble mulch farming". *Advances in Agronomy* - pp. 125-196.
- Callot G. Et Dupuis M., 1980.** - Le calcaire actif des sols et sa signification. *Bulletin AFES*, pp 17-26.
- Campbell, C. A., McConkey, B. G., Gameda, S., Izaurralde, R. C., Liang, B. C., Zentner, R. P., & Sabourin, D., 2002.** Efficiencies of conversion of residue C to soil C. *Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA, 305-313.
- Cannell, R. Q., and Hawes, J. D., 1994.** Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil and Tillage Research*, 30(2-4), 245-282.
- Carey, S. J., Noriega-Crespo, A., Mizuno, D. R., Shenoy, S., Paladini, R., Kraemer, K. E., and Kuchar, T. A., 2009.** MIPS GAL: A Survey of the Inner Galactic Plane at 24 and 70 μm . *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 121(875), 76.
- Carr, P. M., Carlson, G. R., Jacobsen, J. S., Nielsen, G. A., & Skogley, E. O. (1991).** Farming soils, not fields : A strategy for increasing fertilizer profitability. *Journal of Production Agriculture*, 4(1), 57-61.
- Carter., C. S. Devries, A. C., and Johnson, C. L., 1997.** Familiarity and gender influence social preferences in prairie voles (*Microtus ochrogaster*). *Canadian Journal of Zoology*, 75(2), 295-301.
- Ceccarelli, S., and Grando, S., 1991.** Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Euphytica*, 57(2). Pp 157-167.
- Cetin, K. O., Seed, R. B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder Jr, L. F., Kayen, R. E., and Moss, R. E., 2004.** Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 130(12), 1314-1340.
- Chamoun N., 1999.** Les effets de l'Irrigation Complémentaire sur la Productivité du Blé Tendre dans la Békaa Nord. INRA France, DEA (1999).
- Chan, H., Perrig, A., and Song, D., 2003, May.** Random key predistribution schemes for sensor networks. In *2003 Symposium on Security and Privacy, 2003.* (pp. 197-213). IEEE.
- Chang, W., 2012.** R graphics cookbook: practical recipes for visualizing data. " O'Reilly Media, Inc."

- Charreau, C., and Nicou, R., 1971.** amelioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale seche ouest-africaine et ses incidences agronomiques (d'apres les travaux des chercheurs de l'IRAT en Afrique de l'Ouest). IV. Agron Trop Paris.
- Chastin S, J. Palarea-Albaladejo., 2015.** Guide to compositional analysis of 24 hours activity data. Supplementary material s2: concise guide to compositional data analysis for physical activity, sedentary behavior and sleep research: <https://www.researchgate.net/publication/297559141>.
- Chaussod, R., and Houot, S., 1996.** La biomasse microbienne des sols: perspectives d'utilisation de cette mesure pour l'estimation de la fourniture d'azote par les sols.
- Chauvel (A.), 1977.** Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance. Thèse, universite de Strasbourg. ORSTOM, Paris. Coll. Trav. et DO~, n° 62, 532 pp.
- Chehat, F., 2005.** Les politiques céréalières en Algérie. Rapport Annuel. Agri-Med. Agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région Méditerranéenne, CIHEAM, 2006.
- Chenafi, H, Aïdaoui, A, Bouzerzour, H, and Saci, A., 2006.** Yield response of durum wheat (*Triticum durum*, Desf) cultuvar Waha to defiit irrigation under semiarid growth conditions. Asian Journal of Plant Science., 5. Pp 854-860.
- Chennafi H. Bouzerzour H. Saci A., Chenafi A. 2008a.** La pratique des façons culturales sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride. In: Proceedings of the 5th International Conference on Land Degradation. Valenzanos, Bari, Italy, 18-22 September 2008, p: 63-67.
- Chennafi H., 2010a.** L'optimisation du rendement de la culture du blé sous l'effet du précédent cultural et l'outil de labour en environnement semi-aride. Aces des quatrièmes rencontres méditerranéenes du semis direct. Revue INRAA N). Spécial.
- Chennafi H., 2012a.** Amélioration de la Productivité du Blé en Environnement déficitaire en eau, Ed : revue d'agriculture UNVSETIF N° 03.
- Chennafi H., Hannachi A., Touahria O., Fellahi Zea., Makhlouf M., Bouzerzour H., 2011a.** Tillage and residue management effect on durum wheat [*Triticumturgidum* (L.) Thell.ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) MacKey] growth and yield under semi-arid climate. Advances in Environmental Biology5: 3231-3240.

- Chennafi, H. ; Bouzerzour, H. ; Saci A. ; Chenafi A., 2008 b.** La pratique des façons culturales sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride. In: Proceedings of the 5th International Conference on Land Degradation. Valenzanos, Bari, Italy, 18-22 September 2008, p: 63-67.
- Chenu C., Le Bissonais Y., And Arrouays D., 2000.** “Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability”, *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 64, n°. 4, pp. 1479-1486, 2000.
- Chopart, J. L., and Nicou, R., 1989.** Vingt ans de culture continue avec ou sans labour au sénégal.
- Clapp J.G. Jr. 1973.** Rate and time of nitrogen application on Blueboy wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agron. J.* 65:5-7.
- Coll, M. P., Budell, L., Rainville, P., Decety, J., and Jackson, P. L., 2012.** The role of gender in the interaction between self-pain and the perception of pain in others. *The Journal of Pain*, 13(7). Pp 695-703.
- Combe, L., & Picard, D. (1990).** Le point sur... Les systemes de culture (pp. 196-p). INRA.
- Commission Européenne., 2002.** Communication 179: Towards a thematic strategy for soil protection.
- Coulibaly K, Vall E, Autfray P, Nacro Hb, Sedogo Mp., 2012.** Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs de fertilité des sols de l'Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*,6(3): 1069 - 1080. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i3.13>.
- Croston, R. P., & Williams, J. T., 1981.** A world survey of wheat genetic resources (No. Folleto 10604). International Board for Plant Genetic Resources.
- Çullu, M. A., Almaca, A., Sahin, Y., and Aydemir, S. (2002, June).** Application of GIS for monitoring soil salinization in the Harran Plain, Turkey. In Proceeding of the international conference on sustainable land use and management, Çanakkale, Turkey (pp. 326-332).
- Czarnecki O, Jun Y, David J. W, Gerald A. Tuskan And Jin-Gui Chen., 2013.** A Dual Role of Strigolactones in Phosphate Acquisition and Utilization in Plants. Biosciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, USA. 21p.
- D.H.A., 2011.** Direction de l'Hydraulique Agricole, 2011.
- Daniel Plaza-Bonilla., Nolot, J. M., Raffailac, D., & Justes, E. (2017).** Innovative cropping systems to reduce N inputs and maintain wheat yields by inserting grain

- legumes and cover crops in southwestern France. *European journal of agronomy*, 82, 331-341.doi.org/10.1016/j.eja.2016.05.010.
- Danielson, R. E., and Sutherland, P. L., (1986).** Porosity. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5, 443-461.
- Darouia El Arbi, Azzouz Boukroutea, Miloud Kajeioua, Nour- Eddine Kouddanea, Abdelbasset Berrichi., 2010.** Effet de l'irrigation d'appoint sur le rendement d'une culture de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) (Variété Rajae) au Maroc Oriental. 2010, 5, 80- 86.
- Darusman, Stone, L. R., Whitney, D. A., Janssen, K. A. And Long, J. H. 1991.** Soil properties after twenty years of fertilization with different nitrogen sources. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: I 097-1 100.
- Daryanto, S., Wang, L., and Jacinthe, P. A., 2016.** Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PloS one*, 11(5).
- Davidson, K., Jonas, B. S., Dixon, K. E., and Markovitz, J. H., 2000.** Do depression symptoms predict early hypertension incidence in young adults in the CARDIA study?. *Archives of internal medicine*, 160(10). Pp 1495-1500.
- De Guiran E., Castellanet C., 1988.** Système de culture, pratiques de la jachère et fertilité dans les agricultures paysannes des Petites Antilles. In: Rapport final, contrat CEE-ORSTOM no TSD -A- 178^E.
- De Haan, F.A.M., Lexmond, Th.M., Van Riemsdijk, W.H. Proc. Workshop. 1990.** Indicators and indices for environmental impact assessment and risk analysis. - ISPRA, A.G. COLOMBO, G. PREMAZZI (Eds.). EUR 13060-EN. EC, Luxemburg, 1990, 161- 174.
- De Vita P, Di Paolo E, Fecondo G, Di Fonzo N, & Pisante M., 2007.** No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 92(1-2), 69-78.
- Detraux F. Et O. Oestger., 1979.** La mécanisation des travaux agricoles les presses agronomiques de Gembloux A.S.B.L. pp : 213, 217, 224, 228.
- Dietz J.And Heilos L., 1990.** Carbon Metabolism in Spinach Leaves as Affected by Leaf Age and Phosphorus and Sulfur Nutrition 1 Karl. Institut fur Botanik und Pharmazeutische Biologie, Julius-Maximilians. Universitat Wurzburg, Mittlerer Dallen bergweg 64, 8700Wurzburg, Federal Republic of Germany. Pp 1219-1225.
- Ditzler, C. A., & Tugel, A. J. (2002).** Soil quality field tools: experiences of USDA-NRCS Soil Quality Institute. *Agronomy Journal*, 94(1), 33-38.

- Djadjaglo D. Et Richter C., 2008.** Efficacité de prélèvement du phosphore par les plantes Sorghum bicolor (L.) Moench et Phaseolus vulgaris L. Agrosolution. 19 (2). Pp 45-50.
- Djekoun A., Ykhlef N., Bouzerzour H., Hafsi M., Hamada Y., Kahali L. 2002.** Production du blé dur en zones semi-arides : identification des paramètres d'amélioration du rendement. Act des 3ème Journées Scientifiques sur le blé dur. Constantine.
- Djenane, A., 1992.** Les tendances lourdes de la céréaliculture pluviale en Algérie. Les Cahiers du CREAD, (31-32). Pp 45-54.
- Djermoun, A., 2009.** La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. Nature & Technology, (1), 45.
- Djjar N., 1988.** Influence de la densité de semis en relation avec la fertilisation azotée, sur une variété de blé tendre « Siété Cerros » dans la région de Bouira. Mem Ing. Agro. INA. Alger. 50 p.
- Djili K., 2000.** Contribution à la connaissance des sols du nord de l'Algérie. Thèse doctorat, INA, Alger, 243 p.
- Dominy, C., Haynes, R., & Van Antwerpen, R., 2002.** Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. Biology and Fertility of Soils, 36(5), 350-356.
- Doran J. W. and Parkin T. B., 1994.** Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, 35. Pp 1-21.
- Doran J.W, Safely M., 1997.** Defining and assessing soil health and sustainable productivity. - In: PANKHURST, C.E., DOUBE, B.M., GUPTA, V.V.S.R. (Eds.). - Biological indicators of Soil Health. - CAB International, New York, 1997, 1-28.
- Doran, J. W., and Zeiss, M. R., 2000.** Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Applied soil ecology, 15(1), 3-11.
- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1996.** Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Special Publication 49, Madison, WI, pp. 25-37.
- Doran. J. W., 2002.** Soil health and global sustainability: translating science into practice. Agriculture, ecosystems and environment, 88 (2), 119-127.
- DSA Batna., 1997.** Statistiques agricoles. Bilan des productions agricoles, 1997.
- DSA Batna., 2010.** Statistiques agricoles. Bilan des productions agricoles, 2010.

- El Aissaoui A., A. El Brahli, O. El Gharras, N. El Hantaoui, 2009.** Le semis direct pour une agriculture pluviale de conservation. pp249-256 symposium internationale « agriculture durable en région méditerranéenne (AGDUMED) », Rabat, Maroc, 14-16 mai 2009.
- Elbrahli A., 2009.** Le semis direct Opportunité pour une agriculture pluviale durable n°37 /p 08-84.
- Erkossa, T., Itanna, F., and Stahr, K., 2007.** Indexing soil quality: a new paradigm in soil science research. *Soil Research*, 45(2). Pp129-137.
- FAO (Food And Agriculture Organization Of The United Nations), 2017.** The state of world fisheries and aquaculture. Available from: <http://www.fao.org/fishery/en>. Accessed Jan 23, 2017.
- FAO State., 2019.** www.FAOstate.com.
- FAO., 2005a.** Un système intégré de recensements et d'enquêtes agricoles. Volume 1. Programme mondial du recensement de l'agriculture 2010. Rome.
- FAO., 2007.** AG : Agriculture de conservation (<http://www.fao.org/ag/ca/fr/1a.htm>), 42 p.
- Farhat A. 1995.** Effets de l'irrigation par pivot sur la qualité des sols dans la Bahira: situation actuelle et perspectives de développement. Thèse de 3ème cycle, I.A.V. Hassan II, Département Sci. Sol, Rabat, Maroc.
- Fauci, M. F., and Dick, R. P., 1994.** Soil microbial dynamics: Short-and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 58(3), 801-806.
- Fellah S, Khiari A, Kribaa M, Arar A, & Chenchouni H., 2018.** Effect of Water Regime on Growth Performance of Durum Wheat (*Triticum Durum* Desf.) During Different Vegetative Phases. *Irrigation and Drainage*, 67(5), 762-778.
- Fellah, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., and Djerkoun, A. 2002.** Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 22(3), 161-168.
- Feller., 1995.** La matière organique du sol: un indicateur de la fertilité, Application aux zones Sahélienne et Soudanienne, *Agriculture et développement* 7 no 8 – Décembre.
- Fenni M., 2013.** Impacts of climate change on cereal production in the setif high plains (North-East of Algeria). In *Causes, Impacts and Solutions to Global Warming* (pp. 225-231). Springer, New York, NY.

- Fernandes, A. D., Macklaim, J. M., Linn, T. G., Reid, G., Gloor, G. B., 2013.** ANOVA-like differential expression (ALDEx) analysis for mixed population RNA-Seq. *PloS One*, 8(7), 67019.
- Fernandes, E. C., Motavalli, P. P., Castilla, C., & Mukurumbira, L. (1997).** Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. *Geoderma*, 79(1-4), 49-67.
- Fertilizer, A. (2012).** Training Manual on Fertilizer Statistics in Africa. *Africa Fertilizer.org*.
- Filali L, 2011.** Le rendement et l'efficience d'utilisation de l'eau de la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous les effets du précédent cultural et de l'outil de labour du sol en environnement semi-aride. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département des Sciences Agronomiques. 143 p.
- Filali Latreche., 2020.** Évaluation et conception des systèmes de culture innovants en zones semi-arides algériennes. Production végétale. 01/09/2020. Laboratoire sciences et techniques du vivants. « L.S.T.V ». 249 p.
- Filzmoser P., 1999.** Robust principal components and factor analysis in the geostatistical treatment of environmental data. *Environmetrics* 10: 363–375.
- Freckman, D. W, and Virginia, R. A., 1997.** Low-diversity Antarctic soil nematode communities: distribution and response to disturbance. *Ecology*, 78(2). Pp 363-369.
- Friedman, J., Alm, E. J., 2012.** Inferring correlation networks from genomic survey data. *PLoS Comput. Biol.* 8(9): e1002687.
- Gan Y., Liang, C., Huang, G., Malhi, S. S., Brandt, S. A., & Katepa-Mupondwa, F. 2012.** Carbon footprint of canola and mustard is a function of the rate of N fertilizer. *The international journal of life cycle assessment*. 17 (1), 58-68. Doi :10.1007/s11367-011-0337-z.
- Ghodrati M, And Jury WA., 1992.** A field study of the effects of soil structure and irrigation method on preferential flow of pesticides in unsaturated soils. *Journal of Contaminant Hydrology*. 11: 101-125.
- Ghuman, B. S., & Sur, H. S., 2001.** Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate. *Soil and Tillage Research*, 58(1-2), 1-10.
- Giunta F, Motzo R, Deidda M., 1993.** Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 33, 399-409.

- Glanz, J., 1995.** Saving our soil: solutions for sustaining earth's vital resource. Johnson Books.
- Gnahoua GM, Kouassi FY, Angui PKT, Balle P, Olivier R, Peltier R. 2008.** Effets des jachères à *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis* et *Chromolaena odorata* sur la fertilité du sol et les rendements de l'igname (*Dioscorea* spp.) en zone forestière de Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 20(3): 291–301. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/aga.v20i3.46269>.
- Golchin, A, Clarke, P, Oades, J. M, and Skjemstad, J. O., 1995.** The effects of cultivation on the composition of organic-matter and structural stability of soils. *Soil Research*, 33(6). Pp 975-993.
- Green T.R., Yu Q., Ma L., Wang T. 2010.** Crop Water Use Efficiency at Multiple Scales. *Agricultural Water Management* 9:1099-1101.
- Gregorich, E. G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, C., and Ellert, B., 1994.** Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian journal of soil science*, 74(4). Pp 367-385.
- Grosclaude J-Y., J-Ch. Deberre, M-A. Martin, G. Matheron. 2006.** Le Semis Direct Sur Couverture Végétale Permanente (SCV) une solution alternative aux systèmes de culture conventionnels dans les pays du Sud. © AFD, novembre 2006.
- Gu, J., Nicoullaud, B., Rochette, P., Grossel, A., Henault, C., Cellier, P., and Richard, G., 2013.** A regional experiment suggests that soil texture is a major control of N₂O emissions from tile-drained winter wheat fields during the fertilization period. *Soil Biology and Biochemistry*, 60, 134-141.
- Guerin., 2016.** PRATIQUES DE CHAULAGE Bulletin Sol et Agronomie des Chambres d'agriculture des Pays de la Loire SOLAG n°5 le 02/05/2017.
- Guibert, H., 1999.** Évolution de la matière organique et de la capacité d'échange cationique des alfisols tropicaux cultivés (Doctoral dissertation).
- Gutiérrez-Boem, F. H, and Thomas, G. W., 1998.** Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. *Agronomy Journal*, 90(2), 166-171.
- Halilat, M. T., 2004. November.** Effect of potash and nitrogen fertilization on wheat under Saharan conditions. In IPI regional workshop on Potassium and Fertigation development in West Asia and North Africa.
- Halitim A., Bensid Z., Hassaine B. Et Dekhinet S., 2006.** Les indicateurs biologiques et pédologiques de la désertification sur le versant sud de l'Atlas saharien (Aurès). Rapport annuel. F 0501-07-2006, 10 p.

- Halvorson, A.D., And C.P. Jantalia., 2011.** Nitrogen fertilization effects on irrigated no-till corn production and soil carbon and nitrogen. *Agron. J.* 103:1423–1431. doi:10.2134/agronj2011.0102.
- Hamadache, K., and Rizou, S., 2013. December.** Holistic SLA ontology for cloud service evaluation. In 2013 International Conference on Advanced Cloud and Big Data (Pp. 32-39). IEEE.
- Hamblin, M. W, and Metcalf, M. A., 1991.** Primary structure and functional characterization of a human 5-HT1D-type serotonin receptor. *Molecular Pharmacology*, 40(2). Pp 143-148.
- Hammiche., 1993.** Le marché des céréales et des légumes secs. *L'Economie N° 2* : 50-57.
- Hannachi A. 2013.** Analyse diallèle de quelques caractères associés à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab, Blida, 2013, 106 pages.
- Hannachi A., Fellahi Z., 2010.** Effets des résidus et du travail du sol sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en milieu semi-aride. Mémoire Ingénieur, Département Agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, UFAS. 8p.
- Harlan J R., 1975.** Our vanishing genetic resources. *Science*, 188(4188), 618-621.
- Harris, R. F, and Bezdicsek, D. F., 1994.** Descriptive aspects of soil quality/health. *Defining soil quality for a sustainable environment*, 35. Pp 23-35.
- Hatfield, J. L., Sauer, T. J., & Prueger, J. H., 2001.** Managing soils to achieve greater water use efficiency. *Agronomy journal*, 93(2), 271-280. doi.org/10.2134/agronj2001.932271x.
- He, Y., Wei, Y., Depauw, R., Qian, B., Lemke, R., Singh, A., ... and Wang, H., 2013.** Spring wheat yield in the semiarid Canadian prairies: Effects of precipitation timing and soil texture over recent 30 years. *Field crops research*, 149. Pp 329-337.
- Henin S., Monnier G. and Turc L., 1959.** Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol. *C.R. Académie Sci. Fr.* 248, 138-141.
- Henin, S., Monnier, G., And Combeau, A., 1958.** Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.* 9: 73–92.
- Henke, J., Breustedt, G., Sieling, K., & Kage, H., 2007.** Impact of uncertainty on the optimum nitrogen fertilization rate and agronomic, ecological and economic factors in an oilseed rape based crop rotation. *The Journal of Agricultural Science*, 145(5), 455-468. doi.org/10.1017/S0021859607007204.

- Henri Ciesielski, Thibault Sterckeman, J.Y. Baliteau, Giovanni Caria, Vladimir Goutiers, Jean-Pierre Willery., 2020.** Evolution du pH et de la CEC de sols du Nord de la France en fonction des doses de chaulage (CaCO₃). Influence du carbone organique ,2020.
- Hewitt, A., and Sparling, G., 1998, November.** Setting soil quality standards for C contents of New Zealand soils. New Zealand Soil Science Society Conference, Gisborne.
- Hillel, D., 1991.** Research in soil physics: A re-view. *Soil Science*, 151(1), 30-34.
- Hoogmoed, M. S., and Ávila-Pires, T. S., 1992.** Studies on the species of the South American lizard genus *Arthrosaura* Boulenger (Reptilia: Sauria: Teiidae), with the resurrection of two species. *Zoologische mededelingen*, 66(35), 453-484.
- Hoogmoed, W.B. Et Vlaar, J.C.J. 1992.** Travail du sol. In: Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. J.C.J. Vlaar (ed.). CIEH, Burkina Faso et Université Agronomique, Wageningen, Pays Bas. pp. 27-43.
- Hopkins W. G., 2003.** *Physiologie végétale*. 1er Ed. De boeck, Belgique. (pp 69) 514 p.
- Hornick, C. A., Thouron, C., Delamatre, J. G., and Huang, J., 1992.** Triacylglycerol hydrolysis in isolated hepatic endosomes. *Journal of Biological Chemistry*, 267(5). Pp 3396-3401.
- Howard, J., Gittes, F., Mickey, B., And Nettleton, J., 1993.** Flexural rigidity of microtubules and actin filaments measured from thermal fluctuations in shape. *The Journal of cell biology*, 120(4). Pp 923-934.
- Huber, A. H., and Weis, W. I., 2001.** The structure of the β -catenin/E-cadherin complex and the molecular basis of diverse ligand recognition by β -catenin. *Cell*, 105(3), 391-402.
- Hunt, H.W., Wall, D.H., 2002.** Modelling the effects of loss of soil biodiversity on ecosystem function. *Glob. Change Biol.* 8, 33–50.
- I.T.G.C.,** Institut Technique des Grandes Cultures., 2014.
http://www.minagri.dz/pdf/BMI/ITGC/bulletin4_decembre_2014.pdf.
- IDB., 2010.** International Data Base (IDB) World Population. Census.gov. 2010-06-28.
<http://www.census.gov/ipc /www/idb/worldpopinfo.php>. [Accessed: 01/08/2010].
- INRA., 2009.** Le sol. Dossier mensuel, janvier 2009.
- INSID., 2009.** Note de synthese sur les actions realisees par l'insid dans le cadre de la fertilisation.
- ITGC., 1997.** L'irrigation d'appoint des céréales d'hiver. Fiche technique. 14 p.

- IUSS Working Group WRB 1998.** World Reference Base for Soil Resources 2006. World Soil Resources Reports No. 84, FAO, Rome, 1998.
- Jalota, S.K., Sood, A., Chahal, G.B.S., Choudhury, B.U., 2006.** Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.)-wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. *Agric. Water Manage.* 84, 137–146.
- Jantalia, C.P., And A.D. Halvorson., 2011.** Nitrogen fertilizer effects on irrigated conventional tillage corn yields and soil carbon and nitrogen pools. *Agron. J.* 103:871–878. doi:10.2134/agronj2010.0455.
- Janzen, H. H., 1995.** The role of long-term sites in agroecological research: a case study. *Can. J. Soil Sci.* 75: 123–133. Lerohl, M. L. 1991. The sustainability of selected prairie crop rotations. *Can. J. Agric. Econ.* 39: 667–676.
- Janzen, H. H., Campbell, C. A., Brett, S. A., Lafond, G. P. Et Townley-Smith, L., 1992.** Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1799–1806.
- Jewitt T. N., Law R. D., Virgo K. J., 1979.** Vertisol soils of the tropics and sub-tropics. Their management and use. *Outlook Agric.*, 10 (1), pp. 33-40.
- Johnson H.W, J.A. Maclead and K. S. Clough., 1979.** Effects of cycocel (CCC) and fungicide sprays on spring wheat grown at three nitrogen levels. *Can. J. Plant Sci.* 59:917-929.
- Juhos K, Szabó S. & Ladányi M., 2016.** Explore the influence of soil quality on crop yield using statistically-derived pedological indicators. *Ecological Indicators*, 63, 366–373.
- Kafesu, N., Chikowo, R., Mazarura, U., Gwenzi, W., Snapp, S., & Zingore, S. (2018).** Comparative fertilization effects on maize productivity under conservation and conventional tillage on sandy soils in a smallholder cropping system in Zimbabwe. *Field Crops Research*, 218, 106-114.
- Kandeler E., and Murer, E., 1993.** Aggregate stability and soil microbial processes in a soil with different cultivation. In *Soil Structure/Soil Biota Interrelationships* (pp. 503-513). Elsevier.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., and Schuman, G. E., 1997.** Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*. Pp 61(1), 4-10.

- Karlén, W., and Kuylenstierna, J., 1996.** On solar forcing of Holocene climate: evidence from Scandinavia. *The Holocene*, 6(3). Pp 359-365.
- Karlun, E., Lemenih, M., And Tolera, M., 2013.** Comparing Farmers' perception of soil fertility change with soil properties and crop performance in Beseku, Ethiopia, *Land Degrad. Dev.*, 24, 228– 235, doi:10.1002/ldr.1118, 2013.
- Kay B D, Angers D A., 1999.** Soil structure. In: Sumner, M. (Ed.), *The Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 229–276.
- Kay, L. E, Ikura, M, Tschudin, R, and Bax, A., 1990.** Three-dimensional triple-resonance NMR spectroscopy of isotopically enriched proteins. *Journal of Magnetic Resonance* (1969), 89(3), 496-514.
- Kelkouli M., 2008.** - Influence de différentes techniques culturales utilisées en grandes cultures sur la rétention de l'eau en conditions semi – aride, cas du blé. Thèse Magister, I.N.A El Harrach, 147 p.
- Kelly V., 2006.** Factors affecting demand for fertilizers in sub Saharan Africa. *Agriculture and Rural Development*, Discussion p23.
- Khiari, L., Parent, L. E., and Tremblay, N., 2001b.** Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. *Agronomy Journal*, 93(4), 809-814.
- Khiari, L., Parent, L. E., and Tremblay, N., 2001c.** The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. *Agronomy Journal*, 93(4), 815-819.
- Klaij, M., 1994.** La conservation des sols et de l'eau. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, section Publications -Le travail du sol pour une agriculture durable. Repéré à <http://www.fao.org/docrep/w7304f/w7304f0a.htm#chapitre> 10 conservation des sols et de l'eau.
- Klein, A., 2002.** Audit committee, board of director characteristics, and earnings management. *Journal of accounting and economics*, 33(3), 375-400.
- Klute A., 1986.** Water retention: laboratory methods. In: Klute A., ed. *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, 635-662.
- Koller K., 2003.** Techniques of Soil Tillage, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton, p. 1-25.
- Kopittke, P.M., Dalal, R.C., Finn, D., Menzies, N.W., 2017.** Global changes in soil stocks of carbon, nitrogen, phosphorus, and sulphur as influenced by long-term agricultural production. *Glob. Chang. Biol.* 23, 2509–2519.

- Kouadria N., 1987.** Influence de la dose de semis et de la fertilisation azotée sur l'élaboration du rendement du blé tendre variété « Anza » dans la région de Tiaret. Mem. Ing. Agro. INA. Alger. 51p.
- Koudroi Abdou M., 2007.** Extraction et quantification de la matière organique des deux sols cultivés différemment. Rapport de stage. Université de Toulon et du Var. Faculté des sciences et techniques. 16 p.
- Koulibaly B, Dakuo D, Traoré O, Ouattara K, Lompo F., 2017.** Long-term effects of crops residues management on soil chemical properties and yields in cotton – maize – sorghum rotation system in Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Ecology Research*, 10(2): 1-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.9734/JAERI/2017/3 1178>.
- Kribaa, M., 2003.** Effet de la jachère sur les sols en céréaliculture pluviale dans les zones semi-arides méditerranéennes: Cas des hautes plaines sétifiennes en Algérie.(Impact des différentes techniques de travail de la jachère sur les caractéristiques structurales et hydrodynamiques du sol) (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat d'état en Sciences Agronomiques, INA El-Harrach, Alger, 121p).
- Kribaa, M., Hallaire, V., Curmi, P., and Lahmar, R., 2001.** Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. *Soil and Tillage Research*, 60(1-2), 43-53.
- La Banque Mondiale., 2015.** Résumé des résultats de 2015.
- La Frca Picardie., 2008.** Guide réalisé par Agro-Transfert-RT, Arvalis Institut du végétal, avec la participation de l'INRA de Laon et du LDAR, et en collaboration avec le groupe « Sols et Matières Organiques » des chambres d'agriculture de Picardie. Téléchargeable sur www.agro-transfert-rt.org.
- Ladraa N., O Unane G., 2013.** Qualité technologique de quelques variétés de blé dur cultivées en Algérie. *Céréaliculture* n° 60. Pp 5 -29.
- Lahlou M, Badraoui M, Soufi B., Goumari A, and Tessier, D., 2002.** Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. In *Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation* (pp. 19-p). Cirad-IRD-Cemagref.
- Lahlou S. ouadia M. Malam Issa O, Le Bissonnais Y, Et Mrabet R., 2005.** Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zone semi-aride Marocaine. *Etude et Gestion des Sols*, XII(1), pp. 69-76.
- Lahmar H, Bouzerzour, H., 2010.** Du mulch terreux au mulch organique. Revisiteur le dry farming pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les hautes plaines

sétifiennes. Actes des quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Revue INRAA No. Spécial.

Lahmar R., Bouzerzour H., 2011. Du mulch terreux au mulch organique. Revisiter le dryfarming pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les Hautes Plaines Setifiennes. Options méditerranéennes Série A, (96):99-105.

Lahmar R., 2006. Opportunités et limites de l'agriculture de conservation en Méditerranée. Les enseignements du projet KASSA Options Méditerranéennes, Série A, Numéro 69.pp 11-18.

Lahmar, R., 1993. Intensive cereal growing in the upper Setif plains: A few results.French. Cahiers Options Mediterraneennes (CIHEAM). no. 1.

Lal A. W, Belnap M, and Van Zee R., 1998. Simulation of overland and groundwater flow in the Everglades National Park. In Proc., Int. Water Resour. Engrg. Conf., ASCE, Reston, VA (pp. 610-615).

Lal R., 2011. Sequestering carbon in soils of agroecosystems. Food Policy, 36 : S33 - S39.

Lal R., Reicosky D.C., Et Hanson J.D., 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. Soil and Tillage Research 93:1-12.

Lal, R., and Sarvary, M., 1999. When and how is the Internet likely to decrease price competition?. Marketing Science, 18(4), 485-503.

Lamotte M., Bruand A., Duval O, Humbel F.X., 1988. Un système planosol - sol hydromorphe en forêt d'Orléans. Science du Sol. 26(3). 139-155.

Lapeyronie, A., 1982. Les productions fourragères méditerranéennes. G.-P. Maisonneuve et La rose.

Larson, W. E., and Pierce, F. J., 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In Evaluation for sustainable land management in the developing world: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai, Thailand, 15-21 September 1991. [Bangkok, Thailand: International Board for Soil Research and Management, 1991].

Larson, W. E., and Pierce, F. J., 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. Defining soil quality for a sustainable environment, 35. Pp 37-51.

Larson, W., Clapp, C. E., Pierre, W. H., and Morachan, Y. B., 1972. Effects of Increasing Amounts of Organic Residues on Continuous Corn: II. Organic Carbon, Nitrogen, Phosphorus, and Sulfur 1. Agronomy Journal, 64(2), 204-209.

- Laumont, P., 1946.** Résultats des essais de culture de variétés de pommes de terre poursuivis en 1946 à Maison Carree.
- Laumont, P., and Martin, R., 1952.** Ce que doivent savoir producteurs, vendeurs et acheteurs de semences de céréales.
- Le Bissonais, Y. L., 1996.** Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of soil science*, 47(4), 425-437.
- Lelièvre F, El Mourid M, Abdani M., 1981.** La culture de blé dur en sec dans les Doukkala. Résultats d'une enquête culturelle réalisée pour apprécier les contraintes d'alimentation hydrique. *Hommes Terres et Eaux, Rabat (Maroc)* 42, 35-47.
- Loveland, P.J., Thompson, T.R.E., 2002.** Identification and Development of a Set of National Indicators for Soil Quality. R&D Project Record P5-053/PR/02. Environment Agency, UK.
- Ludwig, F., and Asseng, S., 2006.** Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agricultural Systems*, 90(1-3), 159-179.
- Lynch, J. M., and Bragg, E., (1985).** Microorganisms and soil aggregate stability. In *Advances in soil science* (pp. 133-171). Springer, New York, NY.
- M'hedhbi K., 1995.** Effets des outils de travail du sol et de semis direct sur le rendement des céréales cultivées en sec. Actes des 27^e journées nationales sur les acquis de la recherche agronomique, halieutiques et vétérinaire en Tunisie. Volume 1: Grandes cultures, Pp:36-45.
- Machado S., Petrie S., Rhinhart K. Et Ramig R.E., 2008.** Tillage Effects on Water Use and Grain Yield of Winter Wheat and Green Pea in Rotation. Dans : *Agron. J.*, 100, pp. 154-162.
- Madhava Rao K, Raghavendra, A, Et Reddy, K., 2006.** Physiology and molecular biology of stress tolerance (pp. 1-14). Springer: Dordrecht, Netherlands.
- Madr., 2012.** Le Renouveau Agricole et Rural en marche Revue et Perspectives, disponible on-line : http://www.minagri.dz /pdf/Divers/Juillet/LE_RAR-FR.pdf (29/06/2013).
- MADRP., 2017.** (Ministère de l'agriculture et du développement rural et de la pêche). 2017. Direction des statistiques agricoles.
- MADRP., 2019.** (Ministère de l'agriculture et du développement rural et de la pêche). 2019. Direction des statistiques agricoles.

- Maronna R, Martin Rd, Yohai Vj., 2006.** Robust Statistics: Theory and Methods. John Wiley: New York. Pawlowsky-Glahn V, Egozcue JJ, Tolosana-Delgado J. 2007. Lecture notes on compositional data analysis. <http://diobma.udg.edu/handle/10256/297/>.
- Marquette J., 1986.** Maintien et amélioration des rendements du maïs sur les terres de barre dans le sud du Togo. *L'Agron. Trop.*, 41 (2) : 132-148.
- Marzaioli, R., D'ascoli, R., De Pascale, R. A., and Rutigliano, F. A., 2010.** Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology*, 44(3). Pp 205-212.
- Mateja, A., Mariappan, M., Dobosz, M., Bove, E., Hegde, R. S., and Keenan, R. J., 2011.** The mechanism of membrane-associated steps in tail-anchored protein insertion. *Nature*, 477(7362). Pp 61-66.
- Máté-Tóth, A., 1996.** Bulányi und die Bokor-Bewegung: eine pastoraltheologische Würdigung. UKI-Berichte über Ungarn.
- Mathieu C. Et Ruellan A. 1980.** Evolution morphologique des sols irrigués en région méditerranéenne semi aride. Cahier ORSTOM, Série pédologie, 13, 3-25.
- RICHARDS L., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics* 1:3 18-333.
- Mausbach M Jand seybold C A., 1998.** Assessment of soil quality Soil Quality and Agricultural Sustainability (Chelsea, MI: Ann Arbor Press).
- Mazoyer, M., 1970.** Structures et formes de sous-développement en Algérie, texte ronéoté. INA, Paris.
- Mechri, M., Saidi, W., Hajri, R., Haloui, N., Jarrahi, T., Hanachi, M., ... and Jedidi, N. 2016.** Effet du mode de semis, du précédent cultural et de la fertilisation azotée sur l'évolution du carbone et de l'azote du sol au cours d'un cycle de production d'une culture de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L).
- Megherbi, A., Mehdadi, Z., Toumi, F., Moueddene, K., & Bouadjra, S. E. B. (2012).** Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morpho-physiologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale). *Acta botanica gallica*, 159(1), 137-143.
- Mekhlouf, A., Makhoulf, M., Achiri, A., Ait Ouali, A., & Kourougli, S. 2011.** Etude comparative de l'effet des systèmes de travail du sol et des précédents culturaux sur le sol et le comportement du blé tendre en conditions semi arides.

- Menad A Et Ould-Said H., 2003.** Gestion de la fertilisation dans les zones semis arides (cas de la wilaya de Saïda). Rev N°40. 2eme semestre. Ed. ITGC de Sétif. Pp 30-31.
- Merabet B.A, Et A. Bouthiba., 2006.** Etude du comportement de la variété de blé dur améliorée Tassili conduite en sec et en irrigué vis-à-vis de la variabilité de la pluviométrie interannuelle et de l'efficacité d'utilisation de l'eau. Ann. De l'NA, Vol. 27 1et 2.
- Merabet, B. A., & Boutiba, A., 2005.** L'irrigation de complément du blé dur. Influence de la nature du matériel végétal et de la variabilité climatique interannuelle dans une plaine semi-aride d'Algérie. Sciences & Technologie. C, Biotechnologies, 72-79.
- Merouche A., Debaeke P., Messahel M., Kelkouli M., 2014.** Response of durum wheat varieties to water in semi-arid Algeria. Afr. J. Agric. Res., 9 (38): 2880-2893.
- Mohamed Ammar .2014.** organisation de la chaine logistique dans la filiere cereales en a lgerie. e tat des lieux et perspectives. Mémoire fin d'étude.11p
- Monneveux P., 1991.** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. John Libbey Eurotext Paris, 165-185.
- Monneveux, P., and Belhassen, E., 1996.** The diversity of drought adaptation in the wide. In Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis (pp. 7-14). Springer, Dordrecht.
- Monnier, G., Thevenet, G., and Lesaffre, B., 1994.** Simplification du travail du sol. In Colloque (No. 65, pp. 172-p). INRA.
- Morell, F.J., C. Cantero-Martínez, J. Lampurlanes, D. Plaza-Bonilla, And J. Alvaro-Fuentes., 2011.** Soil carbon flux and organic carbon content: Effects of tillage and nitrogen fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 75:1874–1884. doi:10.2136/sssaj2011.0030.
- Mougou, R., Mansour, M., Iglesias, A., Chebbi, R. Z., & Battaglini, A. 2011.** Climate change and agricultural vulnerability: a case study of rain-fed wheat in Kairouan, Central Tunisia. Regional Environmental Change, 11(1), 137-142.
- Mrabet R., Saber N., El Brahli A., Lahlou S. Et F Bessam., 2001.** - Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco, Soil and Tillage Research 57 : pp. 225-235.
- Mursec, M., 2011.** Agricultural practices impact on soil quality and health: case study of slovenian irrigated or organic orchards (Doctoral dissertation).

- Muršec, M., and Chaussod, R., 2012.** Impact of organic fertilising on soil microbial biomass in acid soil. In Proceedings. 47th Croatian and 7th International Symposium on Agriculture. Opatija. Croatia (Vol. 94, p. 100).
- N'dayegamiye Adrien., 2007.** La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO : facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote. In Colloque sur l'azote, CRAAQ-OAQ. Québec. 11 p.
- N'dayegamiye, A. Et Cote, D., 1996.** Effet d'application à long terme de fumier de bovins, de lisier de porc et de l'engrais minéral sur la teneur en matière organique et la structure du sol. *Agro sol.* 9(1): 31–35.
- Nafziger E.D, L.M. Wax, And C.M. Brown., 1986.** Response of five winter wheat cultivars to growth regulators and increased nitrogen. *Crop Sci.* 26:767-770.
- Nannipieri P., 1994.** The potential use of enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst CE, Doube BM, Gupta VVSR, Grace PR (eds) *Soil biota: management in sustainable farming systems*. CSIRO, East Melbourne, pp 238–244
- Neffar S, Chenchouni H, Beddiar A, & Redjel N., 2013.** Rehabilitation of degraded rangeland in drylands by prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations: effect on soil and spontaneous vegetation. *Ecologia Balkanica*, 5(2).
- Neill, C., Melillo, J. M., Steudler, P. A., Cerri, C. C., De Moraes, J. F., Piccolo, M. C., & Brito, M., 1997.** Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Ecological Applications*, 7(4), 1216-1225.
- Nelson, R. R., 2009.** An evolutionary theory of economic change. harvard university press.
- Newell-Price, J. P., Whittingham, M. J., Chambers, B. J., & Peel, S. (2013).** Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England and Wales. *Soil and Tillage Research*, 127, 65-73.
- Nicou, R., 1977.** Le travail du sol dans les terres exondées du Sénégal motivations-contraintes. ISRA.
- Nicou, R., Charreau, C., and Chopart, J. L., 1993.** Tillage and soil physical properties in semi-arid West Africa. *Soil and tillage research*, 27(1-4). Pp 125-147.
- Nono Alexandre, Antoine Mvondo Ze, Samuel Keuatsop Kouam., 2010.** Etude de la désorption des éléments nutritifs de certains matériaux agro-géologiques du Cameroun.
- O.T.I., 1974.** *Officina Technica d'Empresase Ingeniera.*

- Oldeman, L. R., 1994.** The global extent of soil degradation, in *Soil Resilience and Sustainable Land Use*, edited by D. J. Greenland and I. Szabolcs, pp.99–118, CAB Int., New York, 1994.
- Ollier, C., and Poiree, M., 1981.** *Irrigation, les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages*. 5ème. Erolles. Paris.
- Olsen S. R., Cote C. V., Watanabe F. S., Dean L. A., 1954.** Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S.D.A. Circular 939, 8 p.
- Omonode, R. A., And Vyn, T. J., 2006.** Vertical distribution of soil organic carbon and nitrogen under warm-season native grasses relative to croplands in west-central Indiana, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 117(2-3), 159-170.
- Oustani, M., Halilat, M. T., & Chenchouni, H., 2015.** Effect of poultry manure on the yield and nutrients uptake of potato under saline conditions of arid regions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 106-120.
- Oweis T. Et Tavakolli M ., 2004.**The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agricultural Water Management*, 65. Pp 225-236.
- Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R., 1997.** Biological indicators of soil health: synthesis. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, New York, pp. 419–435.
- Pankhurst, N. W., 1997.** Effect of stress on reproduction and growth of fish. *Fish stress and health in aquaculture*, 73-93.
- Papy F., 1979.** Analyse du comportement des cultures de blé et d'orge dans différentes régions céréalières du Maroc à travers leur réaction aux variations interannuelles des régimes pluviométriques. *C R Acad Agric Fr* 3, 231-247
- Passioura, J. B., 2002.** Soil conditions and plant growth. *Plant, Cell and Environment*, 25(2), 311-318.
- Paustian, K., Parton, W. J., and Persson, J., 1992.** Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil science society of America journal*, 56(2). 476-488.
- Pauwels, J. M., Van Ranst, E., Verloo, M., and Mvondo Ze, A., 1992.** *Manuel de laboratoire de pédologie : méthodes d'analyses de sols et de plantes, équipement, gestion de stocks de verrerie et de produits chimiques*.

- Pawlowsky-Glahn, V., Egozcue, J. J., Tolosana-Delgado, R., 2015.** Modeling and Analysis of Compositional Data. John Wiley and Sons. Springer. 258 p. London, UK.
- Paymard, P., Yaghoubi, F., Nouri, M., & Bannayan, M. 2019.** Projecting climate change impacts on rainfed wheat yield, water demand, and water use efficiency in northeast Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3-4), 1361-1373.
- Perrier A., 1973.** Bilan hydrique de l'assolement blé jachère et évaporation d'un sol nu en région semi-aride. *Plant response to dynamic factors; Ecology and conservation UNESCO* pp 477, 487.
- Perrier E. R. Et Salkini A. B., 1987.** Supplemental irrigation in the Near East and North Africa.
- Pétard J., 1993.** Les méthodes d'analyse, Tome 2, Analyse d'eau, ORSTOM, Nouméa, Novembre 1993.
- Piccolo, A., Celano, G., Arienzo, M. & Mirabella, A., 1994.** Adsorption and desorption of glyphosate in some European soils. *Journal of Environmental Science and Health*, B29, 1105–1115.
- Pieri C., 1967.** Etude de l'érosion et du ruissellement à SEFA au cours de l'année 1965. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive (Madagascar). 19-25 novembre 1967-tome 2-comm. 108. pp. 1302-1315.
- Poletaeff N., 1953.** Action du travail profond du sol sur sa fertilité et sur les rendements des céréales. *Ann Serv Bot Agron Tunisie* 26, 100 p.
- Prasadet, B.; Carver, B.F. Stone, M.L. ; Babar, M.A. ; Raun, W.R. and Klat A.R., 2007.** Genetic Analysis of Indirect Selection for Winter Wheat Grain Yield Using Spectral Reflectance Indices. *Crop science*, vol. (47): 1716-1425.
- Prats, M., 1971.** U.S. Patent No. 3,593,789. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Radhouane, L., Et Mellouli, H. J., 2007.** Effets d'un stress hydrique sur les rendements de deux écotypes locaux de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *Cahiers Agricultures*, 16(1), 17-22.
- Rahmoune, C., Sdiri, H., Meddahi, M. L., and Selmi, M., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 12(3). Pp 167-74.

- Rasmussen, P. E., and Rohde, C. R., 1988.** Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on organic nitrogen and carbon in a semiarid soil. *Soil Science Society of America Journal*, 52(4), 1114-1117.
- Rebulard, S., 2015.** Nourrir 9 milliards de personnes en 2050 : le défi alimentaire Quelques données du problème <http://edu.mnhn.fr/mod/page/view.php?id=1429>. John et carmen Gonzalez toro 2015.
- Recous S., 2001.** Du labour au semis direct : enjeux agronomique, Dossier réalisé à l'occasion d'une conférence débat organisée par l'INRA en collabor.
- Richard G, Mary B, Boizard H, Roger-Estrade J, Chenu C., 2004.** Impacts des techniques culturales sans labour sur le fonctionnement des sols cultivés: composantes physique et organique. In: *Techniques culturales sans labour*. Paris : éditions CORPEN.
- Riley, H. C. F., Bleken, M. A., Abrahamsen, S., Bergjord, A. K., & Bakken, A. K., 2005.** Effects of alternative tillage systems on soil quality and yield of spring cereals on silty clay loam and sandy loam soils in the cool, wet climate of central Norway. *Soil and Tillage Research*, 80(1-2), 79-93.
- Riley, H., Hoel, B. O., & Kristoffersen, A. Ø., 2012.** Economic and environmental optimization of nitrogen fertilizer recommendations for cereals in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 62(5), 387-400.
- Robert M. 1992.** Le sol, une ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. *Cahier Agriculture*, 1: 20-34
- Robert M. 1996.** Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson, Paris, p.241
- Romig, D. E., Garlynd, M. J., Harris, R. F., and Mcsweeney, K., 1995.** How farmers assess soil health and quality. *Journal of soil and water conservation*, 50(3). Pp 229-236.
- Ross, S. M., 1987.** *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, John Wiley and Sons.
- Russell, A.E., D.A. Laird, T.B. Parkin, And A.P. Mallarino., 2005.** Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Molli sols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:413–422. Doi :10.2136/ sssaj2005.0413.
- Saber, N., and Mrabet, R., 2002.** Impact of no tillage and crop sequence on selected soil quality attributes of a vertic calcixeroll soil in Morocco. *Agronomie*, 22(5), 451-459.

- Saha, D., and Paul, S., 2014.** Evaluation of antioxidant and free radical scavenging activities of different fractions of *Pterospermum suberifolium* leaf extract. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 38(1).
- Sandaña, P, D. Pinochet., 2014.** Grain yield and phosphorus use efficiency of wheat and pea in a high yielding environment. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 14 (4): 973-986.
- Schlegel, A. J., Assefa, Y., Haag, L. A., Thompson, C. R., & Stone, L. R., 2018.** Long-term tillage on yield and water use of grain sorghum and winter wheat. *Agronomy Journal*, 110(1), 269-280.
- Schlöter M, Munch J C, Tittarelli F., 2006.** Managing soil quality. In: Bloem J, Hopkins D W, Benedetti A, eds., *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. CAB International, Wallingford. pp. 50-62.
- Schoenholtz, S. H., Van Miegroet, H., and Burger, J. A., 2000.** A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, 138(1-3), 335-356.
- Schröder, J. J., Schulte, R. P. O., Creamer, R. E., Delgado, A., Van Leeuwen, J., Lehtinen, T., ... & Wall, D. P., 2016.** The elusive role of soil quality in nutrient cycling: a review. *Soil Use and Management*, 32(4), 476-486.
- Sébillotte M., 1977.** Jachère, système de culture, système de production. *Méthodologie d'étude. J Agric Bot Appl* 23, 241-264.
- Sebillotte M., 1990.** Système de culture : un concept opératoire pour les agronomes, L. Combe et D. Picard, édts. Paris, INRA, 196, p. 165-196.
- Sebillotte, S., 1991.** Décrire des tâches selon les objectifs des opérateurs : de l'interview à la formalisation. *Le travail humain*, 54, 193-223.
- Séguy, L. ; Bouzinac, S. Et Maronezzi, A.C. 2001.** Systèmes de culture et dynamique de la matière organique. Un dossier du semis direct. CIRAD-CA, Agronorte Pesquisas-Groupe MAEDA, TAF/FOFIFA / ANAE. 320 p. <http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7131/34698/file/1172915043.pdf>.
- Selmi R. 2000.** Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. *Revue Afrique Agriculture* .N° 280. pp 30-32.
- Semcheddine, N., 2015.** Évaluation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) par l'étude du bilan hydrique et des paramètres phéno-morpho-physiologiques (Doctoral dissertation), s. d., 131.

- Serpantié G., 2009.** L'agriculture de conservation » à la croisée des chemins (Afrique, Madagascar). *Vertigo – La revue en sciences de l'environnement*, Volume 9, numéro 3, décembre 2009 georges.serpantie@ird.fr . pp 1-21.
- Seybold, K. S., and Hill, P. C., 2001.** The role of religion and spirituality in mental and physical health. *Current Directions in Psychological Science*, 10(1), 21-24.
- Shukla, M. K., Lal, R., and Ebinger, M., 2006.** Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87(2). Pp194-204.
- Siddique, K. H. M., Belford, R. K., Perry, M. W., and Tennant, D., 1989.** Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40(3), 473-487.
- Simane, B., Struik, P. C., Nachit, M. M., and Peacock, J. M., 1993.** Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. *Euphytica*, 71(3), 211-219.
- Six, J. A. E. T, Elliott, E. T, and Paustian, K., 2000.** Soil macro aggregate turnover and micro aggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(14), 2099-2103.
- Slafer, G.A., Araus, J.L. And Richards, R.A., 1999.** Promising traits for future breeding to increase wheat yield. In: Satorre, E.H. and Slafer, G.A. eds. *Wheat: ecology and physiology of yield determination*. Food Product Press, New York. Pp 379-415.
- Smadhi D., Mouhouche B., Mohammedou M. Et Semiani M., 2002.** Bilan hydrique et besoin d'irrigation de la céréaliculture en zone semi-aride. *Revue H.T.E. N° 124* : 53-56.
- Smadhi, D., & Zella, L., 2012.** The pluviometrical deficiencies in the pluvial cereal regions in Algeria. *African Journal of Agricultural Research*, 7(48), 6413-6420.
- Smadhi, D., and Zella, L., 2009.** Céréaliculture en sec et précipitations annuelles: le cas de l'Algérie du Nord. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 20(2), 199-203.
- Smadhi, D., Mouhouche, B., Zella, L., & Semiani, M., 2009.** PLUVIOMETRIE ET CERÉALICULTURE DANS LE SYSTEME AGRO-ECONOMIQUE DE L'ALGERIE. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 56-62.
- Soil Taxonomy. Sans date.** Soil Survey Staff. SCS-USDA Handbook no 436,794 p.
- Sojka, R. E., and Upchurch, D. R., 1999.** Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Science Society of America Journal*, 63(5). Pp 1039-1054.

- Sollins, P., Spycher, G. Et Glassman, C. A., 1984.** Net nitrogen mineralization from light and heavy fraction forest soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 16: 31–37
- Soltner D., 1999.** Les bases de la production végétale : Tome 2 - le climat. 8^e éditions. Sainte Gemmes sur Loire : Editions Sciences et Techniques Agricoles, ISSN 1178-5676. ISBN/ISSN/EAN : 978-2-907710-01-5. 320 p.
- Soltner D, 1989.** Les bases de la production végétale : le sol – le climat – la plante : phytotechnie générale (Tome 1 : le sol 17^eème édition. Collection scientifique et techniques agricole. Edition : VANDER. BRUXELLE. PARIS, 464 P.
- Soulas, G., and Lors, C., 1999.** Perspectives and limitations in a assessing side-effects of pesticides on the soil microflora. *Microbial Biosystems: New Frontiers.*
- Sparling, G. P., 1997.** Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. *Biological indicators of soil health*, 97-119.
- Sparling, G. P., Williamson, J. C., Magesan, G. N., Schipper, L. A., and Lloyd-Jones, A. R., 1999.** Hydraulic conductivity in soils irrigated with wastewaters of differing strengths: Field and laboratory studies. *Soil Research*, 37(2), 391-402.
- Stevenson F. J, Humus Chemistry., 1994.** Genesis, Composition, Reactions, In: Wiley and Sons (Eds.), *Organic matter in Soils: Pools, Distribution, Transformations and Function*, INC, NY, USA, pp. 1-20, 1994.
- Stevenson, F. J., and Cole, M. A., 1999.** Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley and Sons.
- Stevenson, F.J., 1986.** Cycles of Soil, Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur. Micronutrients. John Wiley and Sons, New York.
- Stewart, B.A., 1992.** - *Advances in Soil Science* - 20, 1 Spring-Verlag New York, NY, 1992.
- Storia A, De Filippis F, Villani F, Ercolini D., 2013.** Exploring the Sources of Bacterial Spoilers in Beefsteaks by Culture-Independent High-Throughput Sequencing *PLOS ONE* 8(7): e70222.
- Sylvester-Bradley, R., & Kindred, D. R., 2009.** Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *Journal of experimental botany*, 60(7), 1939-1951.doi.org/10.1093/jxb/erp116.
- Tacettin, Y. A., 2010.** The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), 164-170.

- Tanner, J., 1949.** Fallacy of per-weight and per-surface area standards, and their relation to spurious correlation. *The Journal of Physiology* 2 (1), 1–15. Tisdall, J.M., Oades, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33, 141–163.
- Tardieu, F., 2003.** Virtual plants: modelling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. *Trends in plant science*, 8(1), 9-14.
- Team. R. C., ET D. C. R., 2019.** Langage and environnement for statistical computing. Vienna, Austria : R Foundation for statistical computing ; 2012. URL [Https: // www.R-project.org](https://www.R-project.org).
- Tebrügge F. Et Düring R.-A., 1999.** Reducing tillage intensity – A review of results from a long-term study in Germany. Dans :*Soil and Tillage Research*, 53, pp.15-28.1999.
- Tessier D, Biggore F. & Bruand H., 1999.** La capacité d'échange: Outil de prévision des propriétés physiques des sols. *Comptes-Rendus d'Académie des Sciences Paris*, 85, n°2, pp 37-46. Séance du 10 février 1999.
- Thibault, C., & Lecompte, F., 2018.** Gestion de la fertilité des sols en cultures légumières et maraîchères.
- Thomas, G. W., 1983.** Exchangeable cations. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 159-165.
- Tiessen, H., Chacon, P., & Cuevas, E., 1994.** Phosphorus and nitrogen status in soils and vegetation along a toposequence of dystrophic rainforests on the upper Rio Negro. *Oecologia*, 99(1-2), 145-150.
- Torsvik, T. H., Smethurst, M. A., Meert, J. G., Van Der Voo, R., Mckerrow, W. S., Brasier, M. D., ... and Walderhaug, H. J., 1996.** Continental break-up and collision in the Neoproterozoic and Palaeozoic—a tale of Baltica and Laurentia. *Earth-Science Reviews*, 40(3-4), 229-258.
- Tóth, G., Knapp, C., Gühne, O., and Briegel, H. J., 2007.** Optimal spin squeezing inequalities detect bound entanglement in spin models. *Physical review letters*, 99(25). Pp 250 405.
- Tóth, M. L., Sigmond, T., Borsos, É., Barna, J., Erdélyi, P., Takács-Vellai, K., ... and Vellai, T., 2008.** Longevity pathways converge on autophagy genes to regulate life span in *Caenorhabditis elegans*. *Autophagy*, 4(3). Pp 330-338.
- Toutain, G., 1979.** *Eléments d'agronomie saharienne: de la recherche au développement* (No. Sirsi) a79288).

- Uhlen, G., 1991.** Long-term effects of fertilizers, manure, straw and crop rotation on total-N and total-C in soil. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 41(2), 119-127.
- Umali D.L. 1993.** Irrigation-induced salinity. A growing problem for development and the environment. World Bank technical paper 215, p.78
- USSL., 1954.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook n° 60, Richards 00., US Dep. of Agriculture, Washington.
- Valentin Ch., 1981a.** Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau. Thèse 3e cycle, Université PARIS VII, Etudes et Thèses, ORSTOM, 1985.
- Vandergeten J.-P., C., Roisin., 2004.** Techniques culturales sans labour en culture de betterave sucrière. Collection: Les Guides techniques de l'IRBAB.
- Viaux P., 1999.** Une troisième voie en grandes cultures. Environnement, qualité, rentabilité. Agridécisions, Paris, 211 p.
- Vila JM., 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Sc. Univ. Paris VI, 3 vol, 663 p., 199 fig., 40 pl., 7 pl.h.t.
- Virmani S. M., Sahrawat K. L., Burford J. R., 1982.** Physiological and chemical properties of vertisols and their management. In "Vertisols and rice soils in the tropics", Symposia paper II. 12th International congress of soil science. New Dehli, India, 8-16 feb. 1982, pp. 80-93.
- Visser, S., and Parkinson, D., 1992.** Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture*, 33-37.
- Wambeke, A. V., 1992.** Soils of the tropics: properties and appraisal. McGraw Hill.
- Warkentin, B.P., 1995.** The changing concept of soil quality. *J. SoilWater Conserv.* 50, 26–228.
- Warkentin, T. E., Levine, M. N., Hirsh, J., Horsewood, P., Roberts, R. S., Gent, M., and Kelton, J. G., 1995.** Heparin-induced thrombocytopenia in patients treated with low-molecular-weight heparin or unfractionated heparin. *New England Journal of Medicine*, 332(20). Pp 1330-1336.
- Warton, D.I., Wrigth, S.T., Wang, Y., 2012.** Distance-based multivariate analyses confound location and dispersion effects. *Methods Ecol. E* vol. 3:89-101.
- Wienhold, B. J., Andrews, S. S., and Karlen, D. L., 2004.** Soil quality: a review of the science and experiences in the USA. *Environmental Geochemistry and Health*, 26(2). Pp 89-95.

- Wilhelm W., Bouzerzour H., Power J.F., 1989.** Soil disturbance-residue management effect on winter wheat growth and yield. *Agron. J.* (81): Pp 581-588.
- Xue, Q., Zhu, Z., Musick, J. T., Stewart, B. A. And Dusek, D. A. 2003.** Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation. *Plant Soil*, 257: 151–161.
- Yakovchenko, V., Sikora, L. J., and Kaufman, D. D., 1996.** A biologically based indicator of soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, 21(4). Pp 245-251.
- Yalcin, H., Hebert, M., Collins, R., and Black, M. J., 2005, June.** A flow-based approach to vehicle detection and background mosaicking in airborne video. In 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) (Vol. 2, pp. 1202-vol). IEEE.
- Yang F, Li W, Jørgensen Hjl., 2013.** Transcriptional reprogramming of wheat and the hemibiotrophic pathogen *Septoria tritici* during two phases of the compatible interaction. *PloS One* 8:e81606. doi: 10.1371/journal.pone.0081606.
- Yankovitch L., 1956.** Résultats de 22 années d'expériences dans les cases lysimétriques et cases de végétation du SBAT. *Ann Serv Bot Agron Tunis* 29, 223 p.
- Yoro G, Godo G., 1990.** Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, Vol. XXV, no 4, 1989-1990 : 423-429.
- Zella L., Smadhi D., Semiani M., Chabane A., Fedjer Z., 2015.** L'IRRIGATION DES CÉRÉALES EN ALGÉRIE : QUELS SCENARIO ENVISAGÉS ?
- Zhang, H., & Oweis, T., 1999.** Water–yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 38(3), 195-211.

Résumé

Ce travail porte sur l'étude la qualité et la durabilité des sols céréaliers du nord est algérien. La méthodologie adoptée comporte deux parties complémentaires. Dans un premier temps, il s'agit de voir l'impact des différentes pratiques culturales sur les caractéristiques du sol et le rendement. Ce travail est conduit en faisant recours à l'échantillonnage des sols (135 sites) et aux analyses au laboratoire d'une part et aux enquêtes sur terrain d'autre part. Dans un deuxième temps, il a été question d'appliquer pour la première fois l'analyse compositionnelle des données pour déterminer les indicateurs pertinents de la qualité du sol qui ont une influence sur les rendements des cultures, dans notre cas le blé dur.

Les résultats obtenus indiquent que les cultures maraichères en rotation avec le blé dur engendrent un sol avec une structure plus stable. Sur le terrain, la majorité des sols étudiés sont non battant quel que soit le précédent cultural adopté. Les sols cultivés après une culture maraichère ou après une jachère travaillée sont moyennement riches en matière organique et en phosphore assimilable. Dans le cas d'une rotation avec une autre céréale, les teneurs en matière organique et l'azote totale sont acceptables cependant celles du phosphore assimilable sont faibles. Ceci se traduit par l'utilisation intensive du phosphore par les céréales quel que soit son type. Le travail du sol (labour profond ou simplifié) engendre des sols moins stables à cause de la nature de la texture et la pauvreté de ces sols en matière organique. Il influence aussi l'évolution de la matière organique surtout le labour profond qui engendre sa dégradation. Les apports d'engrais avec l'irrigation de compléments influence positivement le pourcentage des argiles et des sables et diminue la battance des sols. En conditions humides, les éléments fertilisants stimulent l'activité minéralisatrice de la matière organique avec une bonne capacité d'échange cationique.

Dans un autre volet, il a été constaté que les rendements varient selon les pratiques culturales adoptées. En effet, les meilleurs rendements ont été enregistrés lorsque le précédent cultural est une culture maraichères ou une jachère avec travail superficiel et sur les parcelles fertilisées avec un apport d'irrigation complémentaire.

Enfin, les composantes granulométriques, bases échangeables et matière organique ont été analysés pour définir les meilleurs indicateurs d'évaluation de la qualité et la durabilité du sol à vocation céréalière dans les régions semi-aride de l'Est Algérien en utilisant l'analyse compositionnelle.

Mots clés : propriétés du sol, pratiques culturales, qualité du sol, indicateur, analyse compositionnelle, zone céréalière, Est Algérien, rendement.

Abstract

This work focuses on the study of the quality and durability of cereal soils in northeastern Algeria. The methodology adopted has two complementary parts. First, it is about seeing the impact of different cultivation practices on soil characteristics and yield. This work is carried out using soil sampling (135 sites) and laboratory analyzes on the one hand and field surveys on the other. The second step was to apply for the first time the compositional analysis of the data to determine the relevant indicators of soil quality that have an influence on crop yields, in our case durum wheat.

The results obtained indicate that the vegetable crops in rotation with durum wheat generate a soil with a more stable structure. In the field, the majority of the studied soils are non-threshing whatever the previous crop adopted. The soils cultivated after a market gardening or after a worked fallow are moderately rich in organic matter and assimilable phosphorus. In the case of a rotation with another cereal, the contents of organic matter and total nitrogen are acceptable, however those of available phosphorus are low. This results in the intensive use of phosphorus by cereals regardless of its type. The tillage (deep or simplified plowing) generates less stable soils because of the nature of the texture and the poverty of these soils in organic matter. It also influences the evolution of organic matter, especially deep plowing, which causes its degradation. The application of fertilizers with supplement irrigation positively influences the percentage of clays and sands and decreases soil beat. In humid conditions, the nutrients stimulate the mineralizing activity of organic matter with good cation exchange capacity. In another section, it was observed that the yields vary according to the cultivation practices adopted. Indeed, the best yields were recorded when the previous crop was a market garden crop or a fallow with superficial work and on the fertilized plots with additional irrigation.

Finally, the granulometric components, exchangeable bases and organic matter were analyzed to define the best indicators for evaluating the quality and durability of soil for cereal use in the semi-arid regions of eastern Algeria using compositional analysis..

Keywords: soil properties, cultivation practices, soil quality, indicator, compositional analysis, cereal zone, East of Algeria, yield.

المخلص

يركز هذا العمل على دراسة جودة واستمرارية تربة الحبوب في شمال شرق الجزائر. المنهجية المعتمدة من جزأين متكاملين. أولاً، يتعلق الأمر برؤية تأثير مختلف التطبيقات الزراعية على خصائص التربة والمحصول. يتم تنفيذ هذا العمل باستخدام عينات التربة (135 عينه) والتحليل المخبرية من جهة والاستبيانات الميدانية من جهة أخرى. الخطوة الثانية هي تطبيق التحليل التركيبي للبيانات لأول مرة لتحديد المؤشرات ذات الصلة لجودة التربة التي لها تأثير على مردود المحاصيل، في حالتنا القمح الصلب.

تشير النتائج المتحصل عليها إلى أن محاصيل الخضر بالتناوب مع القمح الصلب تولد تربة ذات بنية أكثر ثباتاً. في الحقل، غالبية التربة المدروسة مهما كان المحصول السابق المعتمد. التربة المزروعة بعد الخضر أو بعد تركها محروثة بدون زرع غنية إلى حد ما بالمواد العضوية والفوسفور القابل للامتصاص. في حالة التناوب مع حبوب أخرى، تكون محتويات المادة العضوية والنيتروجين الكلي مقبولة، ولكن الفوسفور المتوفر منخفض. ينتج عن هذا الاستخدام المكثف للفوسفور في الحبوب بجميع أنواعها. ينتج عن الحرث (الحرث العميق أو المبسط) تربة أقل استقراراً بسبب طبيعة القوام افتقار هذه التربة الي المواد العضوية. كما أنه يؤثر على تطور المادة العضوية، وخاصة الحرث العميق الذي يتسبب في تدهورها. يؤثر استخدام الأسمدة مع الري التكميلي بشكل إيجابي على نسبة الطين والرمل ويقلل من التصاق التربة. في الظروف الرطبة، تحفز العناصر الغذائية نشاط تمعدن المادة العضوية بقدرة جيدة على تبادل العناصر الكيميائية. في قسم آخر لوحظ أن المردود يتفاوت حسب تطبيقات الزراعة المتبعة. في الواقع، تم تسجيل أفضل مردود عندما كان المحصول السابق عبارة عن خضر أو بور مع عمل سطحي وفي الأراضي المسمدة مع ري إضافي.

أخيراً، تم تحليل مكونات قياس الحبيبات والقواعد القابلة للتبديل والمواد العضوية لتحديد أفضل المؤشرات لتقييم جودة ومثانة التربة لاستخدام الحبوب في المناطق شبه الجافة بشرق الجزائر باستخدام التحليل التركيبي.

الكلمات المفتاحية: خصائص التربة، ممارسات الزراعة، جودة التربة، المؤشر، التحليل التركيبي، منطقة الحبوب، شرق الجزائر، المحصول.